ЛУКОЙЛ

ПРИ ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ

ООО «ЛУКОЙЛ-Югнефтепродукт»

БУЛАТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Материалы IV Международной научно-практической конференции (31 марта 2020 г.)

Памяти доктора технических наук, профессора,
Заслуженного деятеля науки и техники РФ,
Заслуженного изобретателя РФ,
академика Международной и Российской инженерных академий,
Анатолия Ивановича Булатова
посвящается

ЛУКОЙЛ

ПРИ ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ

ООО «ЛУКОЙЛ-Югнефтепродукт»

READINGS OF A.I. BULATOV

Materials of IV International scientific and practical conference (on March 31, 2020)

Dedicated in memories of Doctor of Technical Sciences, professor, Honored worker of science and technology of the Russian Federation, Honored inventor of the Russian Federation, Academician of the International and Russian engineering academies,

Anatoly Ivanovich Bulatov

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ---------- EDITOR-IN-CHIEF

САВЕНОК Ольга Вадимовна
доктор технических наук, профессор кафедры Нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Лауреат премии администрации Краснодарского края в области образования за 2015 год.

SAVENOK Olga Vadimovna
Doctor of Technical Sciences, Professor of department of Oil and gas ingineering department named after professor G.T. Vartumyan FGBOU VO «Kuban state technological university», Winner of an award of administration of Krasnodar Region in the field of education for 2015.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: ---------- DEPUTY CHIEF EDITOR:

ПАРИНОВА Татьяна Анатольевна
старший преподаватель кафедры русского языка ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет».

PARINOVA Tatyana Anatolyevna
Senior Lecturer of department of Russian Language FGBOU VO «Kuban state technological university».

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ: ---------- EDITORIAL COUNCIL:

АГЗАМОВ Фарит Акрамович
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», член Российской Академии Естественных Наук (РАЕН), член Академии горных наук, член диссертационного совета Д 212.289.04 на базе ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», член диссертационного совета Д 222.018.01 на базе Татарского научно-исследовательского и проектного института нефти имени В.Д. Шашина (ПАО «Татнефть»), Заслуженный деятель науки Российской Федерации, Заслуженный деятель науки Республики Башкортостан.

AGZAMOV Farit Akramovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of «Drilling of Oil and Gas Wells» department FGBOU VO «Ufa state oil technical university», Member of the Russian Academy of Natural Sciences (Russian Academy of Natural Sciences), Member of Academy of mountain sciences, Member of dissertation council D 212.289.04 on the basis of FGBOU VO «The Ufa state oil technical university», Member of dissertation council D 222.018.01 on the basis of the Tatar research and design institute of oil of V.D. Shashin (PJSC «Tatneft»), Honored worker of science of the Russian Federation, Honored worker of science of the Republic of Bashkortostan.

БЕКЕТОВ Сергей Борисович
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Почётный работник науки и техники РФ, Почётный работник газовой промышленности, Почётный работник топливно-энергетического комплекса, Почётный работник науки и техники Российской Федерации, Патриарший знак св. великомученицы Варвары.

BEKETOV Sergey Borisovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of department of geophysical methods of search and investigation of the mineral deposits FGAOU VO «North Caucasian federal university», Honorary worker of science and technology of the Russian Federation, Honorary worker of the gas industry, Honorary worker of fuel and energy complex, Honorary worker of science and technology of the Russian Federation, Patriarchal sign of the Saint great martyr Varvara.

ГОЛЬЧИКОВА Надежда Николаевна
доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующая кафедрой геологии нефти и газа **ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,** член-корреспондент РАЕН, член УМО по прикладной геологии специальности «Геология нефти и газа», член Русского географического общества.

GOLCHIKOVA Nadezhda Nikolaevna
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate professor, Head of geology of oil and gas department FGBOU VO «Astrakhan state technical university», Corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, Member of UMO on applied geology of specialty «Geology of Oil and Gas», Member of the Russian Geographical Society.

МУХАМЕДГАЛИЕВ Бахтиёр Абдукадирович
доктор химических наук, профессор, профессор кафедры «Строительные материалы и химия» Ташкентского архитектурно-строительного института, профессор Университета КЕИО (Иокогама, Япония), региональный эксперт ООН по Центрально-Азиатскому региону по вопросам охраны окружающей среды и экологии, региональный эксперт международной научно-технической программы «Global Environment System Lieders» (Japan) по странам Юго-Восточной и Центральной Азии, учёный секретарь экспертной комиссии ВАК Республики Узбекистан по естественным наукам, эксперт Госкомитета Республики Узбекистан по науке и инновационным технологиям, почётный профессор Каракалпакского государственного университета имени Бердак.

MUKHAMEDGALIYEV Bakhtiyor Abdukadirovich
Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of «Construction Materials and Chemistry» department of Tashkent architectural and construction institute, Professor of the KEIO University (Yokohama, Japan), Regional Expert of the UN in the Central Asian region in environmental protection and ecology, Regional Expert of the international scientific and technical program «Global Environment System Lieders» (Japan) in the countries of Southeast and Central Asia, Scientific Secretary of commission of experts of VAK of the Republic of Uzbekistan in natural sciences, Expert of the State Committee of the Republic Uzbekistan in science and innovative technologies, Honorary professor of the Karakalpak state university named after Berdak.

МУХАМЕТШИН Рустам Закиевич
доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры геологии нефти и газа имени академика А.А. Трофимука Казанского (Приволжского) федерального университета и кафедры литологии и геологии горючих ископаемых Уральского государственного горного университета, член-корреспондент Российской Академии Естественных Наук (РАЕН) (2015), член Экспертной комиссии по проблемам нефти и газа ВАК Минобрнауки РФ, член Общества экспертов России по недропользованию (ОЭРН).

MUKHAMETSHIN Rustam Zakiyevich
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Professor of the Trofimuk Department of Oil and Gas Geology, Kazan (Volga Region) Federal University and the Department of Lithology and Geology of Combustible Minerals, Ural State Mining University, corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences (RAEN) (2015), member of the Expert Commission on Oil and Gas Problems of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, member of the Russian Society of Experts on Subsoil Use (RSESU).

СИМОНЯНЦ Сергей Липаритович
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры бурения нефтяных и газовых скважин РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, действительный член (академик) Российской академии естественных наук (РАЕН), действительный член академии технологических наук РФ, член диссертационного совета Д 212.200.15 на базе Российского государственного университета (национальный исследовательский университет) нефти и газа имени И.М. Губкина, член Экспертного совета по проблемам нефти и газа ВАК при Минобрнауки России, Лауреат премии имени академика И.М. Губкина (1989), Почётный нефтяник (1998), Почётный работник топливно-энергетического комплекса (2000), Почётная серебряная медаль В.И. Вернадского, РАЕН (2010), награждён медалью «В память 850-летия Москвы» (1997), член редакционных советов научно-технических журналов «Вестник Ассоциации буровых подрядчиков» и «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море».

SIMONYANTS Sergey Liparitovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of drilling of oil and gas wells of RGU of oil and gas named after I.M. Gubkin, Full Member (Academician) of the Russian Academy of Natural Sciences (RANS), Full Member of Academy of Technological Sciences of the Russian Federation, Member of dissertation council D 212.200.15 on the basis of the Russian state university (the national research university) of oil and gas of I.M. Gubkin, Member of Advisory Council on problems of oil and gas of VAK at the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Winner of an Award of a named after academician I.M. Gubkina (1989), Honourable Oil Industry Worker (1998), Honorary Worker of fuel and energy complex (2000), Honourable Silver Medal of V.I. Vernadsky, Russian Academy of Natural Sciences (2010), Awarded with a medal «In Commemoration of the 850th Anniversary of Moscow» (1997), Member of editorial councils of the scientific and technical magazines «Bulletin of Association of drilling contractors» and «Construction of oil and gas wells by land and by sea».

СОЛОВЬЁВА Валентина Николаевна
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Заслуженный работник нефтяной и газовой промышленности РФ.

SOLOVYYOVA Valentina Nikolaevna
Candidate of Technical Sciences, Senior Research Associate, Honoured Worker of the oil and gas industry of the Russian Federation.

ТРЕТЬЯК Александр Яковлевич
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Нефтегазовые техника и технологии» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», академик РАЕН, председатель диссертационного совета Д 212.304.07 при ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова», Почётный разведчик недр, Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, награждён орденом Российской академии естественных наук «За пользу Отечеству» имени В.Н. Татищева, награждён медалью «За заслуги перед университетом», Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, присвоено почётное звание «Заслуженный профессор ЮРГТУ (НПИ)».

TRETIAK Alexander Yakovlevich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department «Oil and gas equipment and technologies» FGBOU VO «The southern Russian state polytechnical university (NPI) of M.I. Platov», Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Chairman of dissertation council D 212.304.07 at FGBOU VO «YURGPU (NPI) of M.I. Platov», Honourable prospector of subsoil, Honorary Worker of higher education of the Russian Federation, Awarded the order the Russian academy of natural sciences «For advantage to the Fatherland» named after V.N. Tatishchev, Honoured worker of the higher school of the Russian Federation, Awarded with the medal «For Merits before the University», Honorary title «Honored professor of YURGTU (NPI)».

ХИЖНЯК Григорий Петрович
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Нефтегазовые технологии» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

HIZHNYAK Grigory Petrovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department «Oil and gas technologies» FGBOU VO «Perm National Research Polytechnical University».

ЯРЕМИЙЧУК Роман Семёнович
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры бурения нефтяных и газовых скважин Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа, Заслуженный деятель науки УССР, Лауреат Государственной премии в области науки Украины, награждён орденом «За заслуги» 3-ей степени, действительный член Научного общества имени Шевченко, академик Украинской нефтегазовой академии, Иностранный член Российской академии естественных наук имени В. Вернадского, награждён серебряной медалью имени Вернадского.

YAREMIYCHUK Roman Semyonovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of drilling of oil and gas wells of the Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Honored Worker of Science of USSR, Winner of the State Award in the field of science of Ukraine, Awarded the order «For Merits» of the 3-rd degree, Full Member of Scientific Organization of Shevchenko, Academician of the Ukrainian oil and gas Academy, Foreign Member of the Russian Academy of Natural Sciences of V. Vernadsky, Awarded with a silver medal named after Vernadsky.

Доктор Джошуа Лелези Конне
доктор химии материалов, Бристоль, Великобритания, старший лектор, отдел химии, отделение естественных наук, государственный университет рек, Порт-Харкорт, Нигерия.

Dr. Joshua Lelesi Konne
PhD Materials Chemistry, Bristol, UK, Senior Lecturer, Chemistry Department, Faculty of Science, Rivers State University, Port Harcourt, Nigeria.
Department, Faculty of Science, Rivers State University, Port Harcourt, Nigeria.

БУЛАТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Материалы IV Международной научно-практической конференции (31 марта 2020 г.)

Зарегистрировано в Национальном агентстве ISSN Российской Федерации 27.07.2017

ISSN 2587-8913

В 7 ТОМАХ

ТОМ 6:

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Сборник статей

Краснодар
2020

УДК 622.1+622.323
ББК 33.1+33.36
Б90

Б90 **Булатовские чтения** : материалы IV Международной научно-практической конференции (31 марта 2020 г.) : в 7 т. : сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг.

Т. 6: Технические и технологические разработки.
Электрооборудование в нефтегазовой отрасли – 2020. – 346 с.

Сборник содержит материалы IV Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения», проведенной в г. Краснодаре 31 марта 2020 г., посвященной памяти выдающегося инженера-нефтяника, доктора технических наук, профессора, академика Анатолия Ивановича Булатова.

Участники конференции дали всестороннюю характеристику развития нефтегазовой отрасли, проанализировали применяемые на сегодняшний день методы, технику и технологию и сделали предложения по их модернизации; выработали рекомендации по дальнейшему развитию прикладных направлений научных исследований; внесли предложения по совершенствованию кадрового обеспечения и международному сотрудничеству.

В сборнике изложены результаты исследовательских и опытно-конструкторских работ по широкому кругу вопросов, а также рассмотрены актуальные вопросы и проблемы освоения углеводородного потенциала Российской Федерации и зарубежных стран. Решение поставленных задач отражено в создании новых технологий разработки нефтегазовых месторождений, добычи, транспортировки и переработки углеводородного сырья. Широко представлены вопросы истории и современного состояния нефтегазового комплекса, подготовки кадров, разработки и внедрения энергетического и технологического оборудования, экономических и правовых исследований.

Научное издание предназначено для докторов и кандидатов наук различных специальностей, преподавателей вузов, докторантов, аспирантов, магистрантов, практикующих специалистов, студентов учебных заведений, а также всех, проявляющих интерес к рассматриваемой проблематике с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

Издание выполнено в виде 7 томов, соответствующих тематическим направлениям работы конференции.

Материалы публикуются в авторской редакции. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

ББК 33.1+33.36
УДК 622.1+622.323

© Коллектив авторов, 2020
© ООО «Издательский Дом – Юг», 2020

READINGS

OF A.I. BULATOV

Materials of IV International scientific and practical conference (on March 31, 2020)

It is registered in the National agency ISSN of the Russian Federation 07.27.2017

ISSN 2587-8913

IN 7 VOL.

VOLUME 6:

TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS.

ELECTRIC EQUIPMENT IN OIL AND GAS BRANCH

Conference bulletin

Krasnodar
2020

UDC 622.1+622.323
BBC 33.1+33.36
Б90

Б90 **Readings of A.I. Bulatov** : Materials of IV International scientific and practical conference (On March 31, 2020) : in 7 v. : Conference bulletin / Under the general editor, Doctor of Technical Sciences, Professor O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South.

V. 6: Technical and technological developments.
Electric equipment in oil and gas branch. – 2020. – 346 p.

The Conference bulletin contains materials of the IV International scientific and practical conference «Readings of A.I. Bulatov» held in Krasnodar on March 31, 2020 devoted to memory of the outstanding oil engineer, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician Anatoly Ivanovich Bulatov.

Participants of the Conference gave a comprehensive characteristic of the development of oil and gas fields, analysed the methods applied today, the equipment and technology and made offers on their modernization; developed recommendations about further development of applied scientific research; made offers on improvement of staffing and the international cooperation.

In the Conference bulletin results of research and developmental works on a wide range of questions are stated and also topical issues and problems of development of hydrocarbon capacity of the Russian Federation and foreign countries are considered. The solution based on the objectives is reflected in creation of new technologies of development of oil and gas fields, production, transportation and processing of hydrocarbon raw materials. Questions of history and the current state of an oil and gas complex, training, development and deployment of power and processing equipment, economic and legal researches are widely presented.

The scientific publication is intended for doctors and candidates of science of various specialties, teachers of higher education institutions, doctoral candidates, graduate students, undergraduates, practicing experts, students of educational institutions and also everyone, showing interest in the considered perspective for the purpose of use in scientific work and educational activity.

The edition is executed in 5 volumes corresponding to the thematic areas of the Conference.

Materials are published in author's original form as they were presented. Authors bear the reliability and responsibility of the data stated in the articles.

Editorial opinion can not coincide with opinion of authors of articles. It is obligatory that all materials cited are referenced.

BBC 33.1+33.36
UDC 622.1+622.323

© Group of authors, 2020
© LLC «Publishing House – South», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

*****

TABLE OF CONTENTS

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

*****

TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS

Введение 20

Бахтияров И.Н.
Исследование корпоративных мультисервисных сетей 23
Bakhtiyarov I.N.
Research corporate multiservice networks

Абдикаримов М.Н., Тургумбаева Р.Х.
Монолитные покрытия на основе эпоксидных смол и силоксановых каучуков с добавками 25
Abdikarimov M.N., Turgumbayeva R.H.
Monolithic coatings based on epoxy resins and siloxane rubbers with additives

Абдуллаева Э.С., Кязимов Э.А.
Разработка и исследование пенной композиции
для предотвращения пескопроявлений в добывающих скважинах 30
Abdullayeva E.S., Kazimov E.A.
Development and study of a foam composition for sand control in production wells

Агаев С.А.С., Черкасова Е.И.
Внедрение Индустрии 4.0 в промышленности России 34
Agayev S.A.S., Cherkasova E.I.
Introduction of Industry 4.0 in Russian industry

Ализада А.В., Мурадли В.А.
Информационно-искусственный интеллект 37
Alizada A.V., Muradli V.A.
Information and artificial intelligence

Алиметов Ш.А., Уразаков К.Р.
Особенности работы электроцентробежных насосных установок
в условиях интенсивного выноса мехпримесей 39
Alimetov Sh.A., Urazakov K.R.
Features of the operation of electric centrifugal pump units in conditions of intensive removal of solids

Алимов В.И., Егоров Н.Т.
Сравнительное исследование структуры и свойств
толстолистовых сталей различных классов прочности 42
Alimov V.I., Egorov N.T.
Comparative study of structure and properties of plate steels of different strength classes

Андрейко Н.Г., Захарченко Е.И., Захарченко Ю.И.
Риски и технологическая безопасность в теплоэнергетике 45
Andreyko N.G., Zakharchenko Y.I., Zakharchenko J.I.
Risks and technological safety in the heat power industry

Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д.
Одновинтовые гидравлические машины в нефтегазовой промышленности:
области применения и перспективы развития 48
Baldenko D.F., Baldenko F.D.
Single-screw hydraulic machines in the oil and gas industry: fields of application and development prospects

Белкин А.П., Бакин Ю.А.
Применение методов диагностики теплоэнергетического оборудования
на предприятиях газовой добычи 54
Belkin A.P., Bakin Yu.A.
Application of diagnostic methods for heat power equipment at gas production enterprises

Биктимиркин Е.Ю., Мозговой Г.С.
Альтернативная технология заканчивания горизонтальных скважин 60
Biktimirkin E.Yu., Mozgovoy G.S.
Alternative technology for finishing horizontal wells

Биличенко А.П., Нешина Е.Г.
Разработка информационно-измерительной системы для определения концентрации метана 63
Bilichenko A.P., Neshina Y.G.
Development of an information and measurement system for determining methane concentrations

Булатов А., Нешина Е.Г.
Перспективы развития ветроэнергетики в Казахстане 67
Bulatov A., Neshina Y.G.
Prospects for the development of wind energy in Kazakhstan

Величко Е.И., Терещенко И.А., Аванесов А.С.
Методика определения утечек из трубопровода на основе электрочастотного мониторинга 70
Velichko Y.I., Tereshchenko I.A., Avanesov A.S.
Methodology for determining leakage from a pipeline based on electrical frequency monitoring

Голованчиков А.Б., Прохоренко Н.А., Бурова Ю.А., Чуватова В.В.
Динамический смеситель 73
Golovanchikov A.B., Prokhorenko N.A., Burova Yu.A., Chuvatova V.V.
Dynamic mixer

Голованчиков А.Б., Прохоренко Н.А., Слабун К.В., Ахмаджонов Ш.Х.
Динамическая насадка тепло- и массообменных процессов 76
Golovanchikov A.B., Prokhorenko N.A., Slabun K.V., Achmadjonov Sh.H.
Dynamic packing of heat and mass transfer processes

Гололобов Д.В.
Информационное пространство для автоматизации процесса формирования
технологической операции механической обработки изделий газонефтяного комплекса 79
Gololobov D.V.
Information space for automating the process of forming
the technological operation of mechanical processing of gas and oil complex products

Гулгазли А.С., Дашдыуев Ш.И.
Толстостенный уплотнитель из антифрикционного материала 82
Gulgazli A.S., Dashdiuev Sh.I.
Hick-walled sealant made of sliding material

Демидова П.И., Мозговой Г.С.
Методы идентификации и ограничения водопритока
на горизонтальных скважинах после проведение многостадийного гидроразрыва пласта 89
Demidova P.I., Mozgovoy G.S.
Methods for identifying and limiting water flow in horizontal wells after multistage hydraulic fracturing (MSHF)

Деркач Н.Д., Перельман О.М., Пестренин В.М., Пестренина И.В.,
Коротаев А.Ю., Ландик Л.В., Мингараев В.Г., Фадейкин А.С.
Балочная модель роторно-управляемой системы с электродвигателем 92
Derkach N.D., Perelman O.M., Pestrenin V.M., Pestrenina I.V.,
Korotayev A.Yu., Landik L.V., Minharaev V.G., Fadeykin A.S.
Beam model of the rotor-controlled system with an electric motor

Думлер Е.Б., Зинатуллина Э.Я., Вахитова Р.И.
Исследование модели потока пластовой жидкости
в клапаном узле установки погружного электроцентробежного насоса 103
Dumler E.B., Zinatullina E.Ya., Vakhitova R.I.
Study of a model fluid flow in the valve assembly of a submersible electric centrifugal pump

Дюсембин А.Г., Кенжебек А.С.
Светотехнические свойство светодиодной лампы с теплоотводом
на основе полимерного композитного материала 109
Dusembin A.G., Kenzhebek A.S.
Lighting property of LED lamp with heat sink based on polymer composite material

Зарубина С.А., Целяев Н.С., Кокоулин И.А., Бабенко Г.В.
Методы определения коррозийной активности грунтов
при проектировании систем электроснабжения 111
Zarubina S.A., Tselyaev N.S., Kokoulin I.A., Babenko G.V.
Methods for determining corrosive activity of soils in design of power supply systems

Иванова О.Г., Герасимова Л.В.
Текстильные отходы: переработка и нерешенные проблемы 116
Ivanova O.G., Gerasimova L.V.
Textile waste: recycling and unresolved issues

Иманов Ж.Ж., Мехтиев А.Д., Искакова А.М.
Аппараты электромагнитной обработки воды
технологических циклов тепловых электрических станций 118
Imanov J.J., Mehdiyev A.J., Iskakova A.M.
Devices for electromagnetic water treatment of technological cycles of thermal power stations

Калашников И.Е., Михеев Р.С., Кобелева Л.И., Быков П.А.
Разработка композиционных материалов для узлов трения скважинных насосных установок
нефтегазовой промышленности 121
Kalashnikov I.E., Mikheev R.S., Kobeleva L.I., Bykov P.A.
Development of composition materials for friction units for borehole pumping units of oil and gas industry

Карпухин С.Д., Манаев О.И., Пахомова С.А.
Комплекс свойств композиционных материалов
применяемых в нефтегазовой промышленности 124
Karpukhin S.D., Manaev O.I., Pakhomova S.A.
Complex of composite materials properties used in the oil and gas industry

Кейметинова В.П., Герасимова Л.В.
Сбор и утилизация батареек в городе Якутске 130
Keymetinova V.P., Gerasimova L.V.
The collection and recycling of batteries in the city of Yakutsk

Кинякин А.И., Климова В.Д., Алгебраистова Н.К., Рулёва Д.В., Мусаев О.К.
К оценке возможности использования реагентов-собирателей
китайского производства для флотации свинцовой руды 133
Kinyakin A.I., Klimova V.D., Algebraistova N.K., Ruleva D.V., Musaev O.K.
To assess the feasibility of using chinese-made collectors for flotation of lead ore

Костилевский В.А., Шайдаков В.В., Аюпова А.Р.
Гидрозащита ПЭД с усиленной осевой опорой 140
Kostilevsky V.A., Shaydakov V.V., Ayupova A.R.
Hydraulic protection pad with reinforced axial support

Курмазова Н.А., Храмов А.Н.
Определение гранулометрического состава угля и характеристик крупности 143
Kurmazova N.A., Hramov A.N.
Determination of particle size distribution of coal and particle size characteristics

Лебедев Д.И.
Характеристики поверхности восстановленной коронки рыхлителя KOMATSU D375A 147
Lebedev D.I.
Surface characteristics of the restored of the crown of the ripper KOMATSU D375A

Маликов Н.М., Нешина Е.Г., Альмусин Г.Т., Амантай Ж.Е.
Анализ коррозионного износа трубопроводов и тепловых сетей 150
Malikov N.M., Neshina Y.G., Almusin G.T., Amantai Zh.E.
Analysis of corrosion wear of pipelines and heat networks

Матвейкин В.Г., Дмитриевский Б.С., Василевский К.С., Толстошеин С.С.
Математическая модель редукционно-охладительной установки
в системе пароснабжения нефтеперерабатывающего предприятия 153
Matveykin V.G., Dmitrievsky B.S., Vasilevsky K.S., Tolstoshein S.S.
Mathematical model of a steam reduction and cooling unit
in steam supply systems of oil refining production

Меликов Э.А., Сеидов Т.С.
Первичный измерительный преобразователь полярографического типа 156
Melikov E.A., Seidov T.S.
Polarographic type primary transmitter

Мехтиева А.М., Аллахвердиева Н.М.
Особенности автоматизации технологического процесса на предприятиях 159
Mehdiyeva A.M., Allahverdiyeva N.M.
Features of automation of the technological process at enterprises

Мурадли В.А.
Планирование поведения интеллектуального агента
с применением неопределенной логики типа II 161
Muradli V.A.
Planning the behavior of an intellectual agent with application of type II uncertain logic

Мусави С.А.
Попутный нефтяной газ как топливо для топливных элементов 162
Musavi S.A.
Associated fuel gas as a fuel for sofcs

Назыров Р.Р., Кинев С.А.
Исследование особенностей технологии орбитальной сварки неплавящимся электродом 165
Nazirov R.R., Kinev S.A.
Study of the peculiarities of the technology of orbital welding with a non-combustible electrode

Новиков О.А., Гололобов Д.В.
Модуль описания проектных задач в технологической подготовке производства
на специализированном языке программирования 168
Novikov O.A., Gololobov D.V.
Module for describing project tasks in technological preparation of production
in a specialized programming language

Пахлян И.А.
Моделирование течения в рабочей камере кавитационного диспергатора-смесителя 177
Pakhlyan I.A.
Simulation of flow in the working chamber of a cavitation disperser-mixer

Пискунова С.В., Нифонтов Ю.А.
Буровой шлам как источник сырья для производства строительных материалов
методом шнекового формования 182
Piskunova S.V., Nifontov Yu.A.
Drill cuttings as a source of raw materials in the production of building materials by worm molding

Попов С.А., Ивашкин И.И., Елфимов М.А., Асташов М.А., Попова С.В., Восоров Г.Ю.
Анализ и перспективы использования сжиженного природного газа
в качестве топлива для танкерного флота 185
Popov S.A., Ivashkin I.I., Elfimov M.A., Astashov M.A., Popova S.V., Vosorov G.Yu.
Analysis and prospects of the use of liquefied natural gas as fuel for the tanker fleet

Пшеничный Г.Н.
Твердение портландцемента: мифы и факты 189
Pshenichnyi G.N.
Hardening of portland cement: myths and facts

Рагимова М.С., Намазова Г.И.
Факторы, влияющие на прочность сварных соединений 201
Ragimova M.S., Namazova G.I.
Factors influencing strength welded connections

Рагимова М.С., Намазова Г.И.
Методика расчета сварных соединений морских гидротехнических сооружений 204
Ragimova M.S., Namazova G.I.
Welded compounds calculation procedure marine hydrotechnical structures

Тютяев А.В., Комарова О.Д., Архипова К.Д., Должикова И.С.
Инженерные методы расчёта технологических параметров скважин
на основе статистического анализа режимов их работы 207
Tyutyaev A.V., Komarova O.D., Arkhipova K.D., Dolzhikova I.S.
Engineering methods for calculating the technological parameters of wells based
on a statistical analysis of their operating modes

Фармонов Ж.Б., Суванова Ф.У.
Актуальность переработки нетрадиционного масличного сырья в Узбекистане 213
Farmonov J.B., Suvanova F.U.
Processing relevance unconventional oilseeds in Uzbekistan

Фармонов Ж.Б., Суванова Ф.У.
Применение отходов масложировой промышленности для обогащения пищевых продуктов 215
Farmonov J.B., Suvanova F.U.
Fat and oil industry waste management for food fortification

Фо Чи Тхань
Разработка системы управления и мониторинга автоматизированного
частотно-регулируемого электропривода вентилятора местного проветривания
в шахте Вьетнама в соответствии с концентрацией метана 217
Do Chi Thanh
Development of a control and monitoring system for an automated
frequency-controlled electric local ventilation fan in a Vietnam mine
in accordance with methane concentration

Шиян С.И., Дунаев В.И., Терещенко И.А., Лешкович Н.М.
Возможности расширения системы газоснабжения
удалённых населённых пунктов регионов России
с помощью автономных систем газоснабжения 225
Shiyan S.I., Dunaev V.I., Tereshchenko I.A., Leshkovich N.M.
Possibilities for expanding the gas supply system
remote communities of the regions of Russia using autonomous gas supply system

Шутов Е.А., Капустина Е.Д.
Прогнозирование потребления электрической энергии
для неритмично работающего предприятия 229
Shutov E.A., Kapustina E.D.
Power forecasting for an occasionally operating company

Юсиф-заде А.А., Дадаева Г.Ч.
Исследование каталитического пиролиза фракции при температуре 130–230 °С 234
Yusif-zade A.A., Dadaeva G.C.
Research of catalytic pyrolysis fractions at a temperature of 130–230 °С

Юсубов Ф.Ф.
Влияние поверхностно-активных смазочных материалов на процесс формования 237
Yusubov F.F.
The influence of surface-active lubricants on the formation process

Якубов С.И., Турсунов А.С., Адылов Д.К., Турдиалиев У.М.
Местные графитовые руды Тасказганского месторождения Узбекистана 241
Yakubov S.I., Tursunov A.S., Adylov J.K., Turdialiev U.M.
Local graphite ores of the Tazkazgan deposit of Uzbekistan

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ
*****
ELECTRIC EQUIPMENT IN OIL AND GAS BRANCH

Абзарли М.М.
Система контроля потерь энергии 247
Abzarli M.M.
Control system of energy loss

Афанасьев В.Л., Еременко С.С., Шаго Я.Ю., Геккиев М.М., Кондратенко С.Е., Губский М.И.
Применение позиномов для определения оптимальных значений
параметров специальных электрических приводов 248
Afanasiev V.L., Eremenko S.S., Shago Ya.Yu., Gekkiyev M.M., Kondratenko S.E., Gubsky M.I.
Application of positions for determination of optimal values of parameters of special electric drives

Афанасьев В.Л., Карандей Ю.Ю.
Оптимизация специальных электрических приводов на основе геометрического среднего 251
Afanasiev V.L., Karandey Yu.Yu.
Optimization of special electric drives based on geometric average

Багаутдинова Л.З.
Оценка расхода ресурса бумажной изоляции силового трансформатора 254
Bagautdinova L.Z.
Evaluation of paper insulation resources for power transformer

Баландин В.С., Нешина Е.Г., Дуйсенбаева М.С., Пономарев А.А.
Анализ режимов работы генераторных высоковольтных выключателей 257
Balandin V.S., Neshina Y.G., Duisenbayeva M.S., Ponomarev A.A.
The assaying of operation modes of the generator high-voltage switches

Белов А.А., Кашин А.Я., Шкода В.В., Сидоренко В.С.
Применение инверторов на объектах нефтегазовой промышленности
(в составе гибридных систем электропитания от фотоэлектрических преобразователей) 262
Belov A.A., Kashin A.Ya., Skoda V.V., Sidorenko V.S.
Application of inverters at objects oil and gas industry
(in composition of frequency converters, in composition of power supply systems photoelectric converters)

Биличенко А.П., Нешина Е.Г.
Исследование экономической плотности тока,
для выбора сечений проводников номинальным напряжением 20 кВ 267
Bilichenko A.P., Neshina Y.G.
Study of the economic current density
for selecting cross-sections of conductors with a nominal voltage of 20 kV

Гайтов Б.Х., Ким В.А., Шаршак А.А.
Анализ отечественных и зарубежных установок для переработки нефти 271
Gaitov B.Kh., Kim V.A., Sharshak A.A.
Analysis of domestic and foreign oil separation plants

Димукашева Г.Е., Стрельников Д.С., Зекрин Б.Р., Хазиева Р.Т.
Изучение устойчивости работы частотно-регулируемого
асинхронного электропривода магистрального насосного агрегата 275
Dimukasheva G.E., Strelnikov D.S., Zekrin B.R., Khazieva R.T.
Study of stability of operation of frequency-controlled asynchronous electric drive the of main pump unit

Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А.
Анализ переходных характеристик системы шестого порядка
с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения 281
Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Pechonkin O.A.
The analysis of transient characteristics of a sixth order system
with six one-time solutions of the characteristic equation

Карандей В.Ю., Афанасьев В.Л., Афанасьева И.А.
Управляемый каскадный электрический привод
как способ модернизации систем верхнего привода бурения 287
Karandey V.Yu., Afanasiev V.L., Afanasieva I.A.
Controlled cascade electric drive as a method of modernization of drilling upper drive systems

Квон А.М., Автайкин И.Н.
Математическая модель синхронной машины 291
Kwon A.M., Avtaikin I.N.
Mathematical model of a synchronous machine

Ким В.А.
Перспективы развития сепараторов для полидисперсных жидкостей 294
Kim V.A.
Prospects for the development of separators for polydispersed liquids

Киселёв Д.В., Рябишина Л.А.
Диагностика высоковольтного выключателя на базе микропроцессорной релейной защиты 298
Kiselev D.V., Ryabishina L.A.
Diagnostics of high-voltage switch based on microprocessor relay protection

Кашин Я.М., Князев А.С., Кашин А.Я., Мараховский Е.А.
Методика расчета массы синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов
для гибридных энергетических комплексов и ее реализация 302
Kashin Ya.M., Knyazev A.S., Kashin A.Ya., Marakhovsky E.A.
Method of calculating the mass of the synchronous generator
with excitation from permanent magnets for hybrid energy complexes and its implementation

Пикалов В.В., Мещеряков В.Н., Бойков А.И., Евсеев А.М.
Электродуговой плазмотрон 309
Pikalov V.V., Meshcheryakov V.N., Boikov A.I., Evseev A.M.
Electric arc plasma device

Попова О.Б., Афанасьев В.Л., Карандей Ю.Ю.
Применение приближенного определения минимума
для решения задачи оптимизации специальных электрических приводов 312
Popova O.B., Afanasiev V.L., Karandey Yu.Yu.
Application of approximate minimum determination for solution
of problem of optimization of special electric drives

Попов Б.К., Афанасьев В.Л., Шаго Я.Ю., Геккиев М.М., Кондратенко С.Е., Губский М.И.
Применение геометрических неравенств
для решения задачи оптимизации специальных электрических приводов 315
Popov B.K., Afanasiev V.L., Shago Ya.Yu., Gekkiyev M.M., Kondratenko S.E., Gubsky M.I.
Application of geometric inequalities to solve problem of optimization of special electric drives

Попов С.А., Ивашкин И.И., Елфимов М.А., Асташов М.А., Попова С.В., Восоров Г.Ю.
Применение ветрогенераторов с вертикальной и горизонтальной осью в нефтегазовой отрасли ... 318
Popov S.A., Ivashkin I.I., Elfimov M.A., Astashov M.A., Popova S.V., Vosorov G.Yu.
The use of vertical and horizontal axis wind generators in the oil and gas industry

Попов С.А., Елфимов М.А., Ивашкин И.И., Асташов М.А., Попова С.В.
Анализ конструкций ветрогенераторов
и перспективы их применения на предприятиях нефтегазовой отрасли 321
Popov S.A., Elfimov M.A., Ivashkin I.I., Astashov M.A., Popova S.V.
Analysis of designs of wind generators and prospects for their application at oil and gas industries

Попов С.А., Асташов М.А., Попова С.В., Ивашкин И.И., Елфимов М.А., Черкасский П.А.
Альтернативная энергетика на службе у нефтянников 324
Popov S.A., Astashov M.A., Popova S.V., Ivashkin I.I., Elfimov M.A., Cherkassky P.A.
Alternative energy in the service of the oil industry

Попов С.А., Асташов М.А., Попова С.В., Ивашкин И.И., Кривченков В.И., Черкасский П.А.
Разработка конструктивно-интегрированного
электропривода домкрата для грузовых операций на предприятиях нефтегазового комплекса 327
Popov S.A., Astashov M.A., Popova S.V., Ivashkin I.I., Krivchenkov V.I., Cherkassky P.A.
Development of a structurally integrated electric drive jacks for cargo operations at oil and gas enterprises

Руденко А.М., Габитов Р.Г., Саинова В.Н., Шипулина Ю.В., Руденко М.Ф.
Внедрение солнечной энергетики в нефтегазовые комплексы южных регионов 331
Rudenko A.M., Gabitov R.G., Sainova V.N., Shipulina Yu.V., Rudenko M.F.
The introduction of solar energy in the oil and gas complexes of the southern regions

Самородов А.В., Артенян К.З., Войнов А.В.
Алгоритм расчета параметров двигателя-сепаратора аксиальной конструкции 336
Samorodov A.V., Artenyan K.Z., Voinov A.V.
Algorithm for calculating the parameters of the axial design engine-separator

Шишлин Д.И., Платицин Е.Э.
Энергетические показатели каскадно-частотного электропривода и их оптимизация 340
Shishlin D.I., Platitsyn E.E.
Energy indicators of the cascade-frequency electric drive and their optimization

ВВЕДЕНИЕ

31 марта 2020 года в г. Краснодаре прошла IV Международная научно-практическая конференция «БУЛАТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ».

Перед конференцией была поставлена важная и крайне актуальная задача: на основе новейших достижений в науках о Земле, механики жидкости и газа, термодинамики, физико-химии и других смежных научных направлений предложить фундаментальные основы для создания новых технологий разработки нефтегазовых месторождений, добычи и транспортировки углеводородного сырья, экологически чистых и ресурсосберегающих технологий. Обсуждались наиболее перспективные направления и результаты фундаментальных и прикладных исследований и разработок, направленных на создание новых технологий в нефтегазовой отрасли.

Поиск путей решения поставленной перед конференцией задачи проводился по следующим научным направлениям:

- прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа; нефтегазопромысловая геология; разведочная и промысловая геофизика;
- разработка нефтяных и газовых месторождений;
- бурение нефтяных и газовых скважин;
- проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта;
- химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности;
- электрооборудование в нефтегазовой отрасли, технические и технологические разработки;
- гуманитарные науки (история развития нефтегазовой отрасли; терминология нефтегазовой отрасли; методика преподавания (лингвистические исследования); экономика в нефтегазовой отрасли; правовое обеспечение развития нефтегазовой промышленности и др.).

Были представлены также обобщающие доклады, связанные с новыми научными подходами к проблемам нефти и газа. Статьи в настоящем сборнике расположены согласно указанным направлениям.

В конференции приняли участие сотрудники институтов Российской Академии наук, отраслевых институтов нефтегазового профиля, технических вузов, работники нефтяных и газовых компаний.

Настоящая конференция посвящена памяти Анатолия Ивановича Булатова (31 марта 1931, Краснодар – 13 августа 2016) – советского и российского учёного-нефтяника, доктора технических наук (1961), профессора (1966), лауреата премии Совета министров СССР. Булатов А.И. – основатель Всесоюзного научно-исследовательского института по креплению скважин и буровым растворам (ВНИИКРнефть) и созданного на его основе НПО «Бурение». Позже это объединение стало «головным» предприятием в области строительства скважин в СССР, за годы существования приобрело известность научными разработками во всех технологических направлениях строительства скважин и их ремонта в СССР, США, Австрии, Германии, Польше, Венгрии и др. Профессор Булатов А.И. известен результатами своих исследований в области строительства глубоких высокотемпературных и горизонтальных скважин, их заканчивания и ремонта в процессе эксплуатации; он создатель (совместно с Евгением Константиновичем Мачинским) принципиально новых тампонажных цементов для заканчивания глубоких высокотемпературных скважин и специального лабораторного оборудования для испытания тампонажных материалов при высоких температурах и давлениях. Выдающийся вклад в отечественную прикладную науку осуществили его ученики и коллеги в созданном им «Всесоюзном научно-исследовательском институте по креплению скважин и буровым растворам» (ВНИИКРнефть). Этим НИИ Булатов А.И. руководил четверть века, а также организованном на его основе НПО «Бурение», в состав которого входили ВНИИБТ, ВНИИТнефть, ПФ ВНИИБТ, Андижанское КБ, ряд территориальных специализированных лабораторий, более 10 машиностроительных и ремонтных заводов и заводов по производству спецматериалов и химреагентов для бурения и эксплуатации скважин, ряда месторождений глин и утяжелителей с общей численностью работающих более тридцати тысяч человек.

Редакционный совет благодарит всех участников конференции и авторов, представивших статьи в настоящий сборник, а также выражает глубокую признательность и искреннюю благодарность ООО «ЛУКОЙЛ-Югнефтепродукт» за оказанную финансовую помощь и ООО «Издательский Дом – Юг» – за оказанную организационную и информационную поддержку.

ТЕХНИЧЕСКИЕ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

*****

TECHNICAL
AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS

УДК 665.642

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРПОРАТИВНЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ

●●●●●●

RESEARCH CORPORATE MULTISERVICE NETWORKS

Бахтияров Исрафил Натик
докторант кафедры
управления и системной инженерии,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
israfilbaxtiyarov@gmail.com

Аннотация. Рассмотрена структурная схема функционирования исследуемой модели корпоративных мультисервисных сетей связи с использованием сетевых элементов программно-конфигурируемых сетей. Получены формулы для расчета показателей вероятностно-временных характеристик корпоративных мультисервисных сетей связи.

Ключевые слова: мультимедийные услуги, корпоративные мультисервисные сети связи, контроллер, коммутатор, программно-конфигурируемая сеть.

Bakhtiyarov Israfil Natik
Doctorated study
of Department Control
and System Engineering,
Azerbaijan state oil and industry university
israfilbaxtiyarov@gmail.com

Annotation. A structural diagram of the functioning is investigated model corporate multiservice communication networks using network elements software- defined networks is considered. Formulas are obtained for calculating the indicators of the probability-time characteristics corporate multiservice communication networks.

Keywords: multimedia services, corporate multiservice communication networks, controller, switch, software-defined network.

Creation of new and improvement of existing corporate multiservice communication networks is of great importance for the development of the telecommunication infrastructure of management systems of industrial companies, organizations, departments and government bodies. As a rule, for such communication networks it is created on the basis of renting a network, channel and information resource from the operators of the Unified Telecommunication Network [1, 2]. Based on the systematic and technical analysis, it was found that among the above-mentioned digital and network technologies, an important place is occupied by the technology of software-configurable networks (PCN), providing the provision of the Triple Play services and Bandwidth on Demand services, which requires the provision of maximum bandwidth, average latency and bandwidth on demand of users.

In [4, 5, 6], the principles of building corporate communications networks using the architectural concepts of next-generation networks based on circuit switching are discussed in detail. Our study is dedicated to solving the problem formulated above – the study and assessment of the probability-time characteristics of corporate multiservice communication networks based on the architectural concept of future FN networks using PKS technology. Based on the study of corporate multiservice communication networks based on FN architectural concepts, it was established in [5, 7] that the main and most popular multimedia services are access to telecommunication networks, the Internet, IP-telephony (Internet Protocol), a local area network, and a global network in which it is necessary to analyze in more detail the network technology of software-configured networks.

It should be noted that in software-configured networks, as you know, the main fundamental feature is the separation of functions that are responsible for data transfer, and the removal of control applications to a separate server – controller. To describe the useful and service traffic passing between the network switches and the controllers of the PKS, an analysis of their statistical characteristics and the selection of an adequate MM random process are required.

In the study of the functioning efficiency of corporate multiservice communication networks using the PKS technology, an important task arises of developing a mathematical model (MM), based on simplifications in the description of the studied concept of a single infocommunication space.

On the basis of the PKS MM network, explicit analytical expressions are obtained for the stationary probability distribution of the QS corresponding to the simplified model of corporate multiservice networks based on FN.

Литература

1. Wang K.-H. Optimal control of a removable and non-reliable server in an M/M/1 queueing system with exponential startup time // Mathematical Methods of Operations Research. – 2003. – Vol. 58. – P. 29–39.

2. Ibrahimov B.G., Humbatov R.T., Ibrahimov R.F. Analysis performance multiservice telecommunication networks with using architectural concept future networks // T-Comm. – 2018. – Vol. 12. – № 12. – P. 84–88.

3. Башарин Г.П., Самуйлов К.Е., Яркина Н.В., Гудкова И.А. Новый этап развития математической теории телетрафика // Автоматика и телемеханика. – 2009. – № 12. – С. 16–28.

4. Малиновский С.Т., Беленькая М.Н., Спиридонов А.А. Метод повышения производительности транспортного протокола TCP в глобальных корпоративных сетях передачи данных // T-COMM. – 2010. – № 7. – С. 39–42.

5. Пшеничников А.П. Теория телетрафика. – М. : Горячая линия – Телеком, 2017.– 212 с.

6. Треногин Н.Г., Соколов Д.Е. Модели трафика корпоративных сетей на основе устойчивых фрактальных процессов // Вестник НИИ СУВПТ, Сборник научных трудов. – Красноярск, 2003. – Вып. 14. – С. 76–80.

7. Семенова О.В., Дудин А.Н. Система массового обслуживания M/M/N с управляемым режимом обслуживания и катастрофическими сбоями // Автоматика и вычислительная техника. – 2007. – № 6. – С. 72–80.

References

1. Wang K.-H. Optimal control of a removable and non-reliable server in an M/M/1 queuing system with exponential startup time // Mathematical Methods of Operations Research. – 2003. – Vol. 58. – P. 29–39.

2. Ibráhimov B.G., Humbatov R.T., Ibrahimov R.F. Analysis performance multiservice telecommunication networks with using architectural concept future networks // T-Comm. 2018. – Vol. 12. – № 12. – P. 84–88.

3. Basharin G.P., Samuylov K.E., Yarkina N.V., Gudkova I.A. A new stage in the development of the mathematical theory of teletraffic // Automation and Telemechanics. – 2009. – № 12. – P. 16–28.

4. Malinovsky S.T., Belenkaya M.N., Spiridonov A.A. A method for increasing the performance of the transport protocol TCP in global corporate data networks // T-COMM. – 2010. – № 7. – P. 39–42.

5. Pshenichnikov A.P. Theory of teletraffic. – M. : Hot line. Telecom, 2017. – 212 p.

6. Trenogin N.G., Sokolov D.E. Corporate network traffic models based on stable fractal processes // Vestnik NII SUVPT, Collection of scientific works. – Krasnoyarsk, 2003. – Issue 14. – P. 76–80.

7. Semenova O.V., Dudin A.N. Queuing system M/M/N with controlled service mode and catastrophic failures // Automation and Computer Engineering. – 2007. – № 6. – P. 72–80.

УДК 625.878.2

МОНОЛИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ И СИЛОКСАНОВЫХ КАУЧУКОВ С ДОБАВКАМИ

●●●●●●

MONOLITHIC COATINGS BASED ON EPOXY RESINS AND SILOXANE RUBBERS WITH ADDITIVES

Абдикаримов Малик Ныгманович
доктор химических наук, профессор,
изобретатель СССР,
член Американского химического общества,
Алматинский университет
энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева (АУЭС)
m.n.abdikarimov@mail.ru

Тургумбаева Р.Х.
Казахский национальный
педагогический университет им. Абая (КазНПУ)

Аннотация. В работе изучены процессы пиролиза в потоке инертного газа монолитных композиционных покрытий на основе эпоксидных и силоксановых каучуков с добавками. Проведены электронно-микроскопические исследования. Определены области кристалличности композиционных эпоксидных и силоксановых материалов.

Ключевые слова: процессы пиролиза, композиционные покрытия, эпоксидне и силоксанове каучуки.

Abdikarimov Malik Nygmanovich
Doctor of chemical sciences, Professor,
the inventor of the USSR,
member of the American Chemical Society,
University of Almaty energy
and communications
named after Gumarbek Daukeev
m.n.abdikarimov@mail.ru

Turgumbayeva R.H.
Kazakh national pedagogical university
named after Abai

Annotation. The paper studies pyrolysis processes in the inert gas flow of monolithic composite coatings based on epoxy and siloxane rubbers with additives. Electron-microscopic studies were conducted. The areas of crystallinity of composite epoxy and siloxane materials were determined.

Keywords: pyrolysis processes, composite coatings, epoxy and siloxane rubbers.

Известно применение различных эпоксидных и силоксановых покрытий в качестве герметиков, клеев и композиционных материалов в различных областях техники [1–3]. Композиции на основе силоксановых каучуков марок СКТ, СКТН-А и СКТН «Т» морозостойкие [4, 5] имеют высокую термостойкость до + 250 °С, однако их прочностные свойства невелики.

Определенный интерес представляет изучение механизма пиролиза и эксплуатационных свойств композиционных материалов на основе эпоксидной смолы ЭД-20, полипропилена (ПП) и каучуков: эпоксидированного ПЭФ-3А и метилсилоксанового СКТН-А. В качестве добавок изучена глина, содержащая 8 и 13 % оксида железа (Ш). Добавки просеивали через сито с диаметром отверстий 0,1 мм. Смесь компонентов тщательно перемешивали. Инициирующими системами были динитрил азобисизомасляной кислоты (ДАК) и перекись дикумила (ПДК). Композиции на основе эпоксидных полимеров отверждали полиэтиленполиамином (НЭПА), силоксановые составы диэтил-каприлатом олова-отвердителем К-18.

Термогравиметрические кривые образцов снимали в потоке инертного газа при скорости нагревания 12,5 °/мин, а термомеханические исследования проводили на образцах диаметром 6 ±0,1 мм и толщиной 2 мы на воздухе при нагрузке 10 кг/мм². Структуры полимерных композиций изучали на электронном микроскопе ЭВМ-100-ЛМ по методу углеродных реплик [6].

Изучены [7, 8] процессы пиролиза композиционных материалов ЭД-20, полипропилена и каучуков: эпоксидированного ПЭФ-3А и метил-силоксанового СКТН-А. В качестве добавок применены: глина, резиновая крошка, песок. Инициирующими системами были динитрилазобисизомасляная кислота и перекись дикумила.

На рисунке 1 представлены термогравиметрические кривые различных образцов. Как видно, температура начала разложения полимерных композиций на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и эпоксидированного каучука ПЭФ-3А начинается при 305 °С. Добавки глины и резиновой крошки не влияют на механизм пиролиза эпоксидных композиций, перекись дикумила способствует смещению хода кривых в область температур в среднем на 50–70 °С. Потери массы образцов при 400 °С для различных композиций составляют 16–40 % при 800 °С достигают 73-78 %, а составы, содержащие преимущественно эпоксидированный каучук ПЭФ-3А с добавлением ЭД-20, имеют потери массы 85–88 %.

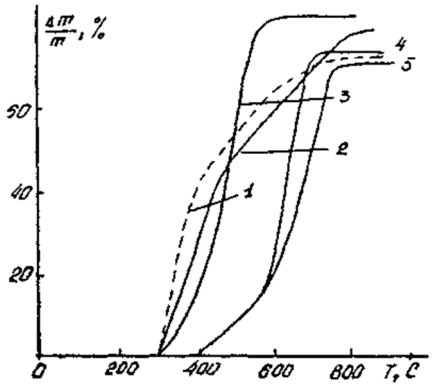


Рисунок 1 – Термогравиметрические кривые образцов: $V_{нагрева}$ = 12,5 °/мин в потоке аргона

№№	Шифр	Состав	
1.	18	Эпоксидная смола ЭД-20	100 вес.ч.
		ПЭПА	10 вес.ч.
		Глина № 1 (13 % – Fe_2O_3)	20 вес.ч.
		Перекись дикумила	2 вес.ч.
2.	19	Эпоксидная смола ЭД-20	100 вес.ч
		Глина № 2 (8 % – Fe_2O_3)	20 вес.ч.
		Резиновая крошка	20 вес.ч.
		ПЭПА	10 вес.ч.
3.	29	Эпоксидная смола ЭД-20	25 вес.ч.
		ПЭФ-3А	100 вес.ч.
		ПЭПА	2,5 вес.ч.
		Резиновая крошка	40,7 вес.ч.
4	51	СКТН-А	100 вес.ч.
		К-18	10 вес.ч.
		ПЭФ-3А	10 вес.ч.
5	52	СКТН-А	100 вес.ч.
		К-18	10 вес.ч.
		ПЭФ-3А	10 вес.ч.
		Песок	20 вес.ч.

На рисунке 2 приведены результаты термомеханических испытаний эпоксидных композиций. Из рисунка следует, что вязкоупругие свойства эпоксидных полимеров возрастают с введением в состав композиций полипропилена (кривая 2), обусловливающего возрастание свойств высокоэластичности при дополнительном содержании эпоксидированного каучука (кривая 3). Высокая эластичность эпоксидной композиции № 3 проявляется до температуры 330 °С, когда образец начинает течь. По-видимому, полипропилен и перекись дикумила взаимодействуют с эпоксигруппами смолы и каучука и образуют сшитую сетку.

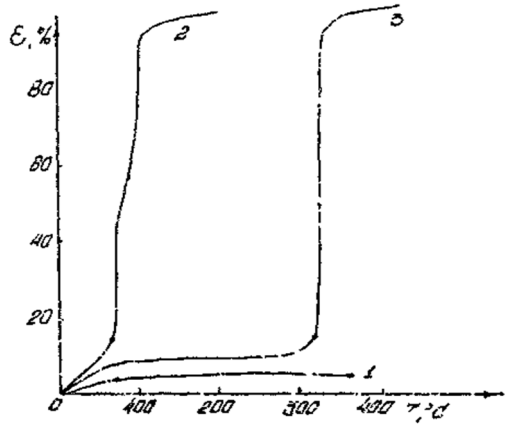


Рисунок 2 – Термомеханические кривые образцов эпоксидной смолы с добавками

№№	Шифр	Состав	
1	18	Эпоксидная смола ЭД-20	100 вес.ч.
		ПЭПА	10 вес.ч.
		Глина №1(13 % Fe2O3)	20 вес.ч.
		Перекись дикумила	2 вес.ч.
2.	23	Эпоксидная смола ЭД-20	100 вес.ч.
		Динитрилазобисизомасляная кислота	2 вес.ч.
		Резиновая крошка	10 вес.ч.
		Полипропилен	20 вес.ч.
		ПЭПА	10 вес.ч.
3	25	Эпоксидная смола ЭД-20	100 вес.ч.
		ПЭФ-3А	10 вес.ч.
		Глина № 2 (8 % F2O3)	4 вес.ч.
		Полипропилен	10 вес.ч.
		ПЭПА	10 вес.ч.

Характер распределения наполнителей в эластомерах, морфологию поверхности образцов, структуры полимерных композиций изучали на электронном микроскопе ЭВМ-100-ЛМ по методу углеродных реплик

В таблице представлены данные электронно-микроскопических исследований различных образцов монолитных покрытий [9].

Таблица – Составы монолитных покрытий при электронно-микроскопических исследованиях

№№	Шифр смеси	Состав	Вес. ч.
1	97	ПЭФ-3А Эпоксидная смола ЭД-20 ПЭПА Резиновая крошка	100 15 15 32,5
2	98	ПЭФ-3А Эпоксидная смола ЭД-20 ПЭПА Резиновая крошка	100 25 2,5 40,7
3	29	ПЭФ-3А Эпоксидная смола ЭД-20 ПЭПА Резиновая крошка	10 25 2,5 40,7
4	99	ПЭФ-3А Эпоксидная смола ЭД-20 ПЭПА Глина	40 60 60 100
5	51	СКТН-А Отвердитель К-18 ПЭФ-3А	100 10 10
6	52	СКТН-А Отвердитель К-18 ПЭФ-5А Песок	100 10 10 20
7	22	Эпоксидная смола ЭД-20 Полибутилметакрилат Глина №1 Резиновая крошка ПЭПА	100 100 4 10 10

Электронно-микроскопическими исследованиями (рис. 3, состав 5) установлено появление областей кристалличности эпоксидных композиций, имеющих первоначально аморфную фазу при добавлении глины, полипропилена и ПЭФ-3А, и образование полностью закристаллизованных структур при введении в эпоксидную композицию глины и ПДК. Показано, что диаметр пор силоксановнх композиций, имеющих в составе эпоксидированный каучук ПЭФ-3А и отвердитель К-18, меняется в пределах 22500–45000 А°. Добавление песка (рис. 4, состав 6) способствует уменьшению диаметров пор в пределах 13000–22500 А°.

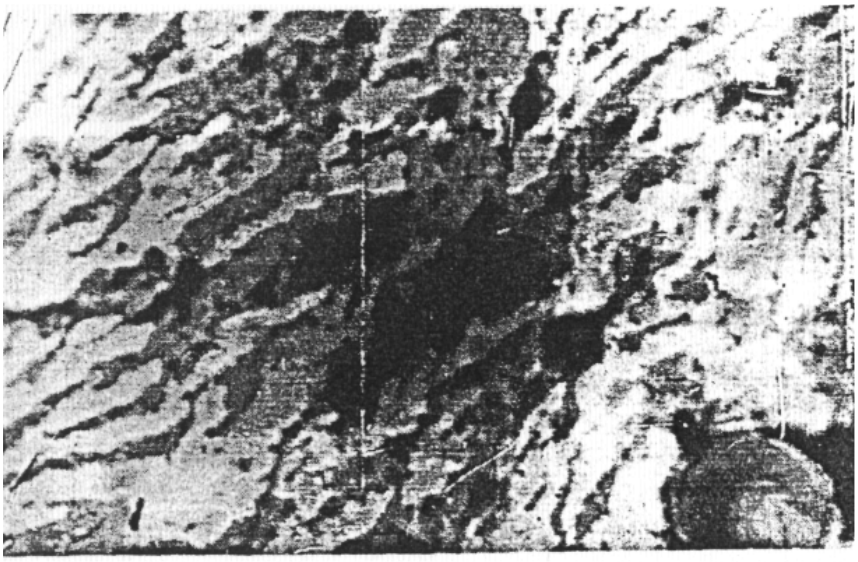


Рисунок 3 – Изучение распределения пор в силоксановом и эпоксидированном каучуках состава № 5: увеличение 20 000

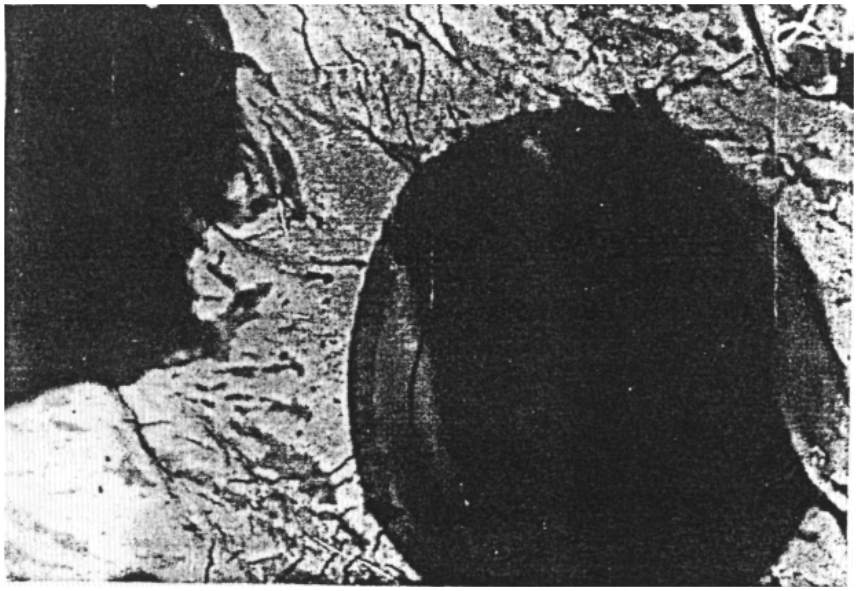


Рисунок 4 – Влияние песка на уменьшение размера пор силоксанового и эпоксидированного каучуков состава № 6: увеличение 20 000

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Перекись дикумила смещает ход кривых в область низких температур на 50–70 °С.
2. Добавки полипропилена и эпоксидированного каучука способствуют увеличении вязкоупругих свойств эпоксидной композиции в широком интервале температур.

Литература

1. Федюкин Д.Л., Махлин Ф.А. Технические и технологические свойства резин. – М. : Химия, 1985. – 240 с.
2. Радченко И.И. Энциклопедия полимеров. – М. : Советская энциклопедия, 1972. – Т. 1. – С. 310–322.
3. Догадкин Б.А., Донцов А.А., Шершнев В.А. Химия эластомеров. – М. : Химия, 1981, – 376 с.
4. Абдикаримов М.Н. [и др.]. Процессы пиролиза и разработка полимерных композиционных материалов в качестве спортивных покрытий : Проблемы технологии и экономии строительных материалов // Межвузовский сб. трудов Каз ГАСА. – Алматы, 1999. – С. 89–100.
5. Абдикаримов М.Н. [и др.]. Разработка монолитных покрытий на основе жидких каучуков // Труды международной конф. «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Казахстан» (к 90-летию член-корреспондента АН Каз ССР И.Н. Азербаева). – Алматы-Шымкент, 6–9 июня 2002. – С. 18–21.
6. Абдикаримов М.Н., Сабырбаева Ш.А., Тургумбаева Р.Х. Электронно-микроскопические исследования монолитных полимерных покрытий // Легкая промышленность Казахстана. – Алматы, 1996. – № 3. – С. 23–30.

7. Байболов С.М., Абдикаримов М.Н., Сабырбаева Ш.А. Изучение процессов пиролиза эпоксидных и силоксановых композиций : Применение полимерных композиционных материалов в машиностроении // тезисы докл. I Всесоюзн. научно-технического семинара. – Ворошиловград, 18–21 мая 1987. – С. 218.

8. Абдикаримов М.Н., Тургумбаева Р.Х., Сабырбаева Ш.А. Исследование процессов горения полимерных композиционных материалов : материалы Симпозиума «Современные проблемы экологически чистых технологий и материалов», посвященного 85-летию член-корреспондента НАН РК, профессора Б.А. Беремжанова» // Вестник КазГУ; серия химическая. – Алматы : Казак Университеті, 1996. – № 5–6. – С. 266–269.

9. Абдикаримов М.Н. Электронно-микроскопические исследования монолитных покрытий на основе жидких связующих с промышленными отходами // Материалы Международной научно-практической конф. «Актуальные проблемы экологии и природопользования в Казахстане и сопредельных территориях», 25–26 мая 2006 г. – Павлодар, 2006. – Т. 1. – С. 44–46.

References

1. Fedyukin D.L., Mahlin F.A. Technical and technological properties of rubbers. – M. : Chemistry, 1985. – 240 p.

2. Radchenko I.I. Encyclopedia of Polymers. – M. : Soviet Encyclopedia, 1972. – Vol. 1. – P. 310–322.

3. B.A. Guesswork, A.A. Dontsov, V.A. Hornet, V.A. Chemistry of Elastomers. – M. : Chemistry, 1981, – 376 p.

4. Abdikarimov M.N. [et al.]. Pyrolysis Processes and Development of Polymer Composite Materials as Sports Coatings : Problems of Technology and Saving of Construction Materials // Mezhduzovsky Proceedings of Kaz GASA. – Almaty, 1999. – P. 89–100.

5. Abdikarimov M.N. [et al.]. Development of monolithic coatings on the basis of liquid rubbers // Proceedings of the international conf. «State and prospects of development of organic chemistry in the Republic of Kazakhstan». (to the 90th anniversary of the corresponding member of the Academy of Sciences of the Kaz SSR I.N. Azerbaijan). – Almaty-Shymkent, June 6–9, 2002. – P. 18–21.

6. Abdikarimov M.N., Sabyrbayeva Sh.A., Turgumbayeva R.H. Electron-microscopic research of monolithic polymeric coatings // Light Industry of Kazakhstan. – Almaty, 1996. – № 3. – P. 23–30.

7. Baibolov S.M., Abdikarimov M.N., Sabyrbayeva S.A. Study of pyrolysis processes of epoxy and siloxane compositions : the use of polymer composite materials in mechanical engineering // Theses of the First All-Union Scientific and Technical Seminar. – Voroshilovgrad, May 18–21, 1987. – P. 218.

8. Abdikarimov M.N., Turgumbayeva R.H., Sabyrbayeva S.A. Investigation of Polymer Composite Burning Processes : Materials of the Symposium «Modern Problems of Ecologically Pure Technologies and Materials» devoted to the 85th Anniversary of Corresponding Member of NAS RK, Professor B.A. Beremzha-nova // KazSU Newsletter; series of chemical articles. – Almaty : Kazak University, 1996. – № 5–6. – P. 266–269.

9. Abdikarimov M.N. Electron-microscopic studies of monolithic coatings based on liquid binders with industrial wastes // Proceedings of the International Scientific and Practical Conf. «Actual problems of ecology and nature management in Kazakhstan and neighboring territories», May 25–26, 2006. – Pavlodar, 2006. – Vol. 1. – P. 44–46.

УДК 622.276.74:66

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕННОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЙ В ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ

●●●●●●

DEVELOPMENT AND STUDY OF A FOAM COMPOSITION FOR SAND CONTROL IN PRODUCTION WELLS

Абдуллаева Эльмира Сабир кызы
докторант, старший научный сотрудник
отдела по борьбе с песко- и водопроявлениями,
Научно-исследовательский
проектный институт «Нефтегаз», SOCAR
elmiraabdullayeva2016mailru.abd@mail.ru

Кязимов Эльчин Ариф оглы
доктор технических наук,
заведующий лабораторией
Буровые и цементные растворы,
Научно-исследовательский
проектный институт «Нефтегаз», SOCAR
Elchin.Kazimov@socar.az

Аннотация. Разработана и исследована новая пенная композиция. Рассматривается преимущество пенной системы при промывке песчаной пробки в пескопроявляющих скважинах. В связи с тем, что на месторождениях Азербайджана, особенно в поздней стадии их разработки наблюдаются разные виды осложнений, в том числе пескопроявления, новая пенная система находит широкое применение в борьбе с указанными рисками.

Ключевые слова: скважина, песок, механические примеси, песчаная пробка, пенная система, реагент, композиция, промывка пробки.

Abdullayeva Elmira Sabir qizi
Doctoral Candidate, Senior researcher
of the Department of sand
and water management,
«OilGasScientificResearchProject» İnstitute,
SOCAR
elmiraabdullayeva2016mailru.abd@mail.ru

Kazimov Elchin Arif oglu
Doctor of Technical Sciences,
Head of laboratory
Drilling and cement mortars,
«OilGasScientificResearchProject» İnstitute,
SOCAR
Elchin.Kazimov@socar.az

Annotation. A new foam composition has been developed and studied. The advantages of the foam system used for sand washing in sand-producing wells are considered here in the article. Due to the fact that various types of complications, including sand production, are observed in the fields of Azerbaijan, especially in the late stage of the development, the new foam system is widely used to prevent such risks.

Keywords: well, sand, mechanical impurities, sand bridge, foamy system, chemical, composition, sand washing.

Значительная часть мировых запасов углеводородов приурочена к месторождениям, пласты которых сложены слабосцементированными породами. Эксплуатация скважин, вскрывающих объекты этих месторождений, приводит к разрушению призабойной зоны пласта и интенсивному пескопроявлению. В скважину вместе с жидкостью поступает большое количество песка в случае, если скорость движения песчано-жидкостной смеси недостаточна для подъема частиц песка, они оседают и скапливаются на забое скважины. Таким образом, создается песчаная пробка, препятствующая притоку жидкости из пласта в скважину. Для восстановления гидродинамической связи в системе «скважина-пласт» необходимо провести ремонтно-восстановительные работы по очистке забоя и выносу песка из скважины.

Промывка песчаной пробки является одним из самых эффективных и распространенных способов очистки скважин от песка. В последнее время в процессах нефтедобычи в качестве технологических жидкостей с успехом применяются композиционные системы на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1–3]. Преимущество этих систем заключается в том, что они обладают хорошей способностью удерживать частицы песка во взвешенном состоянии, создают условия для постепенного снижения давления на забое скважины и вызова притока флюида из пласта, и сохранения естественных коллекторских свойств продуктивного пласта.

Однако в ряде случаев разработанные системы продолжительное время не обладают достаточной устойчивостью для поддержания частиц песка во взвешенном состоянии. Их применение в качестве технологической жидкости в глубоких наклонных и вертикальных скважинах не в состоянии обеспечивать полный вынос песка на поверхность.

Для полного выноса песка на поверхность из глубоких скважин нами разработан состав для промывки песчаной пробки, включающий закачку композиции, состоящей из полимера, анионного ПАВ, наночастиц алюминия размерами 50–70 нм и воды.

Результаты экспериментальных исследований по определению устойчивости пенной композиции, с учетом концентрации наночастиц с ПАВ (без полимера) приведены на рисунке 1.

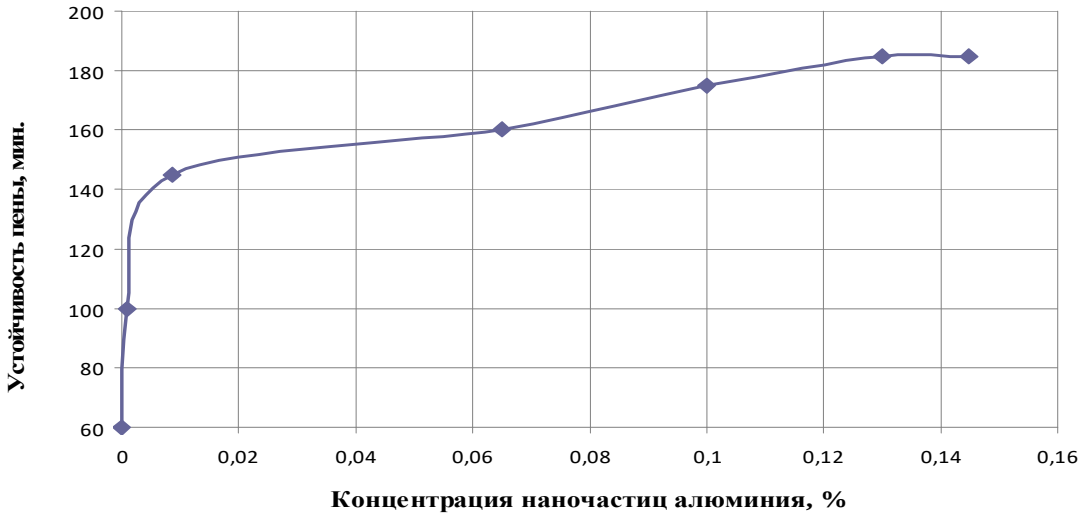


Рисунок 1 – Зависимость устойчивости пенной системы от концентрации наночастиц алюминия

Представленная зависимость свидетельствует о том, что увеличение концентрации наночастиц алюминия в водном растворе ПАВ позволяет увеличивать устойчивость созданной пенной системы без полимера.

Отметим, что оптимальная концентрация наночастиц алюминия, добавленная в водный раствор реагента SNKX-04, выполняющего функцию ПАВ, при которой созданная пенная система приобретает устойчивость, составляет 0,001–0,1 %. В то же время оптимальная концентрация реагента SNKX-04 при которой наблюдается высокая устойчивость созданной пенной системы, составляет 0,2–0,4 %. Дальнейшее увеличение концентрации реагента SNKX-04 и наночастиц алюминия не приводит к повышению устойчивости пены. Очевидно, механическая прочность пенного каркаса не является показателем, обеспечивающим высокую устойчивость композиции. При максимальной устойчивости пенная система, не достигшая равновесия, сохраняет тенденцию к восстановлению и обладает необходимой для этого подвижностью. Эти свойства теряются в том случае, если молекулярный адсорбционный слой пузырьков пены дошел до степени насыщения. Вследствие этого оптимальная концентрация наночастиц алюминия и реагента SNKX-04 соответствует недонасыщенному периоду адсорбционного слоя пузырьков пены. Таким образом, создается пенная система с высокой устойчивостью, то есть образуется гибкая структура пенного каркаса.

Исследована возможность повышения устойчивости пенной системы путем подбора высокомолекулярного полимера – полиакриламида (ПАА), благодаря чему были обеспечены оптимальные расходы ПАВ и наночастиц.

На рисунке 2 показано изменение устойчивости пены в зависимости от концентрации ПАА.

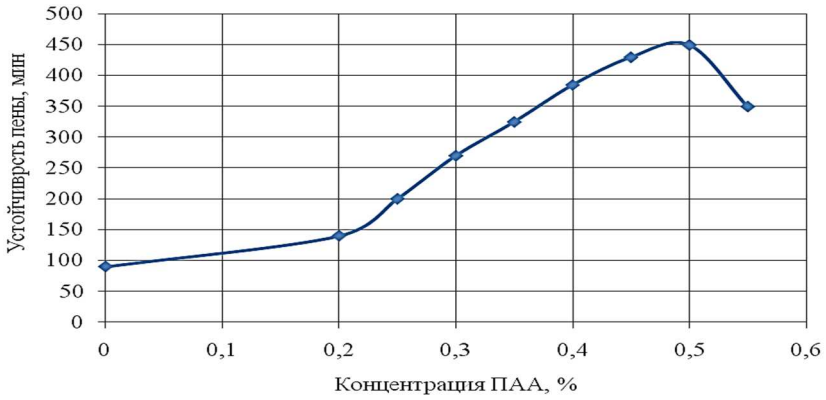


Рисунок 2 – Зависимость устойчивости пенной системы от концентрации ПАА

Представленная зависимость показывает, что в результате применения в качестве стабилизатора пенной системы полиакриламида (ПАА) концентрацией 0,25–0,5 % достигается высокая устойчивость пенной системы. Это можно объяснить тем, что водный раствор полиакриламида обладает значительной вязкостью. Соединяясь с пенообразователем – реагентом SNKX-04 он создает гелеобразную прочную структуру, благодаря которой устойчивость системы повышается за счет наночастиц, которые также являются поверхностно-активными веществами.

В результате проведенных исследований было выявлено, что если для получения стабильной пены без стабилизатора (ПАА) необходима оптимальная концентрация реагента SNKX-04 0,2–0,4 %, то при добавлении ПАА достаточно, чтобы содержание указанного реагента составляло, 0,03–0,05 %, то есть указанная концентрация позволяет увеличивать устойчивость пенной системы, созданной без полимера (рис. 3).

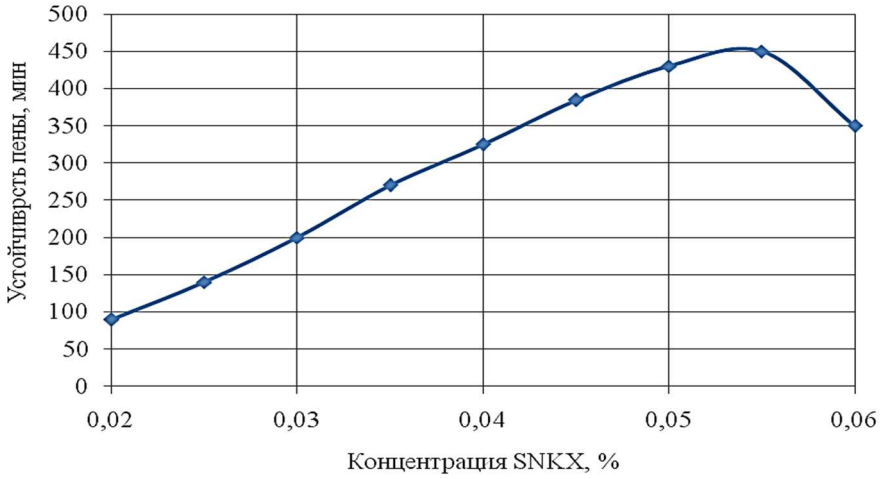


Рисунок 3 – Зависимость устойчивости пенной системы от концентрации реагента SNKX-04

Исследования также подтвердили, что добавление наночастиц алюминия концентрацией 0,001–0,1 % способствует повышению устойчивости созданной композиции за счет обеспечения стабильности агрегативного состояния системы (рис. 4).

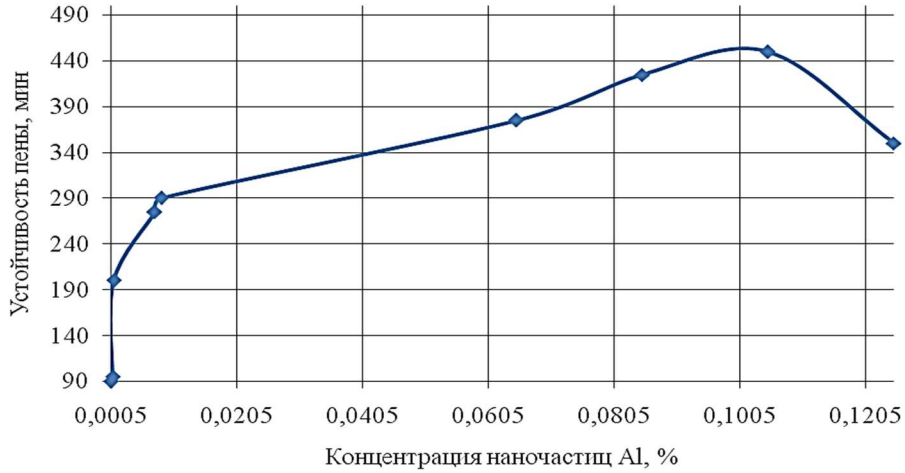


Рисунок 4 – Зависимость устойчивости пенной системы от концентрации наночастиц алюминия

Таким образом, для обеспечения полного выноса песка на поверхность из наклонных и вертикальных скважин разработана пенная композиция, состоящая из полиакриламида (ПАА) 0,25-0,5 %, а в качестве ПАВ реагента SNKX-04 0,03 – 0,05 %, наночастиц алюминия 0,001-0,1 % и морской или технической воды.

Разработанная композиция была исследована в лабораторных условиях и в настоящее время рекомендована к серийному использованию на скважинах с потенциальными рисками пескопроявлений.

Литература

1. Березовский Д.А., Яковлев А.Л., Савенок О.В., Нкунзи Донатилль. Технология проведения очистки скважин от песчаной пробки при проведении КРС на примере Конитлорского нефтяного месторождения // Наука, Техника, Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – № 4. – С. 104–119.

2. Гасумов Р.А., Гасумов Э.Р. Использование энергии пласта при очистке забоя газовых скважин // Технологии нефти и газа. – Российский государственный университет нефти и газа им. Губкина, 2011. – № 4. – С. 56–59.

3. Королев М.И., Рогачев М.К. Анализ опыта применения композиций на основе поверхностно-активных веществ для повышения нефтеотдачи терригенных коллекторов Урало-Поволжья // Международный научно-исследовательский журнал. – Март 2016. – Вып. № 3 (45). – С. 102–104. – URL : https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.45.076

References

1. Berezovskiy D.A., Yakovlev A.L., Savenok O.V., Donatille Nkunzi. Technology of carrying out cleaning of wells from the sandy stopper when carrying out KRC on the example of the Konitlorsky oil field // Nauka. Texnika. Texnologii (Politexnicheskiy Vestnik). – Krasnodar : Izdatelskiy Dom – Yug, 2016. – № 4. – P. 104–119.

2. Qasumov R.A., Qasumov E.R. Reservoir Energy Utilization at Bottomhole Cleaning of Gas Wells // Texnoligii nefti i qaza. – Rossiyskiy gosudarstvenniy yniversitet nefti i gas im. Gubkina, 2011. – № 4. – P. 56–59.

3. Korolev M.I., Rogachev M.K. Analysis of the surfactant application for enhanced oil recovery of terrigenous reservoirs of the Ural-Volga region // Mejdunarodniy nauchno-texnicheskiy jurnal. – March. 2016. – P. 102–104. – URL : https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.45.076

УДК 656.01

ВНЕДРЕНИЕ ИНДУСТРИИ 4.0 В ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

●●●●●●

INTRODUCTION OF INDUSTRY 4.0 IN RUSSIAN INDUSTRY

Агаев Сейид-Асан Сулейманович
магистрант кафедры
химическая технология
переработки нефти и газа,
Казанский национальный
исследовательский технологический университет
agaevasan93@gmail.com

Черкасова Елена Игоревна
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры химической технологии
переработки нефти и газа,
Казанский национальный
исследовательский технологический университет
magister.fnnh@gmail.com

Аннотация. В статье представлен обзор современных технологических решений, применяемых ведущими промышленными предприятиями России для внедрения Индустрии 4.0.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, цифровой керн, цифровое месторождение, цифровой двойник.

Agayev Seyid-Asan Suleymanovich
Master of the Department
chemical technology
of oil and gas processing,
Kazan national
research technological university
agaevasan93@gmail.com

Cherkasova Elena Igorevna
Ph.D., Associate Professor
department of chemical technology
of oil and gas processing,
Kazan national
research technological university
magister.fnnh@gmail.com

Annotation. The article provides an overview of modern technological solutions used by leading industrial enterprises in Russia to implement Industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0, digital core, digital field, digital double.

Цифровизация – относительно новое явление, имеющее огромный потенциал в российской нефтепереработке и во всем мире. Половина нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) оценивают свой уровень цифровизации как средний и высокий. Её внедрение дает ощутимые финансовые выгоды, большинство НПЗ будут увеличивать инвестиции в это направление.

Нестабильная ситуация на рынке нефтепродуктов вынуждает владельцев компаний искать источники повышения рентабельности. Одним из этих источников является как раз и цифровизация (автоматизация производства, внедрение киберфизических систем и т.д.). Все это позволяет повысить производительность, снизить себестоимость продукции. В основном это интеллектуальные системы мониторинга, позволяющие сократить время ремонта и простоя, уменьшая операционные затраты. С 2017 года на Московском НПЗ ПАО «Газпром нефть» работает центр мониторинга и диагностики систем автоматизации управления производства [1].

В настоящее время основой для цифровизации являются такие инструменты как:

– промышленный интернет вещей;
– технологии больших данных;
– система расширенного управления процессами;
– цифровой двойник

На Московском НПЗ создан «цифровой двойник» установки гидроочистки бензинов каталитического крекинга. На комплексе АО «ТАНЕКО» ПАО «ТАТНЕФТЬ», г.Нижнекамск, Республика Татарстан действует «близнец» установки первичного фракционирования нефти ЭЛОУ-АВТ-7 [2]. Работа над двойниками ведется и в ПАО «ЛУКОЙЛ» и ПАО «РОСНЕФТЬ» [3].

Постепенно будет осуществлен полный переход к цифровой трансформации НПЗ, которая является не просто технологическим перевооружением, а полной перестройкой бизнес-модели, так как значительная часть решений будет приниматься на основе анализа непрерывно поступающих данных искусственным интеллектом, исключив воздействие «человеческого фактора».

Цифровой двойник – математическая модель, создающаяся еще на этапе проектирования объекта, для тестирования работы объекта при различных условиях. По данным тестирования модели можно скорректировать проект при обнаружении недостатков или недочетов. После введения в эксплуатацию объекта для сохранения актуальности модели ее необходимо постоянно обновлять.

Тут не обойтись без промышленного интернета вещей – технологий машинного обучения позволяющих предсказать поведение системы при различных обстоятельствах, множества датчиков для сбора информации о работе оборудования. Это очень важно для создания цифрового двойника уже

существующей установки, очень сложно с помощью формул полностью описать работу установки. Но имея под рукой большой объем данных о установке за определенный промежуток времени с помощью нейросети можно вывести закономерности. Идея математической модели не нова, ее и раньше применяли, но не было достаточных вычислительных мощностей чтобы делать это в реальном времени и постоянно обновлять модели на основе огромного количества поступающих данных с реальных объектов.

Выбрать оптимальный режим работы, проводить виртуальные эксперименты, которые в реальности могут повредить оборудование, собрать данные о проведенном обслуживании, выяснить степень износа, возможность выхода из строя узлов и деталей, сократить расходы на ремонт и профилактику со всем этим помогут цифровые двойники.

Для НПЗ это довольно многообещающая технология, ведь объекты обычно труднодоступны и удалены, у них высокая капитализация, то есть стоимость. Создание цифровых месторождений и цифровых заводов серьезно сокращают эксплуатационные издержки, увеличивают объемы добычи и эффективность нефтепереработки за счет более рационального использования имеющихся ресурсов.

Одним из направлений цифровизации промышленности является «Цифровой керн». Проект по внедрению данной технологии реализуется в ПАО «Газпром нефть» [1]. Обычно исследование керна в лаборатории, это довольно длительный и дорогой процесс, образцы очень часто разрушаются и в дальнейшем с ними уже невозможно работать. Для решения этой проблемы в томографе высокого разрешения сканируют керн и дальше работают уже с трехмерной моделью. Проводя огромное количество тестов на одном и том же материале, сохраняют реальный образец для проверки результатов.

Еще одно направление в области цифровизации – «Цифровое месторождение». Внедрение этой программы началось в компании «Газпромнефть-Хантос» в 2014 году [1]. В 2017 году, объединив все разработанные в компании решения, был создан Центр управления добычей. Основной его системой является цифровой двойник процесса подъема жидкости из скважин, позволяющий подобрать оптимальный режим работы, идентифицировать нештатные ситуации, оценить работу системы в случае изменения конфигурации.

ПАО «Газпром нефть» реализует пилотный проект «Цифровой завод» [2]. Компания оцифровывает свои НПЗ, начав с создания цифрового двойника установки гидроочистки бензина каталитического крекинга на Московском НПЗ и установки первичной переработки нефти на Омском НПЗ. В их основе цифровые двойники установок НПЗ с максимально полной информацией о каждом ее элементе: средствах автоматизации, сроках службы, периодов активности, инженерных систем, характеристиках узлов и деталей.

При подготовке персонала к работе с чрезвычайными ситуациями и опасными производственными объектами в условиях максимально приближенных к реальным используются технологии виртуальной реальности. Материал запоминается лучше благодаря тактильному опыту и более увлекательной подаче. Этому поспособствовало появление очков и шлемов виртуальной реальности с множеством датчиков слаженная работа которых фиксирует движения головы, рук, глаз. Благодаря этому создается ощущение полного погружения, и выполнение различных действий в этой среде.

Очень много нововведений, призванных улучшить качество работы, используются ПАО «СИБУР Холдинг» [4]. Приложение для мобильного технического обслуживания и ремонта (ТОиР) позволяет фиксировать показания приборов, неисправности, регистрировать дефекты. Сотрудники видят свои задачи, результаты работы предыдущей смены. Оно установлено на специальном смартфоне с взрывозащищенным корпусом, на маршруте обхода размещены NFS-метки за которыми закреплен список оборудования. Передвигаясь по маршруту, обходчик прикладывает телефон к метке, видит описание оборудования, на что требуется обратить внимание и в случае выявления неисправности фиксирует её. Информация обо всех неисправностях отображается у начальника установки в режиме реального времени.

Для отслеживания качества продукции, приходящей от поставщиков так и производимой на самом предприятии важно проводить постоянные пробоотборы, анализируя их в лаборатории. Цифровизация этого процесса предполагает использование мобильного и веб-приложения «Мобильный пробоотбор», в раках которого происходит автоматизированное получение и передача информации о пробах, что сильно упростит отслеживание статуса процесса, саму процедуру и его исполнение [4].

Еще одно направление цифровизации – система поддержки принятия решений (ЭКОНС), применяемая на предприятиях ПАО «СИБУР Холдинг» [4]. Система работает на математических моделях, в режиме реального времени пересчитывающих основные технологические параметры в денежное выражение, то есть визуализирует зависимость экономики предприятия от режима работы, позволяет вести весь процесс с экономической эффективностью и безопасностью.

Система динамического ценообразования (программное обеспечение «Прогнозирование цены») использует большой объем данных и зависимости за которыми человек не может уследить – цены на бирже, спрос и предложение, цена на сырье, на продукт, макроэкономические показатели, аварии и остановы оборудования и т.д. Точность прогнозирования в 2 раза выше чем у человека, скорость выдачи прогноза от минуты до 2 недель в зависимости от объема данных [5].

Несмотря на все это масштабная революция в нефтепереработке не будет скорой. Это справедливо для всего мира, не только для России. Масштабная цифровизация требует повышенных мер кибербезопасности из-за того, что НПЗ работает с большим объемом горючих веществ. Россия на 95 % зависит от импортного софта. Огромные инвестиции требуются для масштабной цифровизации, но к ней готовы не все, так как модернизация заводов еще не завершена. Так же стремительное развитие этого направления может запросто сделать неактуальным завтра то, что сегодня кажется необходимостью. Но медлить нельзя, цифровизация идет во всем мире, но нигде так и не завершилась, соответственно скопировать чужой опыт не получится, нужно искать и находить свои пути. В этом ключе те усилия, которые сегодня предпринимают компании и государство, выглядят необходимыми и своевременными.

Литература

1. Интернет-ресурс ПАО «Газпром нефть». – URL : https://www.gazprom-neft.ru/
2. Герасимова И. Оцифрованная переработка // Нефтегаз. – 2018. – № 2. – С. 14–18.
3. URL : https://www.pwc.ru/ru/technology/assets/global_industry-2016_rus.pdf
4. СИБУР Digital. – URL : https://sibur.digital.ru/
5. Алексеев А. Индустрия 4.0 просто о сложном / А. Алексеев, С. Николаев // Приложение к журналу Сибирская нефть. – 2018. – № 6. – С. 19–24.

References

1. Electronic resource of PJSC Gazprom Neft. – URL : https://www.gazprom-neft.ru/
2. Gerasimova I. Digitized processing // Neftegaz. – 2018. – № 2. – P. 14–18.
3. URL : https://www.pwc.ru/ru/technology/assets/global_industry-2016_rus.pdf
4. SIBUR Digital. – URL : https://sibur.digital.ru/
5. Alekseyev A. industry 4.0 just about complicated / A. Alekseyev, S. Nikolaev // Appendix to the journal Siberian oil. – 2018. – № 6. – P. 19–24.

УДК 665.642.2

ИНФОРМАЦИОННО-ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

●●●●●●

INFORMATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Ализада Акиф Вали
доктор философии по технике, доцент,
доцент кафедры
управления и системной инжинерии,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности

Мурадли Вугар Ариф
магистрант кафедры управления
и системной инжинерии,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
vuqar.muradli.96@list.ru

Аннотация. Искусственный интеллект – научное поле было сформировано в 50-х годах прошлого века на стыке кибернетики, лингвистики, психологии и программирования.

Ключевые слова: проблема искусственного интеллекта, описание знаний, математическая теория.

Alizada Akif Vali
Doctor of Philosophy in Technology,
Associate Professor,
Associate Professor
of department Control
and System Engineering,
Azerbaijan state university
of oil and industry

Muradli Vuqar Arif
Master of Department Control
and System Engineering,
Azerbaijan state university
of oil and industry
vuqar.muradli.96@list.ru

Annotation. Artificial Intelligence – The scientific field was formed in the 50s of the last century at the crossroads of cybernetics, linguistics, psychology and programming.

Keywords: problem of artificial intelligence, description of knowledge, mathematical theory.

Artificial Intelligence (SI) is an artificially created system that simulates (imitates) the thinking of modern people, its psychology, and their real intelligence and implements them in modern computers.

Artificial Intelligence – The scientific field was formed in the 50s of the last century at the crossroads of cybernetics, linguistics, psychology and programming.

The main purpose of the creation of artificial intelligence was to provide machines to solve problems that were traditionally addressed by humans, and this is one of the most complex scientific and practical problems facing humanity.

With the help of artificial intelligence, it has been proven that, under certain conditions, the Companions have been able to prove the mathematical theory of human activity, compose poems, translations, search for complex information and so on. has the ability to perform.

Scientific research in this area is conducted in two directions:

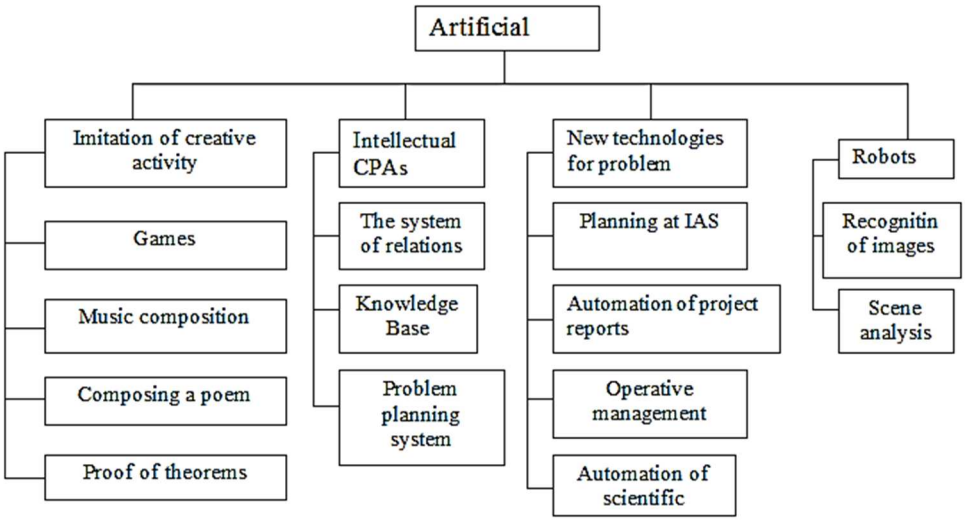
The first direction is to look at the product of the intellectual behavior of a person and learn about its structure. It studies various factors of the human intellectual activity and solves these problems and executes products with the help of modern technology, ie computers. If the solution of such issues is implemented at the highest level in the computer, then the corresponding intellectual activity is considered automated. The intention of this direction is mainly due to the development of computers and the improvement of programming. This direction is also called machine intelligent artificial intelligence [1].

The second direction is based on the data of the neuro-physiological and psychological mechanisms of intellectual activity, that is, the conscious activity of the person. Researchers and designers are trying to perform these actions with technical facilities so that they can perform human activities within a pre-assigned task.

The classification of works in the field of artificial intelligence is presented in the table.

The following basic directions for the study of artificial intelligence should be defined:

1. Presentation of knowledge (creation of «knowledge base», presentation of special knowledge in memory of intellectual systems, formation);
2. Knowledge manipulation (intellectual systems teach methods and methods of knowledge manipulation);
3. Communication (eg computer-aided interpretation of the text, human interaction with the computer);
4. Perception of information (training of computers to image recognition, analysis of visual information);
5. Teaching solutions to problems that intellectual systems have not encountered so far;
6. Normative, socially oriented (models' creation).



Drawing 1 – The types of Artificial Intelligence

The following complex methods are used in the study of artificial intelligence:
Methods of mathematical logic;
Frame languages;
Methods of applied and mathematical linguistics;
Methods of conventional psychology;
Investigation of recognition mechanisms.

One of the main problems for the creation of artificial intelligence is the description and use of knowledge. The following problems must be solved in order to create basic knowledge:

First, it is necessary to develop the application knowledge needed in the relevant field. Writing this requires a specialist – both application and mathematician – to work together. Formation or selection of the conceptual scheme of the model is required to formulate the problem.

Second, the description of knowledge is problematic. This, in turn, is to preserve memory in the computer with the help of a built-in machine.

The third is the problem of using knowledge. This also requires the development of computational theory and other converters so that they can be used in turn-based models.

Fourth is a technology problem that is usually addressed by system programmers. This is the software of the models, that is, the creation of a knowledge base and control system.

In general, the conceptual model of knowledge can be conventionally divided into conceptual and empirical models. The conceptual model for solving some probes is provided with the help of a heuristic method. Because the conceptual writing model cannot guarantee that it will be applied in all practical situations [2].

Литература / References

1. Mübariz Sevdimalı oğlu Xəlilov «İnformatika» Dərslik Səhifə 43–56.
2. Bakı Biznes və Kooperasiya Kolleci.

УДК 622.276.05

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ВЫНОСА МЕХПРИМЕСЕЙ

●●●●●●

FEATURES OF THE OPERATION OF ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP UNITS IN CONDITIONS OF INTENSIVE REMOVAL OF SOLIDS

Алиметов Шамиль Агаметович
Инженер-технолог,
ООО «ЛУКОЙЛ Западная Сибирь
ТПП Когалымнефтегаз»
shamil_alimetov@mail.ru

Уразаков Камил Рахматуллович
доктор технических наук,
профессор кафедры машины
и оборудование нефтегазовых промыслов,
Уфимский государственный
нефтяной технический университет
UrazakK@mail.ru

Аннотация. В работе исследованы вопросы влияния механических примесей на работу установок электроцентробежных насосов. Проведен анализ степени влияния фракционного состава мехпримесей на виды отказов элементов оборудования. Показаны основные пути защиты глубиннонасосного оборудования, эксплуатируемого в осложненных условиях.

Ключевые слова: электроцентробежный насос, механические примеси, фракционный состав, межремонтный период работы, фильтр.

Alimetov Shamil Agametovich
Process engineer,
LUKOIL Western Siberia
CCI Kogalymneftegaz LLC
shamil_alimetov@mail.ru

Urazakov Kamil Rakhmatullovich
Doctor of Technical Sciences,
Professor of Machinery
and equipment for oil and gas fields,
Ufa state oil technical university
UrazakK@mail.ru

Annotation. The paper studies the influence of mechanical impurities on the operation of electric centrifugal pump installations. The analysis of the degree of influence of the fractional composition of mechanical impurities on the types of failures of equipment elements is performed. The main ways of protecting the deep pump equipment operating in difficult conditions are shown.

Keywords: electric centrifugal pump, mechanical impurities, fractional composition, overhaul period, filter.

Механические примеси являются одним из наиболее неблагоприятных факторов, осложняющих добычу нефти в современных условиях. Применительно к глубиннонасосным установкам механические примеси служат главной причиной поломок и образования дефектов конструкции. Принято считать, что крупные механические частицы вызывают заклинивание насоса, а мелкие – вибрацию и повышенный абразивный износ. Согласно известным статистическим данным за последние годы на месторождениях западной Сибири процентная доля поломок электроцентробежных насосов (УЭЦН) от механических примесей намного превосходит влияние других факторов, главными из которых являются коррозия и солеотложения: механические примеси – составляют 35–50 %, коррозия – 20–25 % и солеотложения 15–20 % соответственно.

Если учитывать тот факт, что доля добычи нефти установками электроцентробежных насосов составляет порядка 70 %, то решение задачи защиты внутрискважинного насосного оборудования от мехпримесей весьма актуально. В первую очередь это скажется на повышении производительности скважин, уменьшении затрат на капитальный и текущий ремонт и в конечном итоге приведет к снижению себестоимости добычи нефти за счет увеличения наработки на отказ внутрискважинного оборудования.

Механические примеси представляют собой твердые вещества, которые содержатся в пластовой жидкости и входят в состав отложений на поверхности нефтепромыслового оборудования. Происхождение механических примесей в основном обусловлено четырьмя причинами:

1) выносом твердых частиц из пласта при освоении и эксплуатации скважин;

2) выносом с поверхности в результате проведения геолого-технических мероприятий (ГТМ) и технологических операций на скважинах (частицы, вносимые в составе растворов глушения, проппант после проведения гидроразрыва пласта (ГРП) и др.);

3) коррозией подземного оборудования;

4) взаимодействием химически несовместимых перекачиваемых жидкостей.

Механические примеси, попадающие в полость внутрискважинного оборудования, имеют следующие источники – это пласт, технологические жидкости, используемые в подземных операциях, продукты износа и коррозии обсадной колонны и глубиннонасосного оборудования. Основным же источником поступления песка являются слабосцементированные пласты-коллекторы. В процессе добычи нефти происходит разрушение скелета породы и поступление песка из пласта в скважину.

Основной измеряемой характеристикой механических примесей является количество взвешенных частиц (КВЧ) в мг/л. Среди основных факторов, определяющих величину концентрации примесей, традиционно выделяют следующие:

1) глубина залегания пласта и пластовое давление;
2) проницаемость пласта;
3) физико-химические свойства добываемой жидкости;
4) обводненность;
5) характеристики частиц песка;
6) дебит скважины;
7) плотность перфорации;
8) депрессия;
9) тип рабочей жидкости, используемой в процессе ремонтно-восстановительных работ.

Известно, что КВЧ является функцией, зависящей от вида проводимых технологических операций в скважине и рассматриваемого временного интервала. Резкое увеличение содержания механических примесей в основном обусловлено следующими видами работ:

1) запуск насосов и вывод скважин на режим после ремонта (капитального или текущего);
2) кратковременные остановки подачи, например, при отключении электроэнергии, и последующие запуски скважин;
3) нестабильный режим эксплуатации скважин из-за высокого значения динамического уровня, низкой обводненности: обе причины приводят к увеличению вредного влияния газа и, как следствие, вызывают нестабильный вынос механических примесей.

Следует отметить, чтомассовое использование в последние годы гидравлического разрыва пласта (ГРП) для интенсификации отборов нефти поставило нефтегазодобывающие предприятия перед новым типом осложнений в работе погружного насосного оборудования. Основной причиной осложнений является вынос из пласта проппанта, в том числе и раскрошенного, а также продуктов разрушения пласта – мелкой песчаной и супесчаной взвеси (механических частиц). Объем выносимого материала может колебаться от нескольких сотен килограмм до десятков тонн. Это приводит к катастрофическому износу рабочих органов насосной установкии отказу оборудования. Повышенное содержание механических примесей в пластовой жидкости разрушает рабочие колеса, опорные и промежуточные подшипники насосов, а также увеличивает нагрузки на вал, часто приводя к срезанию шлицевой части либо слому вала по телу и другим негативным последствиям. Все это существенно уменьшает наработку на отказ установок электроцентробежных насосов и межремонтный период работы скважины.

В такой ситуации исследование вопросов влияния проппанта и песка на работу погружного оборудованияприобретает особую важность. Исследование движения механических частиц в скважине и оказываемого при этом влияния на стабильность работы насосов показывает существенное влияние на температурный режим установки. Оценка и анализ существующих методов защиты оборудования выявили наиболее эффективные направления, позволяющие увеличить срок безотказной работы электроцентробежных насосов в условиях интенсивного выноса проппанта и механических примесей.

При использовании фильтров в составе УЭЦН мелкие фракции твердых частиц проходят сквозь фильтр и, попадая в насос, практически не оказывают влияния на динамику жидкости. Крупные фракции с радиусами частиц 200 и 400 мкм не могут пройти через решетку фильтра и накапливаются снаружи [1, 2].

Механические примеси, не прошедшие через фильтр, группируются вблизи его внешней поверхности в виде горизонтального слоя, который препятствует вертикальному течению жидкости, направляя ее на прием насоса через нижние отверстия фильтра, в результате происходит рост общего перепада давления на установке и ухудшается охлаждение погружного электродвигателя. Наличие механических примесей приводит к затруднению теплоотвода от поверхности погружного электродвигателя в жидкость. Для решения данной задачи необходимы достаточно высокие скорости движения омываемой жидкости. Естественным методом охлаждения ПЭД является увеличение скорости омывающей его жидкости, которое при условии сохранения постоянного дебита достигается путем уменьшения проходного канала. Одним из способов увеличения скорости жидкости может являться применение УЭЦН с кожухом для погружного электродвигателя [3-6].Несмотря на это обводнение продуктивных пластов, и повышенная минерализация попутнодобываемой воды в сочетании с присутствием механических примесей могут создавать условия интенсивного изнашивания металла элементов насосного оборудования. Попадая в зону трения, выносимые из пласта мехпримеси (прежде всего кварцевый песок) многократно ускоряют процессы износа.

Литература

1. Топольников А.С., Уразаков Т.К., Казаков Д.П. Численное моделирование обтекания погружной части установок электроцентробежных насосов с фильтром // Нефтегазовое дело. – 2009. – Т. 7. – № 2. – С. 89–95.

2. Смольников С.В. [и др.]. Методы защиты насосного оборудования для добычи нефти от механических примесей. – Уфа : Изд-во «Нефтегазовое дело», 2010. – 41 с.

3. Уразаков К.Р., Габдрахманов Н.Х., Кутдусова З.Р., Уразаков Т.К., Кутдусов А.Т., Алексеев Ю.В. Погружной электронасос : патент на изобретение RUS 2136970 06.05.1997.

4. Казаков Д.П., Уразаков К.Р., Топольников А.С., Кудрявцева А.А. Погружная электроцентробежная насосная установка : патент РФ № 2382237 C1 F04D13/10, F04D29/58, F04D29/70, 20.02.2010.

5. Гилаев Г.Г., Бахтизин Р.Н., Уразаков К.Р. Современные методы насосной добычи нефти. – Уфа, 2016. – 412 с.

6. Топольников А.С. [и др.]. Методика расчета параметров струйного насоса при совместной эксплуатации с ЭЦН // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2011. – № 3. – С. 134–146.

References

1. Topolnikov A.S., Urazakov T.K., Kazakov D.P. Numerical modeling of a submersible part of the installations of the electric centrifugal pumps with a filter // Oil and gas business. – 2009. – Vol. 7. – № 2. – P. 89–95.

2. Smolnikov S.V. [et al.]. Methods of protection of pump equipment for oil production from mechanical impurities. – Ufa : Petroleum and Gas Business Publishing House, 2010. – 41 p.

3. Urazakov K.R., Gabdrakhmanov N.H., Kutdusova Z.R., Urazakov T.K., Kutdusov A.T., Alekseev Yu.V. Submersible electric pump : patent for invention RUS 2136970 06.05.1997.

4. Kazakov D.P., Urazakov K.R., Topolnikov A.S., Kudryavtseva A.A. Submersible electric submersible pump : RF patent № 2382237 C1 F04D13/10, F04D29/58, F04D29/70, 20.02.2010.

5. Gilayev G.G., Bakhtin R.N., Urazakov K.R. Modern methods of pumping oil production. – Ufa, 2016. – 412 p.

6. Topolnikov A.S. [et al.]. Methods of calculation of the jet pump parameters at joint operation of the ESP installations // Electronic scientific journal Neftegazovoe Delo. – 2011. – № 3. – P. 134–146.

УДК 669.017:621.771.785

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ

●●●●●●

COMPARATIVE STUDY OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF PLATE STEELS OF DIFFERENT STRENGTH CLASSES

Алимов Валерий Иванович
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры
физическое материаловедение,
Донецкий национальный
технический университет

Егоров Николай Тимофеевич
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедры
физическое материаловедение,
Донецкий национальный
технический университет
fm@fizmet.donntu.org

Аннотация. Приведены результаты сравнительных исследований структуры и свойств толстолистовых сталей Ст3сп, 09Г2С, 17Г1С и 17Г2АФ промышленной выплавки после регламентируемой прокатки. Показано, что листы из исследованных сталей различных классов прочности характеризуются наличием феррито-перлитной полосча-тости, анизотропией показателей механических свойств и коррозионной стойкости. Наибольшее влияние структурная неоднородность оказывает на ударную вязкость стали, коэффициент анизотропии которой увеличивается с понижением температуры испытания.

Ключевые слова: перлит, феррит, коррозионная стойкость, анизотропия, класс прочности.

Alimov Valery Ivanovich
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of department
physical material science,
Donetsk national technical university

Egorov Nikolai Timofeyevich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Head of department
physical material science,
Donetsk national technical university
fm@fizmet.donntu.org

Annotation. The results of comparative studies of structure and properties of heavy plate steels St3sp, 09G2S, 17G1S and 17G2AF of industrial melting after regulated rolling are presented. It is shown that sheets from the examined steels of different strength classes are characterized by the presence of ferritic-perlite strips, anisotropy of mechanical properties and corrosion resistance. The greatest structural heterogeneity affects the impact toughness of the steel, whose anisotropy coefficient increases as the test temperature decreases..

Keywords: perlite, ferrite, corrosion resistance, anisotropy, strength class.

Роль регламентируемой прокатки в формировании структуры и механических свойств толстых листов является не достаточно изученной. В частности, не ясно, как обеспечить условия для формирования наиболее благоприятной аустенитной структуры перед проведением завершающего этапа регламентируемой прокатки [1]. Установлено, что нередко после проведения регламентируемой прокатки в отдельных участках листов формируется неоднородная структура, кроме того, по толщине листа часто наблюдается неоднородная кристаллографическая текстура и сильно выраженная феррито-перлитная полосчатость [2]. Неоднородность микроструктуры и кристаллографической текстуры в состоянии после регламентируемой прокатки приводит к снижению ударной вязкости, сопротивления металла хрупкому разрушению [3].

Целью данной работы является исследование особенностей структуры и свойств листовых сталей различных классов прочности после регламентируемой прокатки.

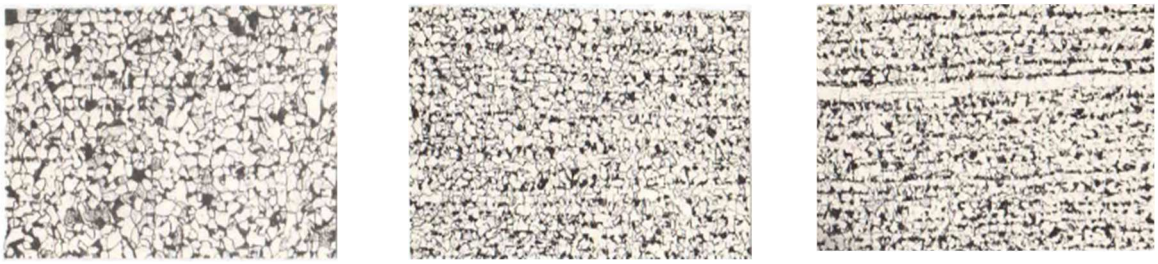
Для исследований использовали толстолистовые стали Ст3сп, 09Г2С, 17Г1С и 17Г2АФ промышленной выплавки. Механические свойства сталей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические свойства толстых листов исследованных сталей после регламентируемой прокатки

Марка стали	Класс прочности	Толщина листа, мм	$\sigma_в$, Н/мм²	$\sigma_т$, Н/мм²	δ, %	KCU при 20 °С, Дж/см²
Ст3сп	265	16	440	265	29	70
09Г2С	325	12	520	345	29	64
17Г1С	355	10	545	370	25	40
17Г2АФ	440	8	610	450	22	44

Примечание:
Значения ударной вязкости для классов прочности 355 и 440 приведены при температуре испытания – 40 °С.

Микроструктура толстолистовых сталей после регламентируемой прокатки представляет собой феррито-карбидную смесь (рис. 1). Размер зерна феррита и доли структурных составляющих определяли по ГОСТ 5639 и ГОСТ 8233. Они изменялись для классов прочности от 265 до 440 в пределах: зерно феррита № 7–9, соотношение перлита к ферриту, соответственно, от 15/85 до 25/75 %. Характерным для исследованных сталей является наличие структурной неоднородности с выраженной полосчатостью перлита. Ширина перлитных полос в направлении толщины листа составляет 5–8 мкм. Наблюдаются также вытянутые вдоль направления прокатки зерна феррита, в которых процессы рекристаллизации пройти не успели. Степень развития структурной полосчатости обычно усиливается с понижением температуры прокатки и уменьшением толщины листа.



а б в

Рисунок 1 – Микроструктура листовых сталей различных классов прочности, ×100. Класс прочности: а – 265; б – 325; в – 355

Структурная неоднородность по сечению листов является одной из причин анизотропии показателей механических свойств. Различие прочностных и пластических свойств листов в продольном и поперечном направлениях после регламентируемой прокатки у исследованных сталей невелико и не превышает 10–15 %. Более значительное влияние неоднородность структуры оказывает влияние на ударную вязкость сталей. Так, в частности, коэффициент анизотропии ударной вязкости листов толщиной 8 мм из стали 17Г2АФ в горячекатаном состоянии изменяется от 35 до 50 % с понижением температуры испытания от минус 20 °С до минус 80 °С. Нормализация при температуре 920 °С с удельным временем нагрева 1,2 мин/мм приводит к измельчению феррито-перлитной структуры и уменьшению полосчатости, что наряду с увеличением ударной вязкости обеспечивает снижение коэффициента анизотропии до 25–30 %.

В таблице 2 приведены данные по длительности десорбции водорода при температуре 600 °С для листов различной толщины. Видно, что время десорбции водорода с увеличением толщины листов возрастает с 0,21 до 0,54 ч. Термодифизионная обработка толстолистовых сталей, заключающаяся в замедленном охлаждении листов, после окончания регламнтируемой прокатки, исключает образование флакенов, обеспечивая безопасную концентрацию водорода (менее 3,0 см³/100г), который при этом сосредотачивается, в основном, в центральной (по толщине) зоне листов [4].

Таблица 2 – Расчетное время десорбции водорода до безопасной концентрации в середине листа

Марка стали	Толщина листа, мм	Время дисорбции водорода ч., при температуре 600 °С
Ст3сп	16	0,54
09Г2С	12	0,30
17Г1С	10	0,21

Исследования анизотропии коррозионной стойкости листовых сталей проводили в 2-х и 20 %-ом растворах серной кислоты на протяжении 7 недель и в течение одного часа соответственно. На рисунке 2 представлена кинетика выделения водорода в 20 %-ом растворе серной кислоты в течение часа.

Из кинетики выделения водорода видно, что толстолистовая сталь изученных классов прочности имеют пониженную стойкость (6 балл, ГОСТ 5572) к коррозионному воздействию в условиях ускоренных коррозионных испытаний [5]. Сопротивление электрохимической коррозии сталей в продольном сечениях отличается незначительно, но с течением времени количество водорода, выделяющееся в плоскости вдоль прокатки в некоторых сталях заметно больше по отношению к плоскости поперек прокатки.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Толстолистовые стали промышленной выплавки различных классов прочности, подвергаемые регламентируемой прокатке, обладают анизотропией структуры, свойств и коррозионной

стойкости, которая может оказывать значительное влияние на их служебные характеристики при работе изделий в специфических условиях эксплуатации.

2. Повышение класса прочности листов, близких по химическому составу, после регламентируемой прокатки может быть достигнуто с увеличением скорости охлаждения толстолистового проката за счет уменьшения его толщины, которое приводит к повышению дисперсности структуры и большей микротвердости феррита, а также увеличению доли перлитной составляющей до 25 %. Повышение прочности достигается и при увеличении степени легировании твердого раствора, в частности микролегированием стали ванадием. При распаде аустенита легированной стали образуются более дисперсные феррито-карбидные смеси.

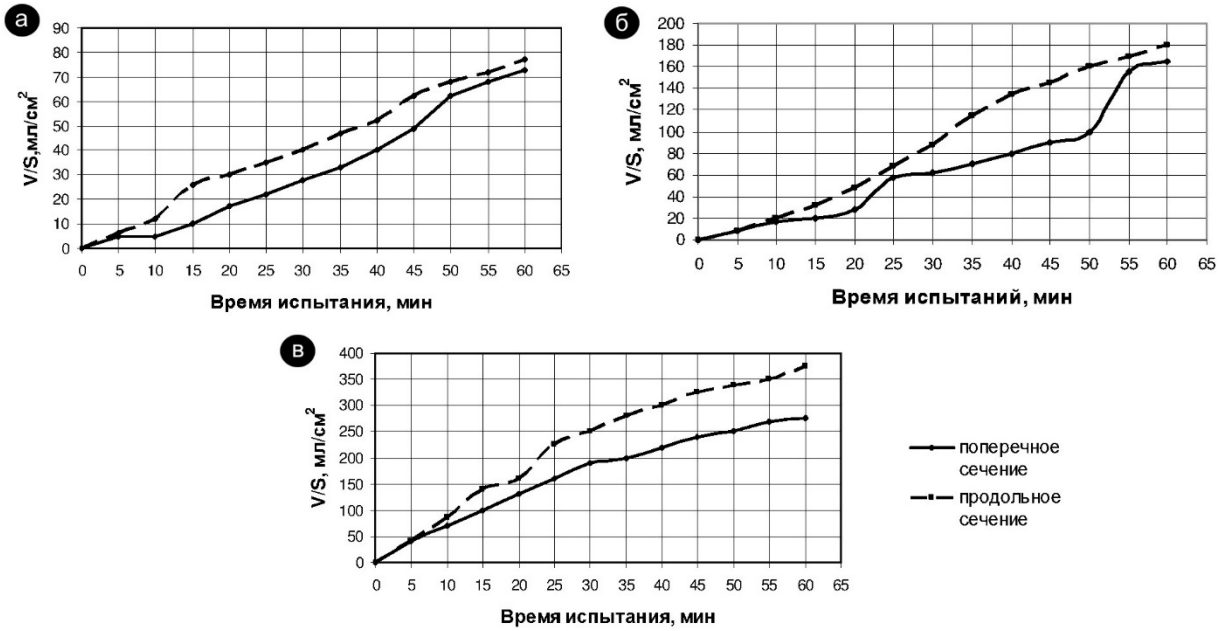


Рисунок 2 – Кинетика выделения водорода в 20 %-ом растворе серной кислоты сталей классов прочности 265(а), 325(б), 355(в).

Литература

1. Долженков Ф.Е. Повышение качества толстых листов / Ф.Е. Долженков, Ю.В. Коновалов, В.Г. Носов [и др.]. – М. : Металлургия. 1984. – 247 с.

2. Бровман М.Я. Усовершенствованная технология прокатки толстых листов. – М. : Металлургия, 1969. – 387 с.

3. Пемов И.Ф. Повышение механических свойств толстолистового проката в направлении толщины / И.Ф. Пемов, О.В. Носоченко // Металлург. – 2003. – № 11. – С. 49–52.

4. Патент 18656, МПК С 21 Д 8/00 С 21 Д 1/02. Способ производства толстых листов / В.И. Алимов, Н.Т. Егоров, В.Н. Крымов, Т.А. Калугина. – Опубл. 15.11.05. – Бюл. № 11.

5. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М. : Металлургия, 1986. – 472 с.

References

1. Dolzhenkov F.E. Improving the quality of the thick sheets (in Russian) / F.E. Dolzhenkov, Yu.V. Konovalov, V.G. Nosov [et al.]. – M. : Metallurgy. 1984. – 247 p.

2. Brovman M.Y. Advanced Technology of Rolling Thick Sheets. – M. : Metallurgy, 1969. – 387 p.

3. Pemov I.F. Increase of Mechanical Properties of Thick Plate Rolling / I.F. Pemov, O.V. Nosochenko // Metallurgy. – 2003. – № 11. – P. 49–52.

4. Patent 18656, МПК С 21 Д 8/00 С 21 Д 1/02. Method of thick sheets production / V.I. Alimov, N.T. Egorov, V.N. Krymov, T.A. Kalugina. – Published by 15.11.05. – Bul. № 11.

5. Zhuk N.P. Course on Theory of Corrosion and Metal Protection. – M. : Metallurgy, 1986. – 472 p.

УДК 621.1.016

РИСКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

●●●●●●

RISKS AND TECHNOLOGICAL SAFETY IN THE HEAT POWER INDUSTRY

Андрейко Наталья Геннадьевна
кандидат технических наук,
доцент кафедры
теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный
технологический университет
89882481491@mail.ru

Захарченко Евгения Ивановна
кандидат технических наук,
доцент кафедры
геофизических методов поисков и разведки,
Кубанский государственный университет
evgenia-zax@yandex.ru

Захарченко Юлия Ивановна
старший преподаватель кафедры
геофизических методов поисков и разведки,
Кубанский государственный университет
ofis-2010@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрены риски и технологическая безопасность в теплоэнергетике. Энергетическая отрасль является одним из стратегических направлений мировой безопасности. Безопасность и управление рисками обеспечивает само существование энергетики и ее жизнеспособность. В связи с постоянным стремлением человечества улучшить свою жизнь, темпы производства постоянно ускоряются. Это отражается на безопасности и в первую очередь на безопасности энергетики в целом, и теплоэнергетики в частности. В настоящее время энергетические компании активно развивают такое направление своей деятельности как управление рисками. Авторами проведен анализ рисков промышленной безопасности в теплоснабжении и предлагается комплекс конкретных рекомендаций для обеспечения безопасности теплоснабжения.

Ключевые слова: технологическая безопасность, промышленный риск, риски надежности снабжения энергией, вероятность риска, возможность риска, теплофикационная система.

Andreyko Natalya Gennadyevna
Ph.D. in technical sciences,
Assistant Professor
heat power and heat engineering,
Kuban state technological university
89882481491@mail.ru

Zakharchenko Yevgenia Ivanovna
Ph.D. in technical sciences,
Assistant Professor geophysical methods
of prospecting and exploration,
Kuban state university
evgenia-zax@yandex.ru

Zakharchenko Julia Ivanovna
Senior lecturer geophysical methods
of prospecting and exploration,
Kuban state university
ofis-2010@yandex.ru

Annotation. The paper considers the risks and technological safety in the heat power industry. The energy sector is one of the strategic directions of global security. Security and risk management ensure the very existence of energy and its viability. Due to the constant desire of mankind to improve their lives, the pace of production is constantly accelerating. This affects the safety and, first of all, the safety of energy in General, and heat power in particular. Currently, energy companies are actively developing such a line of business as risk management. The authors analyze the risks of industrial safety in heat supply and offer a set of specific recommendations for ensuring the safety of heat supply.

Keywords: technological safety, industrial risk, risks of reliability of energy supply, probability of risk, possibility of risk, heating system.

Энергетическая отрасль является одним из стратегических направлений мировой безопасности, обеспечивает непрерывную работу промышленности, транспорта, коммунальных систем и служб. Безопасность и управление рисками обеспечивает само существование энергетики и ее жизнеспособность. В связи с постоянным стремлением человечества улучшить свою жизнь, темпы производства постоянно ускоряются. Это отражается на безопасности и в первую очередь на безопасности энергетики в целом, и теплоэнергетики в частности. Поэтому очень многие энергетические компании, понимая, что проще предупредить, чем исправлять последствия, активно развивают такое направление своей деятельности как управление рисками. А для принятия верных управленческих решений крайне важно понимать природу и сущность рисков предприятий топливно-энергетического сектора.

Определим для начала понятие промышленного риска. Промышленный риск – это оценка негативной возможности возникновения ситуаций, связанных с гибелью людей и порчей имущества (аварий), в ходе деятельности на опасных производственных объектах. Категория промышленного риска напрямую связана с категориями «опасность» и «безопасность» [1].

«Опасность» – это исходная возможная причина возникновения аварии, которая может быть локализована как внутри опасного производственного объекта, так и вовне его. Опасность может пониматься «потенциально» (как ещё непроявленная скрытая угроза) или «кинетически» (как событие, которое уже наступило, и оно требует реакции со стороны опасного производственного объекта и его управляющей системы). Тогда под «безопасностью» можно понимать степень соответствия опасного производственного объекта и его управляющей надсистемы всем видам опасностей, которые воздействуют или могут воздействовать на опасный производственный объект, потенциально переводя его в аварийное состояние. Обобщая эти понятия, можно сказать, что безопасность энергетического предприятия неразрывно связана с риском отказа системы [2].

В настоящее время в нормативных документах приводится множество определений понятий риска, они одинаковы, по сути, но не разграничивают существенные моменты: вероятность и возможность.

Вероятность в классическом понимании – это частотная характеристика потока событий или выборки из генеральной совокупности некоторого множества. Причём поток событий или генеральная совокупность должны обладать свойствами массовости и статистической однородности [2].

Например, риски надежности снабжения энергией – группа рисков, заключающаяся в наступлении событий внешней и внутренней природы, приводящих к непосредственному ограничению (отключению) от снабжения топливом и энергии и приводящих к дополнительным энергозатратам.

Но любая теплофикационная система представляет собой сложную структуру. Расчёт надёжности таких многофункциональных систем является достаточно трудоёмкой задачей. И для расчёта показателей надёжности таких систем используют метод декомпозиции, в соответствии с которым математическая модель расчёта показателей надёжности системы делится на ряд подмоделей. Это деление осуществляется по технологическому и функциональному признакам. В соответствии с этим, в теплофикационной системе выделены основной теплоисточник, система транспорта теплоты к потребителям, децентрализованный пиковый источник теплоты и система распределительных сетей для покрытия отопительных нагрузок. Такой подход позволяет проводить расчёт показателей надёжности независимо для отдельных подсистем [3], но это будет скорее вероятностная надежность.

При анализе промышленной безопасности первичным является понятие не вероятностей, а возможностей. Так как возможности, сочетают и частотный принцип (если применимо), и экспертные оценки. Возможность интерпретирует результат анализа не на основе частоты возникновения ситуаций, а на основе качественного различения состояний, предшествующих тому или иному событию.

Поэтому главным риском в энергетике остается риск отключения электроэнергии или тепла. Реализация данного риска происходит в первую очередь по причине сбоя оборудования. Что в свою очередь обусловлено прогрессирующим износом производственных фондов, изменением инвестиционной политики и механизмов реконструкции и обновления производственных баз, нарастанием объема изношенного оборудования. Это негативно отражается на потребителях тепловой энергии. Тарифы на тепло продолжают неуклонно расти. Причина роста тарифов кроется в тепловых потерях, возникающих, главным образом, вследствие устаревшего и изношенного оборудования. Схематично цепочка выглядит следующим образом: «устаревшее оборудование – высокие потери – возмещение потерь тепловыми предприятиями – рост тарифов».

Этого можно избежать, повысив надёжность систем теплоснабжения либо за счёт повышения качества элементов, из которых они состоят, либо за счёт резервирования. Главной отличительной особенностью нерезервированной системы является то, что отказ любого её элемента приводит к отказу всей системы, то есть безопасность нерезервированной системы крайне мала.

Для обеспечения безопасности теплоснабжения, т.е. снижения промышленных рисков, в первую очередь необходима категоризация потребителей по надежности теплоснабжения. Так как есть виды потребителей, специфика деятельности которых требует стабильного, постоянного теплоснабжения, независимо от того, в каких климатических условиях находится данный потребитель (юг или север). Это относится к объектам, оборудованным современным специальным оборудованием и техникой, для работы которых может быть критичен самый незначительный перепад температур – сложные высокотехнологичные производства (микроэлектроника, специальные лабораторные исследования и другие), медицинские учреждения (клиники, оснащенные специальной аппаратурой).

Второй, и основной шаг, это введение система оценки качества работы теплоэнергетической системы. Это фактор, от которого серьезным образом зависит как безопасность теплоснабжения, так и уровень качества работы теплоэнергетической сферы. Контроль и сертификация качества позволят обеспечить не только высокое качество услуг, но и безопасность потребителей, препятствуя входу в отрасль недобросовестных компаний-однодневок [4]. Так как проблема безопасности в теплоэнергетике, по мнению многих экспертов, основывается на финансовых средствах (точнее, их дефиците, ведь у тепловых кампаний зачастую нет средств для самостоятельного предотвращения аварий и проведения комплексной реконструкции), то сертификация по международным стандартам позволит привлекать не только российских, но и зарубежных инвесторов.

Литература

1. Ланкина С.А. Классификация и проблемы оценки рисков промышленного предприятия / С.А. Ланкина, В.И. Флегонтов // Интернет-журнал «Науковедение». – М. : Издательство «Мир науки». – 2015. – Т. 7. – № 3. – С. 1–16. – URL: http://naukovedenie.ru/PDF/90EVN315.pdf

2. Недосекин А.О. Определение промышленного риска // Интернет-журнал «NovaInfo». – Грязовец, 2016. – № 53-1. – URL : https://novainfo.ru/article/8161

3. LOTUS – российский эксперт в области теплотехники: официальный сайт. – Екатеринбург. – URL : http://lotus1.ru/uspex-sledstvie-pravil-nogo-vybora/eksperty-o-teplotexnike

References

1. Lankina S.A. Classification and problems of industrial enterprise risk estimation / S.A. Lanka-na, V.I. Flegonov // Internet journal «Naukovedenie». – M. : Publishing house «World of Science». – 2015. – Vol. 7. – № 3. – P. 1–16. – URL : http://naukovedenie.ru/PDF/90EVN315.pdf

2. Nedosekin A.O. Definition of industrial risk // Internet journal «NovaInfo». – Gryazovets, 2016. – № 53-1. – URL : https://novainfo.ru/article/8161.

3. LOTUS – Russian expert in the field of thermal engineering: official website. – Ekaterinburg. – URL : http://lotus1.ru/uspex-sledstvie-pravil-nogo-vybora/eksperty-o-teplotexnike

УДК 622.24.05

ОДНОВИНТОВЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

●●●●●●

SINGLE-SCREW HYDRAULIC MACHINES IN THE OIL AND GAS INDUSTRY: FIELDS OF APPLICATION AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Балденко Д.Ф.
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
ОАО «НПО Буровая техника»
dbaldenko@mail.ru

Балденко Ф.Д.
кандидат технических наук, доцент,
РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина
fbaldenko@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности конструкции, преимущества, характеристики и области применения одновинтовых гидравлических машин в различных отраслях промышленности и нефтегазовом комплексе. Представлен исторический обзор развития одновинтовых насосов и гидродвигателей в нашей стране и за рубежом, обозначены перспективные направления совершенствования этого вида оборудования для современных технологий бурения и нефтедобычи.

Ключевые слова: Муано, циклоидальное зацепление, одновинтовой насос, винтовой забойный двигатель, ротор, статор.

Baldenko D.F.
Ph.D. in Technical Sciences,
Chief scientist,
OJSC «NPO Drilling Techniques»
dbaldenko@mail.ru

Baldenko F.D.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Russian state university of oil and gas
named after I.M. Gubkin
fbaldenko@mail.ru

Annotation. Design features, advantages, characteristics and application areas of single screw hydraulic machines in various industries and oil and gas complex are considered. The historical review of development of single screw pumps and hydraulic motors in our country and abroad is presented, perspective directions for improvement of this type of equipment for modern drilling and oil production technologies are marked.

Keywords: Moineau, cycloidal gearing, progressive cavity pump, downhole displacement motor, rotor, stator.

Среди разнообразного оборудования, используемого как в общем машиностроении, так и в нефтегазовом комплексе видное место (по проектно-конструкторским решениям, научно-исследовательским подходам, номенклатуре производства, общим энергетическим затратам) занимают гидравлические машины, без которых было бы невозможно появление и развитие многих современных технологических процессов.

Одним из перспективных видов гидравлических машин, находящих все большее распространение во многих отраслях промышленности, являются одновинтовые машины, относящиеся к классу роторных объемных машин.

В наши дни, когда во всех промышленно развитых странах широко применяются одновинтовые насосы и гидромоторы, немногие задумываются об истории появления и развития этих машин.

Прототипы винтовых насосов имеют давнюю историю, берущую свое начало еще с древней цивилизации Месопотамии. Примерно за 250 лет до нашей эры великий греческий ученый Архимед изобрел водоподъемную машину, вошедшую в историю техники как Архимедов винт. Ее действие основывается на использовании силы тяжести и свойств винтовой поверхности. Винт, находящийся в лотке, устанавливается наклонно и одним концом погружается в воду. Угол наклона винта выбирается меньше угла подъема винтовой линии. При этом условии забранная порция воды при вращении винта поступательно перемещается снизу вверх на 3–4 м.

Только спустя два тысячелетия принцип Архимедова винта был преобразован в объемный (гидростатический) насос. Это удалось выполнить французскому инженеру Rene Moineau (1887–1948 гг.), который предложил принципиально новую схему роторной объемной гидравлической машины, заложив в нее основополагающий принцип «капсулизма» [1].

Этот принцип, ставший новшеством в теории и практике винтовых машин, заключается в применении в качестве рабочих органов (РО) только двух винтовых деталей с циклоидальным зацеплением – ротора и статора, выполняющего функции замыкателя (который в других устройствах выполнен как обязательная дополнительная деталь) и радиальной опоры. Это существенно упростило конструкцию РО и позволило создавать разнообразные схемы гидромашин и компрессоров с различным

кинематическим отношением (числом заходов) и компоновкой (с неподвижным статором, с неподвижным ротором, с подвижностью обеих деталей и др.). Кроме того, такое исполнении РО позволяет выполнять одну из сопряженных деталей (статор) с эластичным покрытием, что значительно расширяет область применения таких машин при использовании практически любых жидкостей и смесей.

Сочетание нового принципа действия (капсулизма) и конструктивного новшества (выполнение внутренней винтовой поверхности статора из эластомера) обеспечило универсальность применения гидромашины в различных рабочих средах и условиях эксплуатации. Кроме того, такая конструктивная особенность упрощает технологию изготовления статора, компенсирует погрешности в зацеплении РО и позволяет регулировать уплотнительную способность РО за счет создания натяга в паре.

Таким образом, принцип капсулизма, предложенный Муано и реализованный им в винтовом героторном механизме с внутренним циклоидальным зацеплением, заключается в создании герметичных винтообразных объемов (капсул), образованных между поверхностями ротора и статора, теоретически герметично отделенных от всасывающей и нагнетательной камеры.

В современной трактовке реализация принципа капсулизма Муано достигается при выполнении пяти условий, которые превращают простейший шнековый насос, например Архимедов винт, в объемную гидромашину:

1) числа заходов статора и ротора должны отличаться на единицу: $z_1 = z_2 + 1$;

2) винтовые поверхности статора и ротора должны иметь одинаковое направление (правое или левое);

3) отношение шагов винтовых поверхностей ротора t и статора T должно быть пропорционально отношению их чисел зубьев: $t/T = z_2/z_1$;

4) длина РО L должна быть не менее одного шага статора: $L \geq T$;

профили ротора и статора должны быть взаимно огибаемыми и находиться в непрерывном контакте во время зацепления.

Первый патент Р. Муано (рис. 1) имел приоритет 13 мая 1930 г. и защищал устройство, которое может быть использовано как насос, мотор, компрессор или механическая передача [2]. Этот патент знаменует собой рождение нового принципа объемных гидравлических машин.

На рисунке 1 представлены РО насоса с однозаходным ротором ($z_2 = 1$) в продольном и поперечном разрезах. Между винтовыми поверхностями РО образуются три типа камер: всасывающие камеры, шлюзы (капсулы) и нагнетательные камеры. При вращении ротора по часовой стрелке жидкость движется слева направо, при вращении ротора в обратную сторону – справа налево.

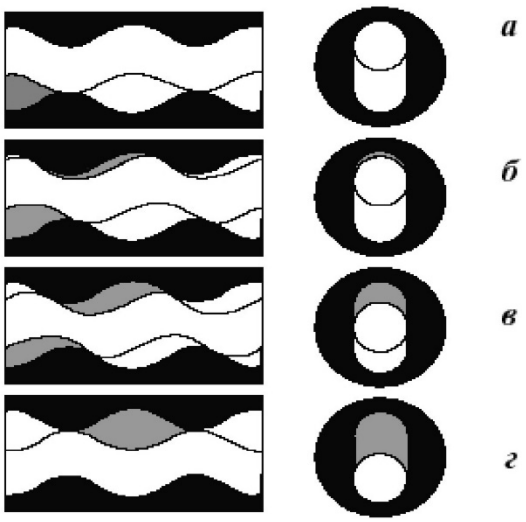


Рисунок 1 – Рабочие органы одновинтового насоса Муано
(в различных фазах положения ротора в статоре при повороте на угол 180º)

Рабочий процесс объемного насоса состоит в том, что при повороте ротора открытые на одном конце РО камеры расширяются, замыкаются (становясь изолированными) и переносятся на другой конец, уменьшаясь в объеме и исчезая.

В фиксированный момент времени (при условно остановленном роторе) положение камер и их площадь изменяются вдоль длины РО (см. рис. 1).

Благодаря указанным конструктивным и кинематическим особенностям *одновинтовые насосы* (ОВН), называемые в технической литературе как progressive cavity pump (PCP), объединяют в себе положительные качества динамических и объемных гидромашин, обладая важными эксплуатационными преимуществами, выделяющими их среди других типов насосов.

По сравнению с динамическими насосами:

- независимость создаваемого напора от частоты вращения приводного вала, что расширяет диапазон использования ОВН по скорости привода;
- сравнительно невысокая скорость жидкости в проточной части насоса (в 2–3 раза меньше, чем в центробежном насосе тех же габаритов), что увеличивает долговечность проточной части ОВН, поскольку интенсивность гидроабразивного износа пропорциональна кубу скорости;
- высокая всасывающая способность.

По сравнению с возвратно-поступательными насосами:

- отсутствие клапанов или других распределительных устройств, поскольку распределение жидкости обеспечивается автоматически за счет основополагающих соотношений между геометрическими параметрами винтовых поверхностей РО;
- отсутствие мертвого пространства рабочих камер;
- практически равномерная (без пульсации) подача, пропорциональная частоте вращения;
- возможность изменения направления движения жидкости путем простого реверсирования приводного вала;
- непрерывное изменение положения контактных линий РО;
- снижение металлоемкости конструкции и габаритов насоса;
- высокая быстроходность ОВН с однозаходным ротором, что позволяет (как и для центробежных насосов) соединять их напрямую (без редуцирующих устройств) с электродвигателями, имеющими частоту вращения 1000–3000 об/мин.

Основным преимуществом ОВН, определившим их широкое распространение в различных областях техники, является способность перекачивать практически любые виды жидкости, в том числе высоковязкие, содержащие газовые и твердые включения, а также многофазные смеси.

По сравнению с наиболее близкими по конструктивному исполнению и принципу действия двух- и трехвинтовыми насосами ОВН отличаются: минимальными диаметральными габаритами РО (вследствие внутреннего зацепления и отсутствия замыкателей); простотой конструкции корпусных деталей; отсутствием синхронизирующей зубчатой передачи; наличием в составе РО эластичного элемента (что расширяет возможности регулирования напорных характеристик за счет изменения диаметрального натяга в паре и снижает требования к точности изготовления РО).

Область применения любого типа насосов характеризуется полями подачи и давления, свойствами перекачиваемой жидкости (плотность, вязкость, температура, химическая агрессивность, содержание газа и твердых частиц), конструктивно-эксплуатационными особенностями (насосы стационарные, передвижные, наземные, скважинные и т.д.).

Поля подачи и давления одновинтовых насосов общего и специального назначения распространяется по подачам от 0,001 до 140 л/с, по давлению до 30 МПа.

Область применения насосов общего назначения регламентируется по обобщенному параметру – удельной быстроходности:

$$n_s = 3{,}65\frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}},$$

где n – частота вращения (об/мин); Q – подача (м³/с); H – напор (м).

Одновинтовые насосы находятся в области n_s = 2–20, это означает, что ОВН имеют наибольшую удельную быстроходность среди насосов объемного типа (у трехпоршневых насосов n_s = 0,05–2,0) и наряду с вихревыми насосами (n_s = 13–40) занимают по быстроходности пограничную область между объемными и динамическими (n_s = 40–170) насосами.

Для динамических и роторных насосов существует одна и та же закономерность изменения конструкции при увеличении ns: радиальное направление потока (у центробежных, пластинчатых и шестеренных насосов) переходит в осевое (осевые, винтовые насосы).

В сопоставимом поле Q–H одновинтовые насосы обладают более высоким КПД, чем вихревые или многоступенчатые центробежные насосы. По сравнению с поршневыми насосами ОВН имеют меньшие габариты и массу.

Одним из главных преимуществ ОВН является способность перекачивать практически любые жидкости в широком диапазоне изменения их плотности и вязкости (до 12000 сП). Только поршневые насосы, значительно более сложные по конструкции, дорогие в изготовлении и металлоемкие, выдерживают сравнение с ОВН по универсальности применения.

Наличие эластичной обоймы позволяет широко применять ОВН для перекачивания загрязненных жидкостей, в то время как центробежные и поршневые насосы для перекачивания жидкостей со взвесями имеют специальные конструктивные модификации.

В промышленных каталогах ведущих машиностроительных компаний, (Netzsch, PCM, Seepex, Ливгидромаш и др.) указывается до 300 видов жидкостей, эмульсий, паст и других сред, которые эффективно перекачиваются ОВН.

Основные области применения ОВН:

- подъем нефти и пластовых жидкостей из скважин с использованием бесштанговых и штанговых насосных установок;
- внутрипромысловая перекачка жидкостей и нефтегазовых смесей;
- технологические процессы в различных отраслях промышленности;
- водоподъем, мелиорация и орошение в сельском хозяйстве;
- водоснабжение в коммунальном хозяйстве;
- перекачка различных продуктов в пищевой и винодельческой промышленности;
- опорожнение резервуаров, цистерн и других емкостей;
- откачка воды из шахт и горных выработок;
- транспортировка строительных растворов и красок;
- инновационные энергетические и экологические технологии.

В Европе первые насосы для добычи нефти были внедрены в 1980-х годах Французским Нефтяным Институтом (IFP) и нефтяной компанией Total. Простота в управлении и комплектации, низкие затраты и широкий диапазон применения являются основой успеха применения насосов Муано на месторождениях сверхвязкой нефти Канады, Венесуэлы и других стран.

Среди новых технологических достижений стоит обратить внимание на запатентованный цельнометаллический насос Vulcain для добычи вязкой нефти методом теплового воздействия на пласт (CSS, SAGD). Созданная уникальная технология позволяет изготавливать статоры из металла, при этом сохраняя все нужные геометрические и гидравлические характеристики для достижения высоких показателей по эффективности эксплуатации и качеству насоса. Насосы типа Vulcain успешно применяются в ряде стран Америки и Европы, в частности при эксплуатации месторождений высоковязкой нефти и природных.

В России большой объем опытно-конструкторских работ был выполнен в 1960–70-х годах в Особом конструкторском бюро по бесштанговым насосам (ОКБ БН), где впервые в мировой практике были разработаны и внедрены погружные винтовые электронасосы для добычи нефти и водоподъема [3]. В 1980–90-е годы во ВНИИБТ и РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина были разработаны ОВН с многозаходными рабочими органами, что позволило повысить эффективность применения ОВН в различных технологиях перекачки жидкостей и газожидкостных смесей [4].

На протяжении последних 30–40 лет многие специалисты в разных странах проводили теоретические и экспериментальные исследования, которые заложили основы теории рабочего процесса одновинтовых насосов, методов их конструирования и эксплуатации [4–8].

Особенно интенсивное развитие ОВН получили в нефтяной промышленности, что связано с ростом объема добычи нефти и осложнением условий эксплуатации месторождений (увеличение доли механизированного способа добычи, снижение среднего дебита скважин, увеличение вязкости пластовой жидкости, а также содержания в ней свободного газа и механических примесей).

Новая страница в развитии одновинтовых гидравлических машин открылась в связи с распространением технологий бурения с использованием *гидравлических забойных двигателей*. Работы по созданию объемных гидравлических двигателей на базе рабочих органов, спроектированных по принципу Муано (на Западе они обозначаются как PDM – Positive Displacement Motors), начались практически одновременно в США (Smith Tool) и СССР (ВНИИБТ) в 60-е годы прошлого века [9].

Первоначально обозначился различный подход к назначению этих машин: в СССР разрабатывали двигатель как замену низкооборотному роторному способу привода породоразрушающего инструмента, в то время как в США как альтернативу турбинному способу бурения. Отсюда наметилось принципиальное различие в конструкции рабочих органов двигателя. В СССР была взята на вооружение схема с многозаходными РО (рис. 2), а в США использовали типовую схему с однозаходным ротором. Фактически такие рабочие органы не отличались от традиционных РО винтовых насосов.

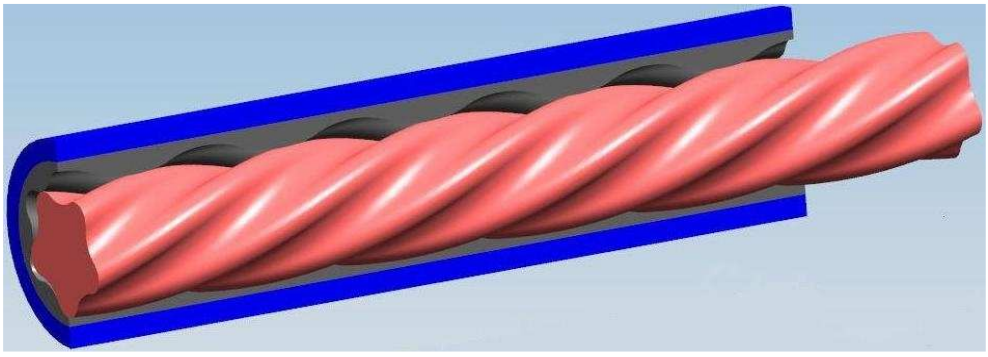


Рисунок 2 – Многозаходные рабочие органы ВЗД

Оказалось, что помимо создания мощности на выходном валу, многозаходный героторный механизм с циклоидальным зацеплением также выполняет функции понижающего редуктора, передаточное число которого равно числу заходов ротора (рис. 3), что позволило сконструировать гамму двигателей с различным моментом и частотой вращения.

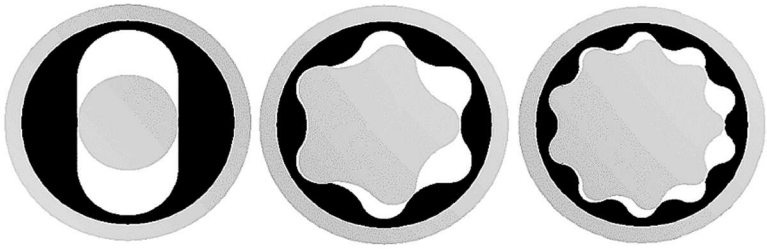


Рисунок 3 – Поперечные сечения ВЗД с различным кинематическим отношением (1:2; 5:6; 9:10)

Проведенные фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования рабочего процесса ВЗД [9–11] и создание комплекса технологического оборудования для изготовления многозаходных рабочих органов обеспечили получение оптимальных энергетических и эксплуатационных характеристик этих гидромашин для различных условий их работы в бурении и капитальном ремонте нефтяных и газовых скважин.

Ввиду давности изобретения оптимальной геометрии многозаходных рабочих органов, как и самого принципа Муано, винтовые гидромашины являются достоянием всего человечества и в настоящее время взяты на вооружение многими нефтяными машиностроительными компаниями мира.

В настоящее время ВЗД превратился в одно из основных технических средств для привода породоразрушающего инструмента и является базовой конструкцией для инновационных технологий буровых работ, таких как наклонно направленное и горизонтальное бурение скважин, проводка боковых стволов, моторизированные системы управляемого роторного отклонителя, бурение на обсадной колонне и др.

Какие факторы способствовали столь широкому внедрению ВЗД:

во-первых, ввиду особых трибологических характеристик рабочих органов (сочетание скольжения и качения) и наличия эластичной обкладки статора появляется возможность применения в качестве рабочей жидкости практически всех применяемых в бурении растворов;

во-вторых, уникальные энергетические и эксплуатационные характеристики ВЗД (высокий крутящий момент при пониженной частоте вращения, линейная связь крутящего момента и перепада давления, минимальный осевой габарит, возможность регулирования технических показателей за счет изменения натяга в паре и свойств эластомера, упрощенная схема сборки и регулировки по сравнению с забойными двигателями другого типа).

Подводя итоги развития техники и технологии бурения, авторитетный международный журнал «Oil & Gas» отнес многозаходные ВЗД, к одним из выдающихся достижений буровой техники второй половины XX века.

О значении ВЗД для современной нефтегазовой промышленности можно судить хотя бы по тому, что, например, в России ВЗД обеспечивают более 75 % объема буровых работ при строительстве скважин и практически 100 % работ в капитальном ремонте нефтяных и газовых скважин.

Кроме того, циклоидальное зацепление, заложенное в винтовом героторном механизме, учитывая широкий диапазон регулирования передаточного отношения и чисел зубьев (начиная от 1–3, что недостижимо для других типов зубчатых передач), может рассматриваться как весьма перспективное направление развития *зубчатых механизмов* (с внутренним и внешним зацеплением, а также планетарного типа, рис. 4) для различных отраслей машиностроения [12].

Таким образом, основные принципы, заложенные при создании одновинтовых гидравлических машин, воплотились во всех отраслях промышленности и в том числе в наиболее важных сферах нефтегазового комплекса, связанных с механизированной добычей нефти и бурением нефтяных и газовых скважин.

Можно предположить, что и в дальнейшем по мере развития нефтегазовой промышленности и усложнения условий разработки месторождений одновинтовые гидромашины будут продолжать совершенствоваться и оставаться незаменимым техническим средством, обеспечивающим прогресс нефтегазового и энергетического комплекса.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы показывают, что помимо традиционных областей применения одновинтовых гидромашин существуют следующие перспективные направления по созданию машин на базе циклоидальных винтовых рабочих органов для буровой и нефтепромысловой техники:

в бурении: двигатели-вращатели низа бурильной колонны, забойные осцилляторы, мобильные буровые насосы, планетарные редукторы силовых приводов буровых установок и забойных двигателей;

в нефтедобыче: гидроприводные скважинные винтовые насосные агрегаты, наземные мультифазные насосы.

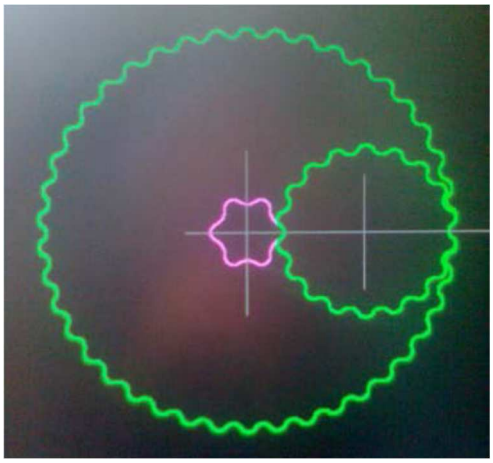


Рисунок 4 – Планетарный редуктор с циклоидальным профилем зубьев (схема 6-18-42)

Пути дальнейшего совершенствования одновинтовых машин связаны с усовершенствованием геометрии циклоидального зацепления, конструктивной оптимизацией нагруженных элементов и узлов на основе компьютерных технологий и трехмерного моделирования, подбором материалов и упрочнением рабочих поверхностей, повышением качества изготовления с использованием инновационных зубообрабатывающих центров.

Литература

1. Moineau J-L. Rene Moineau. Aviator and inventor Editions de, l officine Paris, 2009.
2. Moineau R.L.J. Pompe. France Patent № 695539, 13.05.1930.
3. Крылов А.В. Одновинтовые насосы. – М., Гостоптехиздат, 1962.
4. Балденко Д.Ф., Бидман М.Г., Калишевский В.Л. [и др.]. Винтовые насосы. – М. : Машиностроение, 1982.
5. Noscievic J. Vretenova Cerpadla. – Praha : SNTL, 1961.
6. Revard J.M. The progressing cavity pumps handbook. Penn Well Publishing Company, USA, Tulsa, 1995.
7. Cholet H. Progressing cavity pumps. Editions Technip, Paris, 1997.
8. Nelik L., Brennan J. Progressing Cavity Pumps and Mudmotors. Gulf Publishing Company, Houston, 2005.
9. Гусман М.Т., Балденко Д.Ф., Кочнев А.М., Никомаров С.С. Забойные винтовые двигатели для бурения скважин. – М. : Недра, 1981.
10. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Одновинтовые гидравлические машины (в двух томах). – М. : ИРЦ Газпром, 2005–2007.
11. Samuel R., Baldenko D.F., Baldenko F.D. Positive Displacement Motors. Theory and Applications. Sigma Quadrant Publisher, 2015.
12. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д. О выборе профиля зубьев механических передач и гидравлических двигателей // Бурение и нефть. – 2019. – № 3.

References

1. Moineau J-L. Rene Moineau. Aviator and inventor Editions de, l officine Paris, 2009.
2. Moineau R.L.J. R.L.J. Pompe. France Patent № 695539, 13.05.1930.
3. Krylov A.V. Single screw pumps. – M., Gostoptekhizdat, 1962.
4. Baldenko D.F., Bidman M.G., Kalishevsky V.L. [et al.]. Screw Pumps. – M. : Mashinostroyenie, 1982.
5. Noscievic J. Noscievic J. Vretenova Cerpadla. – Praha : SNTL, 1961.
6. Revard J.M. The progressing cavity pumps handbook. Penn Well Publishing Company, USA, Tulsa, 1995.
7. Cholet H. Progressing cavity pumps. Editions Technip, Paris, 1997.
8. Nelik L., Brennan J. Progressing Cavity Pumps and Mudmotors. Gulf Publishing Company, Houston, 2005.
9. Gusman M.T., Baldenko D.F., Kochnev A.M., Nikomarov S.S. Bottomhole screw motors for well drilling. – M. : Nedra, 1981.
10. Baldenko D.F., Baldenko F.D., Gnoevykh A.N. Single screw hydraulic machines (in two volumes). – M. : Gazprom IRTS, 2005–2007.
11. Samuel R., Baldenko D.F., Baldenko F.D. Positive Displacement Motors. Theory and Applications. Sigma Quadrant Publisher, 2015.
12. Baldenko D.F., Baldenko F.D. About a profile choice of teeth of mechanical gears and hydraulic engines // Drilling and oil. – 2019. – № 3.

УДК 621.1

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГАЗОВОЙ ДОБЫЧИ

●●●●●●

APPLICATION OF DIAGNOSTIC METHODS FOR HEAT POWER EQUIPMENT AT GAS PRODUCTION ENTERPRISES

Белкин Алексей Павлович
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры промышленная теплоэнергетика,
Тюменский индустриальный университет
kpt.belkin@mail.ru

Бакин Юрий Александрович
магистр 2 курса обучения по направлению
теплоэнергетика и теплотехника,
Тюменский индустриальный университет
bakind@rambler.ru

Аннотация. Статья посвящена комплексному подходу к оценке технического состояния котельных установок газодобывающих предприятий на основании проведения режимно-наладочных испытаний и технической диагностики.

Ключевые слова: котел, режимно-наладочные испытания, потери, КПД.

Belkin Alexey Pavlovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor Department
of Industrial Heat Power Engineering,
Tyumen industrial university
kpt.belkin@mail.ru

Bakin Yuri Alexandrovich
Master of the 2nd year of study
in the direction Heat and Power Engineering,
Tyumen industrial university
bakind@rambler.ru

Annotation. The article is devoted to an integrated approach to assessing the technical condition of boiler plants of gas producing enterprises on the basis of conducting operational tests and technical diagnostics.

Keywords: boiler, operational tests, losses, efficiency.

На производственно-отопительных котельных ООО «Газпром добыча Уренгой» в основном установлены и эксплуатируются паровые водотрубные котлы на номинальное давление 1,3 МПа. Фактически же большинство котлов, по разным причинам, работает под давлением 0,7–1,0 МПа, а служба эксплуатации котельных не располагает данными о фактической наработке.

Состояние котлов оценивается в основном по двум направлениям: по реализации заданных проектом технологических функций, т.е. контролируется работа, и по износу, вызванному процессами, соответствующими технологии выработки пара и горячей воды, т.е. контролируется техническое состояние оборудования [1].

В процессе эксплуатации и технического обслуживания теплоэнергетического оборудования возникает проблема разработки эффективных систем технической диагностики с целью выявления и предотвращения аварийных ситуаций, определения текущего и прогнозирования технического состояния оборудования.

С целью повышения эффективности эксплуатации котельных установок необходимо проводить режимно-наладочные испытания для [3]:

– наладки режимов работы котлов и вспомогательного оборудования;

– составления режимной карты с указанием оптимальных параметров работы котла не менее чем на 4-х возможных нагрузках;

– определения минимальной и максимальной производительности котла;

– определения удельного расхода топлива на отпущенную тепловую энергию;

– выявления величин отдельных тепловых потерь и определение методов их уменьшения или полного устранения;

– определения КПД «брутто» котла;

– исследования работы топки (тепловое напряжение, температура в разных точках, избыток воздуха и состав газов за топкой, влияние первичного и вторичного воздуха на процесс горения);

– исследования работы экономайзера, воздухоподогревателя;

– определения сопротивлений участков газовоздушного тракта, присосов воздуха в газоходы при разных режимах и нагрузках.

По результатам испытаний составляется сводная ведомость с данными измерений и теплотехнических расчетов по газу, воде, продуктам сгорания, воздуху, разрежению, нормы расхода топлива на выработку 1 Гкал тепла, экономические показатели. На основании теплотехнических расчетов и графиков, анализа опытных данных составляются выводы о работе котла и рекомендации [6, 7].

Результаты обработки материалов испытаний приведены в таблицах 1, 2 в которых опыты № 1, 2, 3, 4 – соответствуют оптимальным условиям работы котла при 4-ех нагрузках. Опыт № 5 является фотографией работы котла перед проведением режимно-наладочных испытаний.

Таблица 1 – Результаты испытаний парового котла ДКВР-6,5/13

Показатели	Ед.изм.	Обозначение	Способ получения	Нагрузка в % от номинальной производительности				
				После проведения испытаний				Фото
				28	65	86	97	55
				№№ опытов				
				1	2	3	4	5
1.ТОПЛИВО			Природный газ					
Состав топлива:								
– метан	%	CH_4	Данные лаборатории	99,09	99,09	99,09	99,09	99,09
– этан	%	C_2H_6		0,099	0,099	0,099	0,099	0,099
– пропан	%	C_3H_8		0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
– бутан	%	iC_4H_{10}		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
– бутан	%	hC_4H1_0		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
– пентан	%	iC_5H_{12}		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
– пентан	%	hC_5H_{12}		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
– гексан	%	C_6H_{14}		0	0	0	0	0
– плотность	кг/м³	r		0,673	0,673	0,673	0,673	0,673
Теплота сгорания	ккал/ст.м³	Q^p_H	$30,2\cdot CO_2+25,84\cdot H_2+$ $+85,5\cdot CH_4+152\cdot C_3H_6+$ $+...+52H_2$	7928	7928	7928	7928	7928
Максимальное содержание углекислого газа в продуктах сгорания	%	CO_2^{max}	$11,75+0,01(2C_2H_6+$ $4C_3H_8+...+11CO_2-1,5N_2)$	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
Топливная характеристика		β	$\frac{21-CO_2^{max}}{CO_2^{max}}$	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Температура газа перед горелками	°С	$t_г$	Среднее за опыт	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
Давление газа передтгорелками	кгс/м²	$P_г$	-//-	5	40	70	110	40
Давление газа после ГРУ	кПа	$P^I_г$	-//-	3,40	3,10	2,60	2,00	3,10
Расход газа на котла	м³/ч	$B_г$	-//-	154	337	436	490	290
II. ПАР И ПИТАТЕЛЬНАЯ ВОДА								
Паропроизводитель-ность котла	т/ч	$Д_п$	Среднее за опыт	1,8	4,2	5,6	6,3	3,6
Давление пара в барабане котла	кгс/см²	$P_б$	-//-	7,3	7,4	7,6	7,5	7,3
Энтальпия пара	ккал/кг	$i_п$	$i_п = f(P_б)$	661	661	661	661	661
Давление питательной воды	–	–	–	–	–	–	–	–
– перед питатель-ными насосами	кгс/см²	$P'_{П.В.}$	-//-	8,2	8,3	8,6	8,6	8,5
– после питательных насосов	кгс/см²	$P'_{П.В.}$	-//-	7,5	7,6	7,7	7,8	7,5
Температура питательной воды:								
– до экономайзера	°С	$t'_{эк}$	-//-	100	100	100	100	100
– после экономайзера	°С	$t''_{эк}$	-//-	109	118	122	127	118

Показатели	Ед.изм.	Обозначение	Способ получения	Нагрузка в % от номинальной производительности				
				После проведения испытаний				Фото
				28	65	86	97	55
				№№ опытов				
				1	2	3	4	5
III. ВОЗДУХ И ПРОДУКТЫ ГОРЕНИЯ								
Давление воздуха перед горелками	кгс/м²	$P_в$	Среднее за опыт	2	9	16	25	9
Температура воздуха перед горелками	°С	$t_в$	-//-	27	26	26	26	26
Разрежение:								
– в топке	кгс/м²	S_t	-//-	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
– за котлом	кгс/м²	$S'_{эк}$	-//-	5	7	8	9	7
– за экономайзером	кгс/м²	$S''_{эк}$	-//-	25	48	55	75	38
Аэродинамическое сопротивление:								
– котла	кгс/м²	$\Delta S_к$	$S'_{эк} - S_т$	2,5	4,5	5,5	6,5	4,5
– экономайзера	кгс/м²	$\Delta S_{эк}$	$S''_{эк} - S'_{эк}$	20	41	47	66	31
Температура газов:								
– за котлом	°С	$T'_{эк}$	Среднее за опыт	203	229	242	259	229
– за экономайзером	°С	$T''_{эк}$	-//-	119	133	135	142	133
Содержание в уходящих газах за котлом:								
– углекислого газа	%	$(CO_2)'_{эк}$	Среднее за опыт	5,00	8,00	9,20	9,80	8,00
– кислорода	%	$(O_2)'_{эк}$	-//-	12,10	6,80	4,60	3,60	6,80
– окиси углерода	%	$CO'_{эк}$	$\frac{21-\beta\cdot CO_2-(CO_2+O_2)}{0,6+\beta}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
– азота	%	$(N_2)'_{эк}$	$100-(CO_2+O_2+CO)$	82,9	85,2	86,2	86,6	85,2
Содержание в уходящих газах за экономайзером:								
– углекислого газа	%	$(CO_2)''_{эк}$	Среднее за опыт	3,60	5,20	7,00	7,20	5,20
– кислорода	%	$(O_2)''_{эк}$	-//-	14,60	11,80	8,50	8,20	11,80
– окиси углерода	%	$CO''_{эк}$	$\frac{21-\beta\cdot CO_2-(CO_2+O_2)}{0,6+\beta}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
– азота	%	$(N_2)''_{эк}$	$100-(CO_2+O_2+CO)$	81,8	83,0	84,5	84,6	83,0
Коэффициент избытка воздуха:								
– за котлом		$\alpha'_{эк}$	$\frac{1}{1-3,76\times\frac{O_2-0,5\cdot CO}{N_2}}$	2,22	1,43	1,25	1,19	1,43
– за экономайзером		$\alpha''_{эк}$		3,04	2,15	1,61	1,57	2,15
Присосы воздуха по газо- воздушному тракту		$\Delta\alpha$	$\alpha''_{эк} - \alpha'_{эк}$	0,82	0,72	0,36	0,39	0,72
IV. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ								
Потери тепла с уходящими газами	%	q_2	$0,01\cdot Z(T''_{эк}-t_в)$	10,30	8,61	6,78	7,02	8,61
Коэффициент		Z		11,20	8,05	6,22	6,05	8,05
Потери тепла от химической неполноты сгорания	%	q_3	$\frac{35\cdot CO}{CO_2+CO}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Потери тепла в окружающую среду номинальные	%	$q_5^н$	По графику	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Показатели	Ед.изм.	Обозначение	Способ получения	Нагрузка в % от номинальной производительности				
				После проведения испытаний				Фото
				28	65	86	97	55
				№№ опытов				
				1	2	3	4	5
Потери тепла в окружающую среду действительные	%	q_5	$q_5^н \frac{Д_н}{Д_п}$	7,22	3,10	2,32	2,06	3,61
Коэффициент полезного действия брутто	%	$\eta_{бр}$	$100-(q_2+q_3+q_5)$	82,5	88,3	90,9	90,9	87,8
Удельный расход натурального топлива на 1 Гкал	м³/Гкал	$B_н$	$\frac{10^6}{Q_н^р \cdot \eta_{бр}}$	152,9	142,9	138,8	138,7	143,7
Удельный расход условного топлива	кг.у.т./Гкал	$B_{у.т.}$	$\frac{10^6}{7000 \cdot \eta_{бр}}$	173,2	161,8	157,2	157,1	162,7

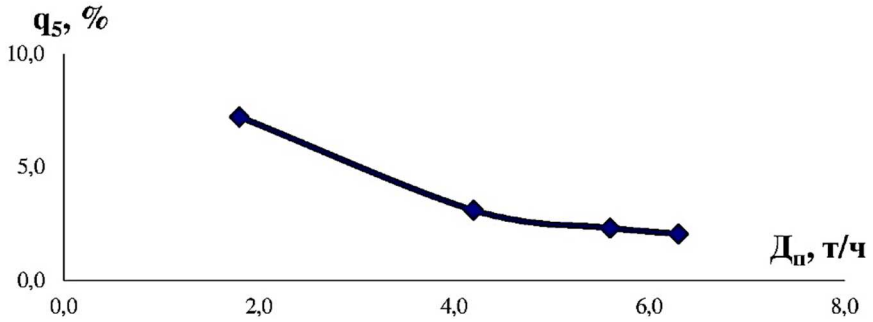


Рисунок 1 – Зависимость потери тепла в окружающую среду от паропроизводительности котла

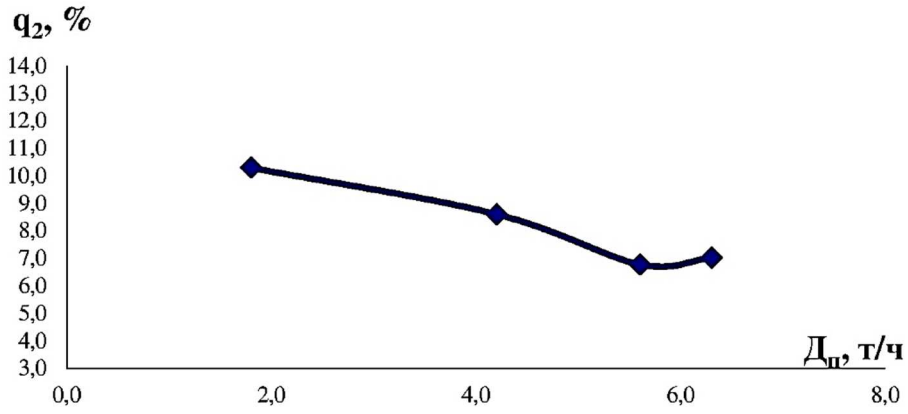


Рисунок 2 – Зависимость потери тепла с уходящими газами от паропроизводительности котла

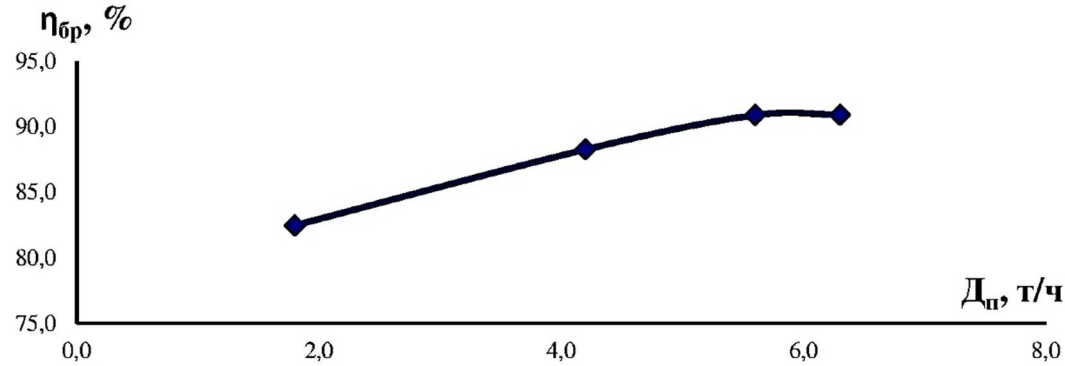


Рисунок 3 – Зависимость КПД брутто котла от паропроизводительности котла

Таблица 2 – Экономическая эффективность выполненных испытаний

Параметры работы котла		Обозначение	Ед. изм.	Параметры при производительности в % от номинальной	
				после наладки	до наладки
				65	55
I. Паропроизводительность и питательная вода					
Паропроизводительность		$Д_п$	т/ч	4,2	3,6
Давление пара в барабане		$P_б$	кгс/см²	7,4	7,3
Температура питательной воды	– до экономайзера	$t'_{пв}$	оС	100	100
	– после экономайзера	$t''_{пв}$	оС	118	118
Давление пит. воды после пит. насоса		$P''_{пв}$	кгс/см²	8,3	8,5
II. Топливо					
Вид топлива				Природный газ	
Низшая теплота сгорания газа		$Q_{нр}$	ккал/ст.м³	7928	7928
Температура газа перед горелкой		$t_г$	оС	24	24
Давление газа после РД		$P'_г$	кПа	3,1	3,1
Давление газа перед горелкой		$P_г$	кгс/м²	40	40
Расход топлива на котел		$B_г$	м³/ч	337	290
III. Воздух и продукты горения					
Давление воздуха перед горелкой		$P_в$	кгс/м²	9	9
Температура дутьевого воздуха		$t_в$	оС	26	26
Разрежение	– в топке котла	S_t	кгс/м²	2,5	2,5
	– за котлом	$S_к$	кгс/м²	7	7
	– за экономайзером	$S_{эк}$	кгс/м²	48	38
Содержание углекислого газа	– за котлом	CO'_2	%	8,0	8,0
	– за экономайзером	CO''_2	%	5,2	5,2
Содержание кислорода	– за котлом	O'_2	%	6,8	6,8
	– за экономайзером	O''_2	%	11,8	11,8
Содержание окиси углерода	– за котлом	CO'	%	0,0	0,0
	– за экономайзером	CO''	%	0,0	0,0
Коэффициент избытка воздуха	– за котлом	$α_к$		1,43	1,43
	– за экономайзером	$α_{эк}$		2,15	2,15
Температура уходящих газов	– за котлом	$t'_{ух}$	оС	229	229
	– за экономайзером	$t''_{ух}$	оС	133	133
IV. Экономические показатели котла					
Потери тепла	– с уходящими газами	q_2	%	8,61	8,61
	– от химического недожога	q_3	%	0,00	0,00
	– в окружающую среду	$q_5^ф$	%	3,10	3,61
КПД котла брутто		$η_{бр}$	%	88,3	87,8
Удельный расход условного топлива		$q_{уд.}$	кгут/Гкал	161,80	162,74
Экономия удельного расхода условного топлива		$Δq_{уд.}$	кгут/Гкал	0,94	

С учетом проведённых режимно-наладочных испытаний экономический эффект составит [2]:

1. Часовая экономия расхода условного топлива:

$$Δq_{уд.} = (q'_{уд.} – q''_{уд.}) \cdot Q^к = (162,74 – 161,80) \cdot 2,02 = 1,895 \text{ кг.у.т./час.} \quad (1)$$

2. Годовая экономия расхода условного топлива после проведения наладочных работ:

$$Э_{1к} = \Delta \cdot T = 1{,}895 \cdot 2000 = 3790{,}0 \text{ кг.у.т.} \quad (2)$$

3. Годовая экономия натурального топлива в год котлом после проведенных режимно-наладочных испытаний:

$$Эн.т. = \frac{Эк \text{ x } Q1рн}{Qрн} = \frac{3790 \text{ x } 7000}{7928} = 3346{,}37 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3)$$

В результате проведенных испытаний с учетом выполненных расчетов установлено:

1. Температуры уходящих газов за котлом и экономайзером не превышают расчетные значения.
2. Коэффициенты избытка воздуха за котлом и экономайзером незначительно превышают расчетные значения и обусловлены:
   – присосами воздуха по газовому тракту котла;
   – повышенным содержанием кислорода в горении, вследствие увеличенного давления воздуха в графике соотношения газ-воздух.
3. Имеют место колебания разрежения, давления воздуха и газа. При номинальной нагрузке эти колебания составляют:
   – разрежение ±1,5 кгс/м².
   – давление воздуха ±2 кгс/м².
   – давление газа ±5 кгс/м².
4. Потери тепла с уходящими газами не превышают расчетное значение.

Литература

1. Ковалев И.А. Цели и задачи технической диагностики // Труды ЦКТИ. – 1992. – Вып. 273. – С. 3–8.
2. Методика определения нормативов расхода газа на собственные нужды : ОАО «Газпром» СТО Газпром 3.1-2-006-2008. – М., 2008.
3. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС / под ред. Андрющенко. – М. : ВШ, 1991. – 303 с.
4. Роддатис К.Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
5. Руденко Ю.Н., Ушаков И.А. Надежность систем энергетики. – М. : Наука, 1986. – 253 с.
6. Тепловой расчет котельных агрегатов : Нормативный метод. – Лениздат, 1977.
7. Трембовля В.И. [и др.]. Теплотехнические испытания котельных установок. – М. : Энергия, 1977.

References

1. Kovalev I.A. Goals and tasks of technical diagnostics // Proceedings of CKTI. – 1992. – Issue 273. – P. 3–8.
2. Methods of determining norms of gas consumption for own needs : OAO Gazprom STO Gazprom 3.1-2-006-2008. – M., 2008.
3. Reliability of heat and power equipment of TPP and NPP / ed. by Andriushchenko. – M. : VSh., 1991. – 303 p.
4. Roddatis K.F. Directory of boiler plants of low productivity. – M. : Energoatom-issued, 1989.
5. Rudenko Yu.N., Ushakov I.A. Reliability of power engineering systems. – M. : Nauka, 1986. – 253 p.
6. Thermal Calculation of Boiler Units : Normative Method. – Lenizdat, 1977.
7. Trembovlya V.I. [et al.]. Heat Engineering Tests of Boiler Units. – M. : Energia, 1977.

УДК 622.245

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАКАНЧИВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

●●●●●●

ALTERNATIVE TECHNOLOGY FOR FINISHING HORIZONTAL WELLS

Биктимиркин Евгений Юрьевич
магистр кафедры
бурение нефтяных и газовых скважин,
Самарский государственный
технический университет
Biktizhenya997@mail.ru

Мозговой Георгий Сергеевич
старший преподаватель кафедры
бурение нефтяных и газовых скважин,
Самарский государственный
технический университет
gsmozgovoi@mail.ru

Аннотация. Данная статья описывает альтернативную технологию заканчивания горизонтальных скважин. Предполагается применение хвостовика, составленного из стеклопластиковых труб, специального керамического тампонажного состава, который возможно использовать как для ликвидации негерметичности эксплуатационных колонн, так и для крепления призабойных зон, изменяя отверждающийся состав и добавляя регуляторы не меняя основу состава. Для создания притока флюида в скважину описывается проведение гидропескоструйной перфорации с последующим гидроразрывом пласта.

Ключевые слова: горизонтальная скважина, стеклопластиковые трубы, многостадийный гидроразрыв пласта.

Biktimirkin Evgeniy Yurevich
Master of the Department
Drilling of oil and gas wells,
Samara state technical university
Biktizhenya997@mail.ru

Mozgovoy Georgiy Sergeevich
Senior Lecturer of the Department
Drilling of oil and gas wells,
Samara state technical university
gsmozgovoi@mail.ru

Annotation. This article describes an alternative technology for completing horizontal wells. It is supposed to use a shank composed of fiberglass pipes, a special ceramic grouting composition, which can be used both to eliminate leakage in production casing and to fix bottom-hole zones, changing the cured composition and adding regulators without changing the composition basis. To create fluid flow into a well, a hydro-sandblasting perforation is described followed by hydraulic fracturing.

Keywords: horizontal well, fiberglass pipes, multi-stage hydraulic fracturing.

Использование стальных обсадных труб в качестве эксплуатационных колонн при строительстве скважин может сопровождаться процессами коррозии. Применение стеклопластиковых обсадных колонн исключает затраты на ремонтно-восстановительные работы и проведение катодной защиты. Основными компонентами материала стеклопластиковых труб являются эпоксидная смола и стеклонить. Для ускорения процесса полимеризации в смолу добавляют отвердитель и ускоритель. Эпоксидная смола относится к термоактивным пластикам: после добавки отвердителя и соответствующей термообработки в этой смеси происходят химические реакции, вследствие которых макромолекулы сшиваются, что повышает прочность пластика.

В составе хвостовика, составленного из СПОТ, не применяются металлические элементы. При спуске в скважину внутренний диаметр каждой СПОТ проверяют специальным пластиковым шаблоном длиной 350 мм и диаметром 92 мм. Свинчивание СПОТ проводится вручную ременными ключами. Так как плотность материала СПОТ в 4 раза меньше плотности стали, на последнем этапе цементирования возникает вероятность всплытия колонны, составленной из таких труб. Для исключения всплытия необходимо, чтобы плотности тампонажного раствора и продавочной жидкости были близки.

Существует большое разнообразие методов, технологий и технических устройств. Применение их позволяет ликвидировать заколонные перетоки в скважинах и восстановить герметичность заколонного пространства. Так же имеется необходимость установки заколонных пакеров. Как и у всех технологий данный метод помимо достоинст имеет и ряд недостатков, описанных ниже:

1. Отсуствие методов определения герметичности посадки пакера.
2. Высокий риск невозможности извлечения пакеров.
3. Увеличение стоимости последующих ремонтов скважин.
4. Установка пакера не гарантирует предотвращение перетока флюида через коллектор.

Исходя из этого, предлагается вариант использования специальных керамических составов с низкой водоотдачей и расширяющимся эффектом. Данная композиция имеет плотность равную 1500 кг/м^3, что обуславливает возможность её применение в данной технологии. Этот состав способен проникать в

минимальные зазоры, тем самым гарантирует отсутствие перетока флюида. Преимущества данной композиции – возможность использования состава как для ликвидации негерметичности эксплуатационных колонн, так и для крепления призабойных зон пескопроявляющих скважин изменяя состав отвердения и добавляя регуляторы не меняя основу состава.

Состав состоит из синергетической смеси неорганических материалов и минеральных добавок. Преимуществом состава является водная микродисперсия растворенного полимера, который обладает высокой адгезией к породе, цементу и металлу, низкой вязкостью способствующей высокой проницаемости, высокими прочностными характеристиками. Ограничением является приемистость от 0 до 150 м³/сут. Оптимальная рабочая температура от 0 ºС до плюс 90 ºС.Прочность на сжатие керамического состава 45,91 МПа. Технические характеристики керамического состава описаны в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики керамического состава

Наименование показателей	Значение		
Водоотделение, мл	5,0		
Сроки схватывания, час-мин: Начало, не ранее Конец, не позднее	 5–25 6–30		
Время загустевания, мин. 30 ВС 70 ВС	При 0,1 МПа 235 273	При 0,7 МПа 232 270	
Время выдержки, часы	48	100	150
Прочность, МПА Изгиб Сжатие	 10,2 32,3	 14,2 44,26	 15,34 45,19
Адгезия, МПа Колонна порода	 6,3 2,3	 6,3 3,7	 8,9 4,0

Рассмотрим технологию ускоренного ввода скважины в работу ГПП+ГРП.

Технология основана на непрерывной работе флота ГНКТ выполняющего помимо основной работы, ещё и гидропескоструйную перфорацию, и флота ГРП выполняющего гидравлический разрыв пласта без ограничений по массе проппанта и других осложняющих факторов.

Главной особенностью многостадийного ГПП+ГРП в наклонных и горизонтальных скважинах является то, что они должны быть инициированы из определенных интервалов пласта и геометрические параметры создаваемых при этом трещин (длина, ширина) определяются предельной высотой трещины. В горизонтальных скважинах принципиальное значение имеет количество и ориентация трещин относительно ствола, а также длина трещин. Много стадийный ГПП+ГРП как средство воздействия на участок залежи наиболее эффективны при системном их использовании в добывающих и нагнетательных скважинах в комплексе с методами увеличения нефтеотдачи пластов.

Эффективное применение ГПП (гидропескоструйной перфорации) и ГРП (гидроразрыва пласта) в скважинах позволит:

– вскрыть несколько пластов (это особенно эффективно при наличии множества пропластков, которые можно подвергнуть ГРП по отдельности);

– провести несколько последовательных операций гидроразрыва, обойтись меньшим количеством проппанта, так как он не расходуется на расклинивание глинистых перемычек, а распространяется только в целевые зоны.

Проблема селективных гидроразрывов в ГС может быть успешна решена при объединении технологий гидропескоструйной перфорации и гидроразрыва пласта. При этом технология селективного создания трещин выглядит следующим образом. Первый этап – предварительная резка колонны. Следующий этап – образовании серии каверн путем проведения ГПП. И завершение технологии – разрыв пласта. При выполнении гидропескоструйной перфорации энергия давления смеси жидкости и песка в колонне НКТ преобразуется в кинетическую энергию струи. В образованной полости скорость струи снижается, статическое давление в полости возрастает. При определенных значениях параметров струи и давления в кольцевом пространстве происходит инициация образования трещины. Инициируемые из серии отверстий перфоратора трещины образуют совместную трещину. Как следствие, путем соответствующего размещения перфорационных отверстий обеспечивается возможность уточнения интервала начала развития трещины.

Литература

1. Зарипов И.М. [и др.]. Опыт строительства скважин с эксплуатационной колонной, составленной из стеклопластиковых обсадных труб, в ПАО «Татнефть» // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 1137. – С. 18–20.

2. Лаврентьев И.Д. Применение стеклопластиковых обсадных труб// Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии. – 2018. – № 3. – С. 142–145.

References

1. Zaripov I.M. [et al.]. Experience in the construction of wells with a production casing composed of fiberglass casing pipes at PJSC Tatneft // Oil industry. – 2018. – № 1137. – P. 18–20.

2. Lavrentiev I.D. The use of fiberglass casing pipes // Collection of materials of the International scientific and practical conference of young scientists Energy of youth for oil and gas industry. – 2018. – № 3. – P. 142–145.

УДК 621.891(07)

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА

●●●●●●

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR DETERMINING METHANE CONCENTRATIONS

Биличенко Аркадий Петрович
магистр, старший преподаватель
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Нешина Елена Геннадьевна
магистр, старший преподаватель
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет
Arkan80@list.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты разработки Казахстанской информационно-измерительной системы на основе твердого электролита для определения концентрации метана в угольных пластах, горных выработках и газопроводах опасных по выбросам газа.
Приведено описание информационно измерительной системы, её устройство и структурная схема. Приведены результаты моделирования физического процесса, имитации распространения газа метана из условного источника возникновения, его изменение во времени. Моделирование выполнено в ANSYS CFX – мощной и надежной технологии расчетов в области вычислительной гидрогазодинамики.

Ключевые слова: газоанализатор, информационно-измерительная система, метан, композиты, сенсорные сети, испытательный стенд.

Bilichenko Arkadiy Petrovich
Master's degree, senior lecturer
of the Department of energy systems,
Karaganda state technical university

Neshina Yelena Gennadievna
Master's degree, senior lecturer
of the Department of energy systems,
Karaganda state technical university
Arkan80@list.ru

Annotation. The article presents the results of the development of Kazakhstan's information and measurement system based on solid electrolyte for determining the concentration of methane in coal seams, mine workings and gas pipelines dangerous for gas emissions.
The description of the information measuring system, its structure and block diagram is given. The results of modeling the physical process, simulating the propagation of methane gas from a conditional source of origin, and its change over time are presented. The simulation was performed in ANSYS CFX, a powerful and reliable calculation technology in the field of computational fluid dynamics.

Keywords: gas analyzer, information and measurement system, methane, composites, sensor networks, test bench.

Информационно измерительная система (ИИС) разработанная нами для непрерывного автоматического контроля объемной доли метана (CH4) в атмосфере горных выработок, угольных шахт опасных по газу и пыли и выдачи сигнализации при достижении измеряемым компонентом установленных пороговых значений.

В соответствии с классификацией ИИС представляет собой стационарный электрический многоблочный измерительный прибор циклического действия с конвекционной подачей контролируемой среды и состоит из информационного пульта и от одного до восьми датчиков газового контроля.

Информационный пульт предназначен для:

– обеспечения питания датчиков газового контроля;
– обработки и отображения измерительной информации;
– установки пороговых значений концентрации;
– формирования звуковых и световых сигналов оповещения в случае превышения порогов;
– формирования релейных сигналов управления внешней аппаратурой;
– передачи измерительной информации в ПЭВМ или на центральный пульт.

Датчики газового контроля предназначены для преобразования концентрации контролируемого газа или паров в нормализованный телеметрический сигнал и передачи его в информационный пульт, а также для обеспечения местной световой сигнализации превышения установленных пороговых значений.

Электронная схема (ЭС) ИИС представляет собой микропроцессорный телеметрический прибор с 8-ю совмещенными каналами питания и передачи данных. Датчики соединяются с информационным пультом двухпроводными линиями связи длиной до 2000 метров, (в настоящий момент проведены испытания передачи данных по стандартам DSSS сети Wi-Fi, устойчивый сигнал принимается на расстоянии до 1000 метров) по которым они получают питание от пульта и осуществляют передачу

измерительной информации в пульт в виде аналогового частотного сигнала, пропорционального концентрации газа в месте установки датчиков.

Информационный пульт обеспечивает поочерёдный приём и обработку поступающих от датчиков частотных сигналов, отображение результатов измерения на цифровом табло и передачу их в ПЭВМ, а также формирует рабочие и аварийные световые, звуковые и релейные сигналы.

В датчиках метана, используется разработанный нами сенсор (мембрана с протонообменными свойствами, модифицированная H_3PO_4).

Принцип работы датчиков основан на изменении электрического сопротивления материала сенсора датчика вследствие его нагрева за счет тепла, выделяющегося при протекании термохимической реакции горения газа в присутствии катализатора. Компенсация влияния температуры окружающей среды достигается применением в конструкции сенсора пассивного сравнительного элемента, включаемого в мостовую измерительную схему.

Датчики, использующие полупроводниковый сенсор, относятся к термосорбционным и способны работать как в воздухе, так и при полном отсутствии кислорода – в инертном газе (в частности, в атмосфере азота).

Структурная схема ЭС ИИС представлена на рисунке 1.

Органы управления и индикации информационного пульта позволяют:

1) просматривать показания датчиков в цифровом виде, находить максимальные значения;
2) отображать состояние датчиков (наличие, превышение порогов 1 и 2, отказ);
3) изменять величину порогов срабатывания сигнализации и других параметров;
4) проводить настройку датчиков в процессе поверки или ремонта системы.

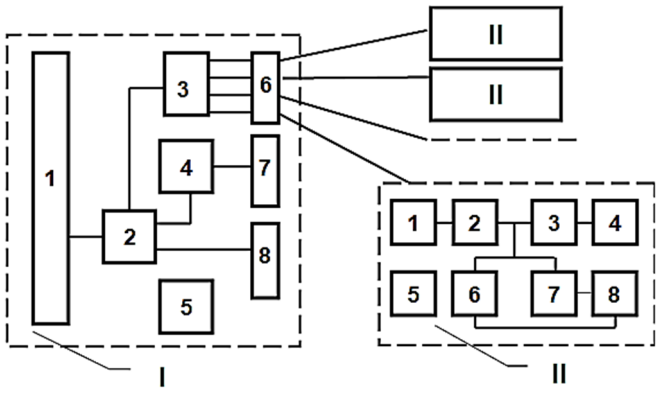


Рисунок 1 – Структурная схема ЭС ИИС:
I – Информационный пульт:
1 – плата индикации; 2 – плата контроллера; 3 – блок искробезопасных цепей; 4 – плата отключающих реле; 5 – блок питания; 6– разъем «Искробезопасные цепи»; 7 – разъем «Отключающая аппаратура»; 8 – разъем связи с ПЭВМ «RS-232/485»
II – Датчик:
1 – мост Уинстона с сенсором; 2 – усилитель; 3 – преобразователь напряжение-частота; 4 – ключ передатчика импульсов; 5 – схема питания; 6,7 – компараторы; 8 – светодиоды порогов

В результате проделанной работы были разработаны: система передачи данных, которая обеспечивает высокий уровень защиты передаваемых данных, позволяет гибко настраивать узлы сети, поддерживать в одной сети от нескольких сотен до нескольких тысяч узлов, получить скорость обмена данными 250 кбит/с по радиоканалу. В качестве радиопередающего устройства системы контроля метана принят готовый модуль итальянской компании Telit, типа ZE51 [1], построенный на основе чипа CC2430 от TI [2] способного работать модуляцией типа DSSS. Выходная мощность 2,5 мВт; чувствительность – 97 дБм; улучшенная RF-часть; дальность до 1000 м.

В результате применения спроектированной автоматизированной системы контроля содержания метана с улучшенными статическими и динамическими параметрами, а также за счёт контроля скорости нарастания и распространения концентрации метана увеличивается эффективность работы и повышается безопасность применения электроэнергии на шахтах, разрабатывающих пласты опасные по внезапным газодинамическим проявлениям.

Для моделирования и визуализации развития области загазованности одной концентрации метана, в горной выработке, нами был применен программный продукт ANSYS CFX [3]. Мы привели моделирования достаточно сложного физического процесса, имитации распространения газа метана из условного источника возникновения газа. Сорбированный метан заполняет микропоры угля в виде сгустка, а при разгрузке пласта от горного давления метан десорбируется и выделяется в виде газа. Интенсивность десорбции увеличивается при разрушении угля во время его добычи. Сорбционная

способность угля определяет его природную газоносность, которая растет с ростом метаморфизма угля. При подработке и надработке угольных пластов между этими пластами свиты образуются так называемые «полости Вебера», в которые на газоносных пластах устремляется десорбирующий из угля метан и газообразный метан из окружающих пород, и могут возникать аварийные ситуации в связи с прорывом газа из образующихся полостей в действующие выработки. Возможны три вида загазований (скоплений) горных выработок метаном: общее загазование, местное и слоевое. Основной мерой борьбы со всеми видами скоплений метана является деятельное проветривание горных выработок.

Цель моделирования и расчета состоит в создании модели дисперсии газа от стека источника и визуализации развития области загазованности одной концентрации в течение времени. Это поможет выявить наиболее оптимальные зоны для расположения датчиков информационной системы, это позволит сократить время необходимое для обнаружения докритических концентраций метана в горных выработках. В качестве «образца» горной выработки взят проходческий участок № 3 шахты им. Костенко г. Караганды, Республика Казахстан.

Источник выпускает газ, который рассеивается в атмосферу шахтной выработки при скорости 1 м/с. Интенсивность турбулентности равна 0,05, которая соответствует 5 % средней интенсивности уровня и длине вихря 0,25 м.

Исходные данные (см. рис. 2):

– скорость ветра (потока воздуха) 1 м/с;
– скорость газа, меняющаяся от 0,01 до 0,2 м/с.

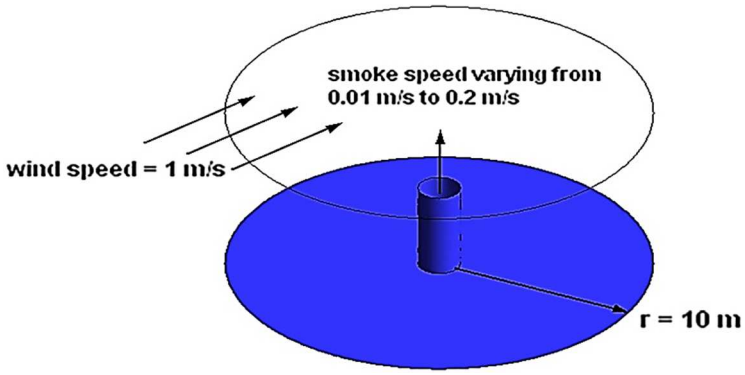


Рисунок 2 – Модель для расчета с исходными данными

Первоначально, никакой газ не выпускается. Впоследствии, источник начинает выпускать газ.

Результат расчета показан в виде изображений поверхности газа метана одной концентрации, равной 0,002 кг/м³, в разные моменты времени расчета (рис. 3).

Наложение полученной модели на реальную горную выработку позволило получить следующие результаты:

– датчики контроля газа метан, устанавливается на вентиляционном трубопроводе на расстоянии 10–15 м;
– тупиковые выработки должны оборудоваться резервным вентилятором местного проветривания с автономным электропитанием и устройствами для их разгазирования;
– контроль за концентрацией метана анализаторами газа должен осуществляться в призабойных пространствах тупиковых выработках и в исходящих из них вентиляционных струях, при наличии в тупиковой части выработки передвижной подстанции – у подстанции на расстоянии 10–15 м со стороны забоя, на выбросоопасных пластах – перед вентилятором местного проветривания.

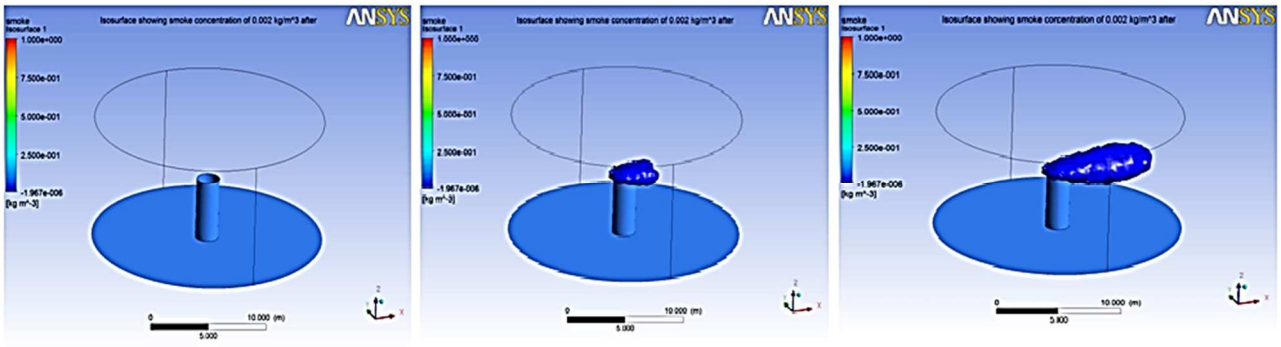


Рисунок 3 – Поверхность газа с концентрацией 0,002 кг/м³
в начальный момент времени t = 0 s, t = 2 s, t = 16 s

В итоге полученная система отвечает требованиям, предъявляемым к подобным системам: полностью автономна; легко адаптируется к реальным условиям работы; работает в режиме реального времени; легко интегрируется в рабочую действующую технологическую сеть любого угольного предприятия.

Литература/References

1. R. de Keyser Measure de champe et d attenuation et propagation libre et avec guide Tondes. Annales des mines de Belgique, 2016. – № 7–8.
2. D.I.R. Martin. Mining Technology, 2018. – Vol. 52, № 601.
3. J.B. Lovell Foot. Wireless World, 2019. – № 12.

УДК 620.92(574)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В КАЗАХСТАНЕ

●●●●●●

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF WIND ENERGY IN KAZAKHSTAN

Булатов Арман
магистрант кафедры
энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Нешина Елена Геннадьевна
магистр, старший преподаватель
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет
1_neg@mail.ru

Аннотация. Экологические последствия производства энергии все чаще выходят на передний план повестки дня в области устойчивого развития. Страны, богатые углеводородами, обвиняются в том, что они становятся крупнейшими источниками выбросов парниковых газов, металлов и других загрязняющих веществ из-за широкого использования нефти, газа и угля в производстве энергии. Сжигание ископаемых видов топлива для производства тепла и электроэнергии является одной из основных причин глобального изменения климата. В статье авторами приводятся результаты анализа состояния ветроэнергетике на территории Республик Казахстан.

Ключевые слова: ветроэнергетика, Казахстан, энергоэффективность, ветровой потенциал.

Bulatov Arman
Master student
of the department Energy Systems,
Karaganda state technical university

Neshina Yelena Gennadievna
Master's degree, Senior lecturer
of the department Energy Systems,
Karaganda state technical university
1_neg@mail.ru

Annotation. The environmental impact of energy production is increasingly coming to the forefront of the sustainable development agenda. Countries rich in hydrocarbons are accused of becoming the largest sources of emissions of greenhouse gases, metals and other pollutants due to the widespread use of oil, gas and coal in energy production. The burning of fossil fuels for heat and electricity is one of the main causes of global climate change. The authors present the results of the analysis of the state of wind energy in the territory of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: wind energy, Kazakhstan, energy efficiency, wind potential.

Быстрые темпы освоения возобновляемых источников энергии во всем мире объясняются экологическими, экономическими и стратегическими причинами. Помимо преодоления экономических и коммерческих барьеров, достижение амбициозных целей, поставленных большинством стран в этой области, потребует разработки новых технологий, способных максимально использовать энергетический потенциал различных возобновляемых источников энергии при приемлемых затратах [1–2].

Высокий уровень энергоемкости экономики Казахстана негативно влияет на себестоимость и конкурентоспособность продукции и экономики страны. Повышение энергоэффективности является одной из приоритетных задач при переходе к устойчивой модели экономического развития Казахстана.

Казахстан входит в десятку стран с самыми высокими показателями энергоемкости экономики. В структуре топливного баланса электростанций Республики Казахстан доля угля составляет 75 %, газа – 23 %, мазута – 2 %. По удельным выбросам парниковых газов на единицу Внутреннего Валового Продукта (ВВП) РК занимает третье место в мире.

Высокая энергоемкость ВВП Казахстана частично обусловлена рядом естественных причин:

- Суровый резко континентальный климат, продолжительная и холодная зима.
- Преобладание энергоемких секторов экономики в структуре ВВП.
- Обширные малонаселенные районы.
- Значительная длина транспортной инфраструктуры (нефте и газопроводы, линии электропередач, водопроводы).

Несмотря на относительно высокий запас традиционных видов топлива, создание новых энергетических систем на основе ВИЭ имеет особое значение. Республика Казахстан обладает значительным потенциалом для развития альтернативной энергетики.

Эксперты выделяют две основные причины ускоренного развития ВИЭ в Казахстане. Во-первых, существует настоятельная необходимость сокращения выбросов парниковых газов и других загрязнителей. Во-вторых, увеличится потребление не ВИЭ, что приведет к сокращению их резервов и может стать сдерживающим фактором для дальнейшего экономического роста.

Наиболее распространенными формами возобновляемых источников энергии являются солнечная энергия, энергия ветра, биомасса, гидроэнергия, геотермальная энергия и биотопливо.

Одним из главных преимуществ использования ВИЭ является то, что они никогда не заканчиваются, они требуют меньше затрат на техническое обслуживание, чем традиционные генераторы энергии. Производство возобновляемой энергии оказывает минимальное воздействие на окружающую среду [3].

Одним из наиболее динамично развивающихся коммерческих видов возобновляемых источников энергии является ветроэнергетика. В настоящее время установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) составляет более 240000 МВт, или 1,5 % мировой генерирующей мощности. Ветроэнергетика демонстрирует постоянный прирост мощности, до 20–30 % в год [1].

В то же время мировой спрос на ВИЭ постоянно растет. К середине нынешнего века увеличение их доли в глобальном энергетическом балансе прогнозируется до 35 %. Привлекательность ВИЭ связана с неисчерпаемостью этих ресурсов, независимостью от конъюнктуры цен на мировых рынках энергоносителей и экологической чистотой. Использование возобновляемой энергетики может снизить затраты на энергоснабжение удаленных населенных пунктов и строительство линий электропередачи [4–5].

Казахстан исключительно богат ветровыми ресурсами. Большие возможности в этом обусловлены географическим положением Казахстана, лежащим в ветровом поясе северного полушария Земли. На значительной части территории наблюдаются достаточно сильные воздушные течения. Порядка 50 % территории Казахстана имеет среднегодовую скорость ветра 4–5 м/с, а ряд районов имеет скорость ветра 6 м/с и более, что предопределяет очень хорошие перспективы для использования ветроэнергетики. По данным теоретический ветропотенциал Казахстана составляет около 1820 млрд кВт·ч. в год. Учитывая плотность мощности ВЭС на уровне 10 МВт/км² и наличие значительных свободных пространств, можно предполагать возможность установки в Казахстане нескольких тысяч МВт мощности ВЭС [4].

Наиболее известны в этом плане потенциальные возможности Джунгарских ворот – района, расположенного в Алматинской области на границе с Китаем, и Шелекского коридора, находящегося в этом же регионе. Джунгарские ворота – это межгорная долина длиной 200 км и шириной 10–15 км. Сильные и продолжительные бури чаще всего наблюдаются в холодные периоды года. Продолжительность их в отдельных случаях 250–300 ч. Максимальные скорости ветра составляют 40–60 м / с.

В районе Джунгарских ворот среднегодовая скорость ветра составляет 9,7 м/с на высоте 50 метров, а плотность ветрового потока порядка 1050 Вт/м². Это дает возможность вырабатывать в год примерно 4400 кВт.ч электроэнергии на кВт установленной мощности ВЭС, что делает это место уникальным для целей ветроэнергетики. Наличие свободного пространства дает возможность установить здесь несколько сот МВт мощности ВЭС с годовой выработкой порядка 1 млрд кВт·ч. электроэнергии в год. В настоящее время ведется строительство пилотной ВЭС мощностью 5 МВт в этом районе. Предполагается, что ВЭС будет вырабатывать порядка 18 млн кВт·ч электроэнергии в год при стоимости электроэнергии порядка 7 тенге/кВт·ч. В случае успешного опыта эксплуатации мощность ВЭС может быть увеличена до 50 МВт [6].

Но этим казахстанские ресурсы не исчерпываются, за исключением ряда регионов на юге и юго-западе, в Казахстане практически повсюду имеется хороший ветровой потенциал. В таблице 1 представлены сведения о площадках, используемых для производства электроэнергии.

Таблица 1

№	Наименование площадки	Среднегодовая скорость ветра м/с	Мощность ВЭС, МВт	Годовое производство электроэнергии млн кВт.ч.
1	Джунгарские ворота	10,1	50	180,0
2	Шелекский коридор	8,01	300	720,0
3	Кордай	6,06	20	48,0
4	Жузымдык-Шаян	7,61	50	150,0
5	Астана	7,25	20	140,0
6	Ерементау	8,09	300	1100,0
7	Каркаралинск	5,91	10	18,0
8	Аркалык	7,52	50	140,0
9	Атырау	7,88	200	700,0
10	Форт Шевченко	8,43	50	180,0
	Итого:		1050/700	3376/2180

Десять местоположений по всей стране были оценены по параметрам среднегодовой скорости ветра, наличия ветра и четырех типов потенциала для производства энергии ветра: валового,

технического, экономического и сокращения выбросов. Некоторые из ключевых выводов заключаются в том, что на высоте ниже 50 м над уровнем земли производство ветровой энергии экономически целесообразно на дефицитных по электроэнергии южных территориях, в частности в Джунгаре, Сарыжасе, Жузимдыке и Таразе. В Западной, Центральной и северной частях Казахстана на высоте более 50 м наиболее перспективными направлениями ветроэнергетики являются Каспийский, Северо-Западный, Центральный и Тарбагатайский коридоры. В работе определены районы с наибольшим потенциалом сокращения выбросов и разработана политика стимулирования выбора мест расположения ветроэлектростанций на основе соотношения «экономический потенциал-экологический эффект». Этот подход позволяет оценить возможности, которые децентрализованные Ветроэнергетические системы открывают для перехода от зависимости от ископаемых видов топлива к устойчивому экономическому росту.

Перспективными для Казахстана являются следующие направления развития ветроэнергетики:

– автономные ВЭС малой мощностью от 2,5 дот 100 кВт для питания обособленных проектов;

– энергетические комплексы средней мощностью 200–800 кВт для питания рассредоточенной нагрузки на территориях с низкой плотностью населения;

– энергетические комплексы с агрегатами большой мощностью 1600–5000 кВт для использования в синхронизированных энергосистемах.

К 2020 г. в республике планируют ввести порядка 30 объектов возобновляемой энергетики общей мощностью 850 МВт. ВЭС на площадке Ерментау в Акмолинской области мощностью 45 МВт с общей стоимостью 23,22 млрд тенге, в этой же области вблизи города Аркалыка ВЭС мощностью 48 МВт с единовременным затратами 15,9 млрд тенге ВЭС. Ветровая электростанция мощностью 51 МВт будет построена в Алматинской области в Шелекском коридоре и в Джунгарских воротах мощностью 72 МВт. Самая мощная электростанция в 300 МВт будет построена в Карагалинском районе Актюбинской области. В 2015 г. в Жамбылской области будет введена Кордайская ВЭС мощностью 21 МВт, а в Сарысуском районе – 100 МВт [6].

В Мангистауской области разрабатываются проекты по возведению ВЭС мощностью 150 МВт, а также в районе г. Форт-Шевченко – мощностью 42 МВт. Здесь же для строительства ВЭС мощностью 19,5 МВт вблизи г. Форт-Шевченко выделен участок площадью 20 га, финансирование вышеназванных объектов будут осуществляться за счет частных компаний, уже разработана схема присоединения ВЭС к электросетям.

В Казахстане наращивание ветроэнергетики, в основном, должно ориентироваться на обеспечение сельских населенных пунктов и отгонных животноводческих хозяйств. В настоящее время потребление электроэнергии в сельском хозяйстве составляет всего лишь около 1 %, что равно 0,9 млрд кВт·ч., в развитых Европейских государствах потребляют в 7–10 раз больше, чем у нас. Поэтому в Казахстане следует довести мощность ветроэнергетики до 7 млрд. кВт·ч., что является экономически целесообразным, и самое главное социально необходимым для сельского хозяйства.

Литература

1. Перспективы развития малой ветроэнергетики в Республике Казахстан // e-lib.kazntu.kz – URL : https://e-lib.kazntu.kz/publication_view/print/1597/7080 (дата обращения 09.12.2018).

2. Безруких П.П. Ветроэнергетика : Справочное и методическое пособие. – М. : Изд-во Энергия, 2010. – С. 54–60.

3. Кривцов В.С. Неисчерпаемая энергия : Ветроэнергетика / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Изд-во Харьков Харьковский авиационный институт ХАИ, 2004. – Кн. 2. – С. 434–435.

4. Ветроэнергетика Казахстана // articlekz.com – URL : https:// https://articlekz.com/article/13422 (дата обращения 07.12.2018).

5. Энергия и энергетика. – URL : http://www.softenergy.ru/

6. Газета «Деловой Казахстан». – URL : www.dknews.kz

References

1. Prospects for Small Wind Energy Development in the Republic of Kazakhstan // e-lib.kazntu.kz - URL : https://e-lib.kazntu.kz/publication_view/print/1597/7080 (circulation date 09.12.2018).

2. Bezrukikh P.P. Wind power engineering : reference and methodological manual. – M. : Energia Publishing House, 2010. – P. 54–60.

3. Krivtsov V.S. Inexhaustible Energy : Wind Power Engineering / V.S. Krivtsov, A.M. Oleynikov, A.I. Yakovlev. – Kharkov Aviation Institute, Kharkov, KAI, 2004. – Book 2. – P. 434–435.

4. Kazakhstan Wind Energy // articlekz.com – URL : https:// https://articlekz.com/article/13422 (date of address 07.12.2018).

5. Energy and Power Industry. – URL : http://www.softenergy.ru/ (date of address 07.12.2018).

6. Newspaper «Business Kazakhstan». - URL : www.dknews.kz

УДК 622.692

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УТЕЧЕК ИЗ ТРУБОПРОВОДА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОЧАСТОТНОГО МОНИТОРИНГА

●●●●●●

METHODOLOGY FOR DETERMINING LEAKAGE FROM A PIPELINE BASED ON ELECTRICAL FREQUENCY MONITORING

Величко Евгений Иванович
кандидат технических наук,
доцент кафедры оборудования
нефтяных и газовых промыслов,
Кубанский государственный
технологический университет
johnbottle@mail.ru

Терещенко Иван Анатольевич
старший преподаватель кафедры
оборудования нефтяных
и газовых промыслов,
Кубанский государственный
технологический университет
ongptr@mail.ru

Аванесов Александр Сергеевич
студент
института нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный
технологический университет
iCCup.House@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена описанию метода контроля утечек из трубопровода на основе электрочастотного мониторинга. Данное высокочастотное оборудование планируется монтировать на станциях электрохимзащиты (ЭХЗ), что позволит, не влияя на работу ЭХЗ, диагностировать состояние трубопровода без сложных конструктивных изменений, связанных с установкой приборов традиционного контроля. Данный способ можно успешно применить на существующих трубопроводах, завершающих свой срок эксплуатации, где установка новых систем диагностики экономически не целесообразна, а шанс возникновения утечек велик. Данный метод позволяет выявить как большие повреждения и врезки в трубопровод, так и мелкие дефекты изоляции.

Ключевые слова: электрочастотный мониторинг, станции электрохимзащиты, диагностика, осциллограф, гармоники тока, синусоида, трубопровод, техническое состояние.

Velichko Yevgeny Ivanovich
Candidate of technical Sciences,
Associate Professor
Equipment of oil and gas fields,
Kuban state technological university
johnbottle@mail.ru

Tereshchenko Ivan Anatolyevich
Senior lecturer of the Department
Equipment of oil and gas fields,
Kuban state technological university
ongptr@mail.ru

Avanesov Alexander Sergeevich
Student of the Institute of Oil,
gas and energy,
Kuban state technological university
iCCup.House@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the description of the method of control of leaks from the pipeline on the basis of electro-frequency monitoring. This high-frequency equipment is planned to be installed at electrochemical protection stations (EHZ), which will allow, without affecting the operation of the EHZ, to diagnose the condition of the pipeline without complex structural changes associated with the installation of traditional control devices. This method can be successfully used on existing pipelines that are completing their service life, where the installation of new diagnostic systems is not economically feasible, and the chance of leaks is high. This method allows to reveal both large damages and tie-ins in the pipeline, and small defects of isolation.

Keywords: electro-frequency monitoring, electrochemical protection stations, diagnostics, oscilloscope, current harmonics, sinusoid, pipeline, technical condition.

Для обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта, защиты от несанкционированных врезок необходима надежная система дистанционного контроля технического состояния трубопроводов с функциями обнаружения утечек. Такие системы интенсивно разрабатываются как в России, так и за рубежом [1].

В настоящее время очень актуальна проблема, связанная со старыми нефтегазопроводами, где заниматься их реконструкцией и переоснащением под новые стандарты качества не представляется рациональным. В связи с этим осветим простые альтернативные методы, нацеленные на предотвращение утечек, а также контроль за состоянием параметров трубопроводного транспорта [2, 3].

Метод диагностики заключается в подаче переменного тока определенной частоты по трубопроводу, используемому в качестве проводника и дальнейшего анализа показаний осциллографа, путём разбиения пришедшей на датчик синусоиды на соответствующие гармоники.

Дополнительно монтируем на станциях электрохимзащиты частотный модулятор, который позволить нам генерировать высокочастотный переменный ток. Чем выше частота электромагнитной волны, тем быстрее затухает функция. Это необходимо компенсировать мощностью источника тока. Силу и частоту этого тока необходимо просчитать для каждого конкретного участка трубопровода на предмет экономического соответствия рентабельности ввиду того, что затраты на электроэнергию будут велики. На выбор параметров будут влиять такие показатели как:

1. Длина эксплуатируемого участка трубопровода;
2. Толщина стенки и его диаметр;
3. Относительная влажность грунтов;
4. Наличие блуждающих токов;
5. Состав транспортируемого нефтепродукта;
6. Внутреннее сопротивление материала трубопровода;
7. Степень затухания;
8. Точность приборов приема сигнала.

Рисунок 1 – Схема подключения прибора

В следствие того, что переменный ток распространяется во всех направлениях, необходимо на 2-х соседних станциях установить датчики (улавливатели) входного сигнала, которые будут фиксировать информацию о поступающем токе.

Рисунок 2 – Осциллограф

В результате скин-эффекта переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется не равномерно по сечению, а преимущественно в поверхностном слое, в следствие чего при появлении повреждения трубы выходной сигнал будет заметно изменяться. Это будет свидетельствовать о появлении трещины или врезки. В случае абсолютной герметичности трубопровода выходной сигнал с модулятора исказиться лишь из-за внутреннего сопротивления металла трубы и останется в пределах допустимого. Дальнейшую информацию необходимо обработать.

Для этого необходимо специальное программное обеспечение с математической моделью, позволяющей обработать поступающий сигнал, а также для дальнейшего анализа. Все вычисления производятся автоматически на ЭВМ. Пришедшую комплексную функцию (синусоиду) можно представить в виде суммы элементарных гармоник разных порядков.

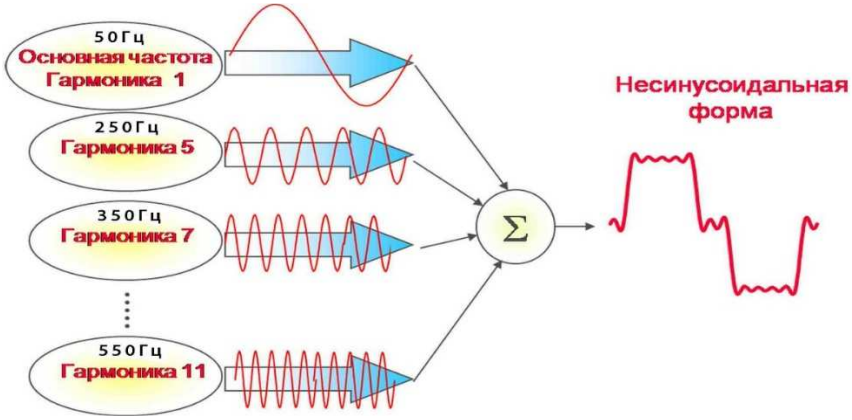


Рисунок 3 – Гармоники тока

Если предварительно в лаборатории экспериментальным методом выявить соответствие между искажением функции (порядком гармоники) и характерным ему виду дефекта, то после обработки полученного сигнала можно будет с точностью определить характер повреждения и его приблизительное местоположение. В зависимости от частоты подаваемого сигнала можно выявлять различные виды дефектов на поверхности трубопровода, в случае их большого количества можно подбирать частоту сигнала так, чтобы выявлять конкретные повреждения. Работа системы задается оператором через определённые временные промежутки, позволяющие снизить влияние работы приборов на станцию ЭХЗ и затраты энергии на диагностику.

Очевидно, можно выявить следующие его плюсы, которые в полной мере могут сместить его конкурентов с энергетического рынка, а также дать выгоду в экологическом плане.

1. Очень высокая чувствительность (выявление даже мельчайших дефектов);
2. Можно автоматизировать процесс через занесение математической модели в систему управления технологическими процессами;
3. Точность выявления размера и характера дефекта;
4. Без сложных конструктивных изменений, связанных с установкой приборов традиционного контроля;
5. Система работает периодически, график диагностирования задаётся оператором;
6. Существующая система станции ЭХЗ позволяет в полной мере обеспечить энергией приборы контроля и диагностику трубопровода по всей длине.

Литература

1. Мамонова Т.Е. Обнаружение утечек из нефтепровода с использованием устройства для измерения изменений давления // Наука Красноярья. – 2012. – № 5 (05). – С. 102–112
2. Гольянов А.А. Анализ методов обнаружения утечек на нефтепроводах // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 2002. – № 10. – С. 5–14.
3. Лурье М.В., Макаров П.С. Гидравлическая локация утечек нефтепродуктов на участке трубопровода // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 1998. – № 12. – С. 55–69.

References

1. Mamonova T.E. Detection of leaks from an oil pipeline using a device for measuring pressure changes // Science of Krasnoyarsk. – 2012. – № 5 (05). – P. 102–112.
2. Golyanov A.A. Analysis of methods for detecting leaks in oil pipelines // Transportation and storage of petroleum products. – 2002. – № 10. – P. 5–14.
3. Lurie M.V., Makarov P.S. Hydraulic location of oil leaks on the pipeline section // Transport and storage of petroleum products. – 1998. – № 12. – P. 55–69.

УДК 66.063.8.069.82

ДИНАМИЧЕСКИЙ СМЕСИТЕЛЬ

●●●●●●

DYNAMIC MIXER

Голованчиков Александр Борисович
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры процессы
и аппараты химических производств,
Волгоградский государственный
технический университет
natasha292009@yandex.ru

Прохоренко Наталья Андреевна
аспирант кафедры процессы
и аппараты химических производств,
Волгоградский государственный
технический университет
natasha292009@yandex.ru

Бурова Юлия Александровна
студент кафедры процессы
и аппараты химических производств,
Волгоградский государственный
технический университет
ya.burova2014@gmail.com

Чуватова Вераника Васильевна
студент кафедры процессы
и аппараты химических производств,
Волгоградский государственный
технический университет
chuvatovaveronika@gmail.com

Аннотация. Данная статья посвящена разработанной конструкции динамического смесителя, изменяющего свою форму, объём и форму зоны смешения и совершающего помимо вращательного движения, вибрацию в перемешиваемой жидкой среде.

Ключевые слова: смеситель, перемешивавшее устройство, мешалка, лопасть мешалки, вращение, вибрация, пружина, резонанс.

Golovanchikov Alexander Borisovich
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department
Processes and Apparatuses
of Chemical Production,
Volgograd state technical university
natasha292009@yandex.ru

Prokhorenko Natalya Andreyevna
Postgraduate student of the department
Processes and devices
of chemical production,
Volgograd state technical university
natasha292009@yandex.ru

Burova Yulia Aleksandrovna
Student of the department
Processes and devices
of chemical production,
Volgograd state technical university
ya.burova2014@gmail.com

Chuvatova Veranika Vasilevna
Student of the department
Processes and devices
of chemical production,
Volgograd state technical university
chuvatovaveronika@gmail.com

Annotation. This article is devoted to the developed design of a dynamic mixer that changes its shape, volume and shape of the mixing zone and performs, in addition to rotational movement, vibration in a mixed liquid medium.

Keywords: mixer, mixing device, agitator, agitator blade, rotation, vibration, spring, resonance.

В известных типовых конструкциях аппаратов с механическими мешалками, сами элементы конструкции мешалок обычно остаются неподвижными, зона перемешивания постоянной по объему и форме [1–3].

Целью работы является создание новой конструкции динамического механического смесителя, изменяющего свою форму, объём и форму зоны смешения и совершающего помимо вращательного движения, вибрацию в перемешиваемой жидкой среде.

На рисунке 1 представлен общий вид предлагаемой конструкции смесителя; рисунке 2 представлен вид сверху мешалки.

Смеситель состоит из корпуса 1 со съемной крышкой 2, на которой осесимметрично с корпусом 1 установлен двигатель 3 с редуктором 4, соединенный с валом 5. На конце вала 5 закреплена мешалка 6. На крышке 2 установлен патрубок 7 для подачи в корпус 1 обрабатываемого продукта, а в нижней части корпуса 1 установлен патрубок 8 для отвода обрабатываемого продукта. На стенке и днище корпуса 1 установлена рубашка 9 с патрубками подвода 10 и отвода 11 теплоносителя. На рубашке 9 закреплены опоры 12. Закрепленная на валу 5 мешалка 6 состоит из цилиндрической пружины 13, свёрнутой по спирали в форме диска, цилиндра 14, жестко закрепленного на одном конце цилиндрической пружины 13 внутри нее и имеющего наружный диаметр d_2, равный внутреннему диаметру витков цилиндрической пружины d_1. Свободный конец цилиндра 14 прикреплен к вертикальной пластине 15. Другой конец вертикальной пластины 15 присоединен с помощью разъемного соединения 16 (болтов, гаек и шайб) к втулке 17 прикрепленной к валу 5 под наклоном.

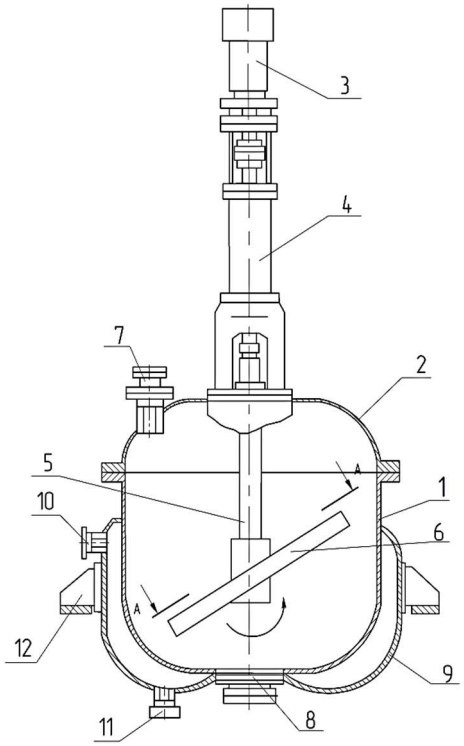


Рисунок 1 – Общий вид перемешивающего устройства

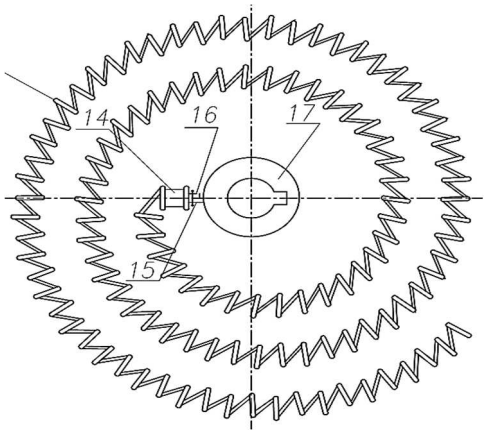


Рисунок 2 – Вид сверху перемешивающего устройства

Смеситель работает следующим образом. По патрубку 7 в корпус 1 попадают обрабатываемый продукт, а по патрубку 8 его отводят. Одновременно по патрубку 10 подводят в рубашку 9 теплоноситель, а по патрубку 11 его отводят из рубашки 9. Включают двигатель 3, который через редуктор 4 передает вращение валу 5 и мешалке 6. При вращении мешалки 6, состоящей из втулки 17, вращаются обе мешалки, выполненные в виде цилиндрических пружин 13, свёрнутых по спирали в форме диска. Под действием набегающего потока перемешиваемой жидкости витки цилиндрической пружины 13 начинают вибрировать, создавая микровихри около поверхности, обеспечивая микросмешение струй перемешиваемой жидкости, проходящих между витками цилиндрической пружины 13, свёрнутых по спирали в форме диска. Эта вибрация, кроме того, в неньютоновских структурированных жидкостей уменьшает их эффективную вязкость, что еще в большей степени способствует микроперемешиванию, интенсификации тепло- и массообменных процессов, уменьшению необходимого для эффективного смещения времени, а значит росту производительности.

Таким образом, предлагаемая конструкция динамического смесителя позволяет помимо вращательного движения осуществлять вибрацию внутри перемешиваемой жидкой среды, изменять объём и форму зоны перемешивания, что способствует интенсификации тепло- и массообменных процессов в химических реакторах, экстракторах, гомогенизаторах и других аппаратах; уменьшает объём застойных зон; снижает размер капель и повышает устойчивость эмульсии. В целом приводит к росту производительности.

На предлагаемую конструкцию динамического смесителя подана заявка на полезную модель.

Литература

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. – М. : Машиностроение, 1967. – 3-е изд., перераб. и доп. – 688 с.
2. Оборудование и нефтегазопереработки, химических и нефтехимических производств : учебник для вузов в двух книгах / А.С. Тимонин, Г.В. Божко [и др.]; под общей редакцией А.С. Тимонина. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – Кн. 2. – 476 с.
3. Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. – Л. : Химия, 1977. – 592 с.

References

1. Anur'ev V.I. Handbook of the designer-machine builder. – M. : Mashinostroenie, 1967. – 3rd ed., transcript and additional. – 688 p.
2. Equipment and oil and gas processing, chemical and petrochemical industries: a textbook for universities in two books / A.S. Timonin, G.V. Bozhko [et al.]; under the general editorship of A.S. Timonin. – M. : Infra-Engineering, 2019. – Book 2. – 476 p.
3. Kogan V.B. Theoretical bases of typical processes of chemical technology. – L. : Chemistry, 1977. – 592 p.

УДК 66.048.3.069.833:536.423.4

ДИНАМИЧЕСКАЯ НАСАДКА ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

●●●●●●

DYNAMIC PACKING OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES

Голованчиков Александр Борисович
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры процессы
и аппараты химических производств,
Волгоградский государственный
технический университет
natasha292009@yandex.ru

Прохоренко Наталья Андреевна
аспирант кафедры процессы
и аппараты химических производств,
Волгоградский государственный
технический университет
natasha292009@yandex.ru

Слабун Консантин Владимирович
студент кафедры процессы
и аппараты химических производств,
Волгоградский государственный
технический университет
constvs900@gmail.ru

Ахмаджонов Шохрух Хасанбой угли
студент кафедры процессы
и аппараты химических производств,
Волгоградский государственный
технический университет
hash0xa593b@yandex.ru

Golovanchikov Alexander Borisovich
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department
Processes and Apparatuses
of Chemical Production,
Volgograd state technical university
natasha292009@yandex.ru

Prokhorenko Natalya Andreyevna
Postgraduate student of the department
Processes and devices
of chemical production,
Volgograd state technical university
natasha292009@yandex.ru

Slabun Konctantin Vladimirovich
Student of the department
Processes and devices
of chemical production,
Volgograd state technical university
constvs900@gmail.ru

Achmadjonov Shokhrukh Hasanboy ugli
Student of the department
Processes and devices
of chemical production,
Volgograd state technical university
hash0xa593b@yandex.ru

Аннотация. Данная статья посвящена разработанной конструкции динамических насадочных контактных устройств, которые позволяют увеличить производительность массообменной колонны на промышленном производстве.

Ключевые слова: кольца Рашига, насадка, массообменная колонна, ректификация, контактные устройства, резонанс.

Annotation. This article is devoted to the developed design of dynamic packed contact devices that can increase the productivity of the mass transfer columns in industrial production.

Keywords: Raschig rings, nozzle, mass transfer column, rectification, contact devices, resonance.

Из известных типовых конструкций промышленных насадок [1–4] наиболее распространёнными являются кольца Рашига. Существует большое количество и других насадочных контактных устройств для тепло- и массообменных аппаратов, но в основном они объемно отличаются неподвижными, не изменяющими своей формы и объема в аппаратах.

Авторы разработали ряд конструкций динамических насадочных контактных устройств, которые изменяют свое положение в процессе работы аппарата под действием потоков жидкости или газе (пара). Также колебания, вибрации узлов или отдельных элементов динамических насадочных устройств увеличивает скорость тепло- и массопереноса между жидкостью и газом (паром) и увеличивает производительность аппаратов ректификационных и абсорбирующих головок, смесителей эмульгаторов и других аппаратов.

Целью работы является создание новой конструкции динамического контактного насадочного устройства, позволяющего интенсифицировать тепло- и массообменные операции между жидкой и газовой (паровой) фазами.

На рисунке 1 в разрезе изображено кольцо Рашига с внутренним телом вращения, в разрезе на рисунке 2 показано упорядоченно уложенная насадка предлагаемой конструкции в массообменном аппарате.

Насадка для тепло- и массообменных процессов состоит из наружного кольца 1 с внутренним диаметром D и высотой H и внутреннего тела вращения с внешним диаметром d и высотой h, разделенным на две части- верхнюю 2 и нижнюю 3. Отношение внешнего диаметра d внутреннего тела

вращения, разделенного на две части- верхнюю 2 и нижнюю 3, к внутреннему диаметру D наружного кольца 1 равно 0,7. Наружное кольцо 1 и внутреннее тело вращения, разделенного на две части- верхнюю 2 и нижнюю 3, выполнены из одного и того же материала, обладающего эффектом памяти формы. Верхние 2 и нижние 3 части внутреннего тела вращения соединены между собой двумя пружинками 4. Наружные кольца 1 упорядоченно установлены на опорных решетках внутри колонны, а внутри каждого наружного кольца 1 установлены внутренние тела вращения, разделенные на две части- верхнюю 2 и нижнюю 3.

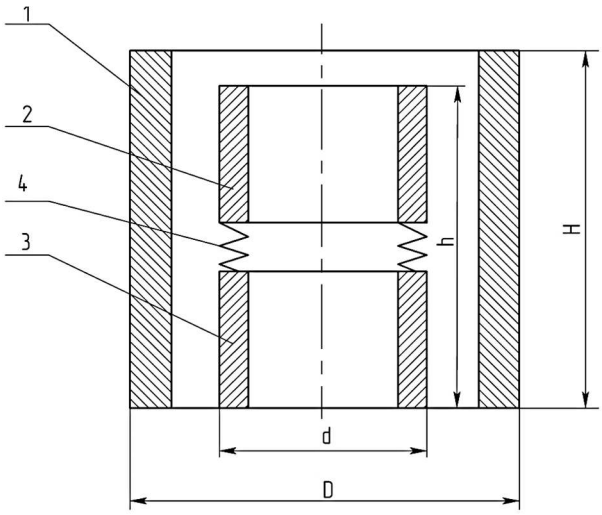


Рисунок 1 – Кольцо Рашига с внутренним телом вращения

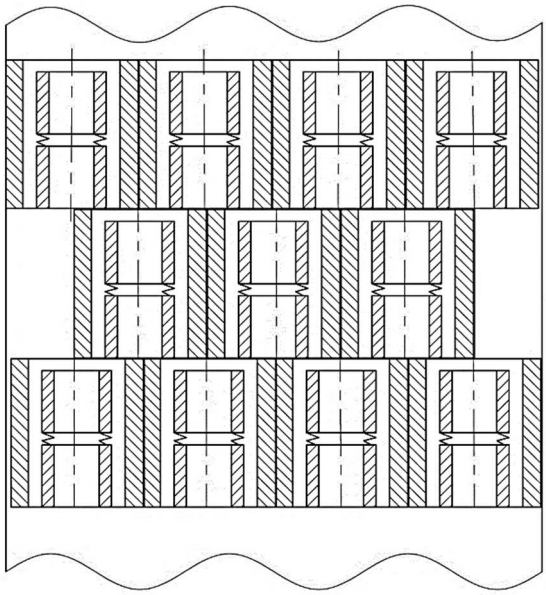


Рисунок 2 – Упорядоченно уложенная насадка предлагаемой конструкции в массообменном аппарате

Торцы наружных колец 1 не взаимодействуют с торцами внутренних тел вращения, разделенные на две части- верхнюю 2 и нижнюю 3, и последние могут свободно колебаться на пружинках 4 внутри наружных колец 1.

Насадка для тепло- и массообменных процессов работает следующим образом. Крупные наружные кольца 1 укладываются правильными рядами со сдвигом верхних рядов относительно нижних, при этом послойно внутри каждого наружного кольца 1, устанавливается внутреннее тело вращения, разделенного на две части- верхнюю 2 и нижнюю 3, соединенных между собой пружинками 4. Сверху насадка орошается жидкостью, а снизу подается газ (пар). Под действием потока газа каждое внутреннее тело вращения, разделенного на две части- верхнюю 2 и нижнюю 3, совершает осевые колебания, которые передаются всплывающими пузырьками газа. Это обстоятельство приводит к интенсификации тепло- и массообмена на границе раздела фаз газа и жидкости и к увеличению производительности

тепло- и массообменных процессов в целом. Под действием тепла наружного кольца 1 вместе с внутренним телом вращения, разделенного на две части- верхнюю 2 и нижнюю 3, выполненные из одного материала, обладающего эффектом памяти, начинает увеличивать свою длину, что приводит к увеличению поверхности тепло- массопередачи. Особенно эффективно в использовании предлагаемой конструкции насадки в массообменных насадочных колоннах с пульсирующей подачей газа или пара.

При завершении цикла работы снижается температура, внешние кольца Рашига и внутреннее тело вращения, выполненные из материала обладающего эффектом памяти, начинают уменьшаться в длине на 10–20 %. Это приводит к растрескиванию термических отложений и способствует их удалению из насадки при продувке воздухом или промывке водой. Это уменьшает время подготовки насадочной колонны к основному циклу работы и соответственно к увеличению производительности.

Таким образом, изготовление наружного кольца 1 вместе с внутренним телом вращения, разделенные на две части- верхнюю 2 и нижнюю 3, и последние могут свободно колебаться на пружинках 4 внутри наружных колец 1, позволяет насадке совершать осевые колебания, что приводит к увеличению производительности. За счет того, что наружное кольцо 1 вместе с внутренним телом вращения, разделенные на две части- верхнюю 2 и нижнюю 3, не соединены жестко между собой, их можно свободно разбирать и проводить регенерацию. Это уменьшает время очистки и увеличивает время основной работы, а значит и производительность.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90002.

Литература

1. Оборудование и нефтегазопереработки, химических и нефтехимических производств : учебник для вузов в двух книгах / А.С. Тимонин, Г.В. Божко [и др.]; под общей редакцией А.С. Тимонина. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – Кн. 2. – 476 с.

2. Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. – Л. : Химия, 1977. – 592 с.

3. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии / под редакцией В.Г. Анштейна. – М. : Логос, Высшая школа, 2001.

4. Багатуров С.А. Основы теории и расчета перегонки и ректификации. – М. : Химия, 1974. – Изд. 3-е, перераб. – 440 с.

References

1. Equipment and oil and gas processing, chemical and petrochemical industries : a textbook for universities in two books / A.S. Timonin, G.V. Bozhko [et al.]; under general editorship of A.S. Timonin. – M. : Infra-Engineering, 2019. – Book 2. – 476 p.

2. Kogan V.B. Theoretical bases of typical processes of chemical technology. – L. : Chemistry, 1977. – 592 p.

3. General Course of Processes and Devices of Chemical Technology / edited by V.G. Anshtein. – M. : Logos, Higher School, 2001.

4. Bagaturov S.A. Basics of theory and calculation of distillation and rectification. – M. : Chemistry, 1974. – Izd. 3, interrupting. – 440 p.

УДК: 621.9-1/-9

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ГАЗОНЕФТЯНОГО КОМПЛЕКСА

●●●●●●

INFORMATION SPACE FOR AUTOMATING THE PROCESS OF FORMING THE TECHNOLOGICAL OPERATION OF MECHANICAL PROCESSING OF GAS AND OIL COMPLEX PRODUCTS

Гололобов Денис Владимирович
старший преподаватель кафедры
стандартизация, сертификация
и управление качеством производства
нефтегазового оборудования,
РГУ нефти и газа (РИУ) имени И.М. Губкина
dgololobov@mail.ru

Аннотация. В статье предлагается подход к разработке информации для описания технологических процессов механической обработки деталей в нефтегазовой отрасли. Предлагается рассматривать переменные технологического процесса в виде массивов разноименных данных и на основании такого описания переменных процесса производить обработку информации. При этом формируя информационное пространство обработки на технологической операции.

Ключевые слова: технологические переменные процесса, модульный подход, технологическая документация, информационное пространство технологической операции, автоматизация процесса проектирования.

Gololobov Dennis Vladimirovich
Senior lecturer of the Department
Standardization, certification
and quality management
of production of oil and gas equipment,
Gubkin Russian state University
of oil and gas (RIU)
dgololobov@mail.ru

Annotation. The article offers an approach to the development of information to describe the technological processes of mechanical processing of parts in the oil and gas industry. It is proposed to consider process variables in the form of arrays of dissimilar data and on the basis of this description of process variables to process information. At the same time, forming the information space of processing on the technological operation.

Keywords: technological process variables, modular approach, technological documentation, information space of the technological operation, automation of the design process.

Изготовление собственного оборудования для требований газонефтяной отрасли является одним из наиболее актуальных вопросов импортозамещения продукции в газонефтяном секторе машиностроения. Современное машиностроение и задачи, которые приходятся сегодня решать, не мыслимы без использования вычислительной техники. Но при этом любое производство опирается на документооборот, и исходя из этого возникает задача проектирования технической документации с использованием современных вычислительных средств. Для решения задач проектирования технической документации разрабатываются различные программные продукты, построенных на различных методах подхода в описании технологической документации и реализуют работу на различных алгоритмах. Основная задача, которую пытаются решать производители программных продуктов САПР технологических процессов, это попытки, по возможности, производить автоматизацию процесса разработки технологических процессов. Формирование технологической документации осуществляется на основании требований ГОСТ 3.1119-83. Соответственно, на основании требований ГОСТ формируется технологическая документация на основании необходимой информации для проектирования, а также определяется состав технологической документации. Данное информационное представление можно описать, как суммарное описание всей информации, необходимой для формирования технологического процесса. Обработка технологической информации заключается в формировании информации по технологическим операциям, заключенным в основные переменные описания технологического процесса (А, Б, О, Т, Р). В силу того, что технологический процесс состоит из технологических операций, каждая операция технологического процесса механической обработки будет описываться собственными параметрами, которые присваиваться этим переменным.

Одну технологическую операцию технологического процесса можно представить, как набор параметров, которые присваиваются переменным процесса, т.е. можно сказать, что для 1 операции технологического процесса, описание будет произведено следующим образом (1):

$$\text{ОП}^{005} = (\text{А}^{005}, \text{Б}^{005}, \text{О}^{005}, \text{Т}^{005}, \text{Р}^{005}), \quad (1)$$

где ОП005 – информационный массив данных, описывающий параметры операции 005 технологического процесса, при этом массив данных состоит из вектора-строки, которые состоит и 5 элементов, которые относятся к условиям данной операции $\text{А}^{005}, \text{Б}^{005}, \text{О}^{005}, \text{Т}^{005}, \text{Р}^{005}$ с соответствующими индексами.

Из формулы (1) следует, что если так можно описать технологическую операцию, то тогда технологический процесс можно описать информационным векторным массивом (2).

$$\text{ТП} = (\text{ОП}^{005}, \text{ОП}^{010}, \ldots, \text{ОП}^{i-1}, \text{ОП}^{i}), \quad (2)$$

где ТП – информационный массив технологической операции, i- номер последней технологической операции.

Так, опираясь на формулу (2) можно представить информационную модель технологического процесса в виде информационной схемы (рис. 1):

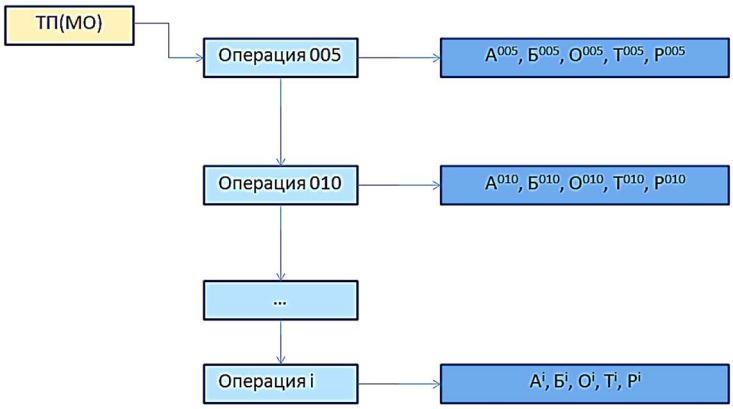


Рисунок 1 – Информационная схема переменных технологического процесса

Заполнение переменных технологического процесса формирует информационную модель технологического процесса и определяет информацию для формирования технологических карт. Стоит сказать, что переменные А, Б, О, Т, Р, являются укрупненными. Заполнение переменных для каждой операции создаст информационный массив технологического процесса (3).

$$\text{ТП} = \begin{bmatrix} \text{А}^{005} & \text{Б}^{005} & \text{О}^{005}\text{Т}^{005} & \text{Р}^{005} \\ \ldots & \ldots & \ldots \ \ldots & \ldots \\ \text{А}^{i} & \text{Б}^{i} & \text{О}^{i} \ \ \text{Т}^{i} & \text{Р}^{i} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Описание данных переменных должны удовлетворять информацией заполнению всех ячеек технологической карты. При этом можно определить потребность в формировании переменных только с заполнением технологических карт и формирование технологического процесса через диалоговый режим заполнения данных с использованием информационных баз. Но такое количество необходимой информации для формирования данных в технологических картах не дает возможность в автоматизации процессов проектирования. Для возможности автоматизации процессов проектирования технологических процессов необходимо более подробная информация. Ее можно определить, в общем, как информационное пространство, которое создаст возможность для автоматизации процессов разработки технологических операций и как следствие технологических процессов.

Описание каждой из переменных, позволяет выявить ту информацию, которую необходимо собрать для информационного описания операции (рис. 2).

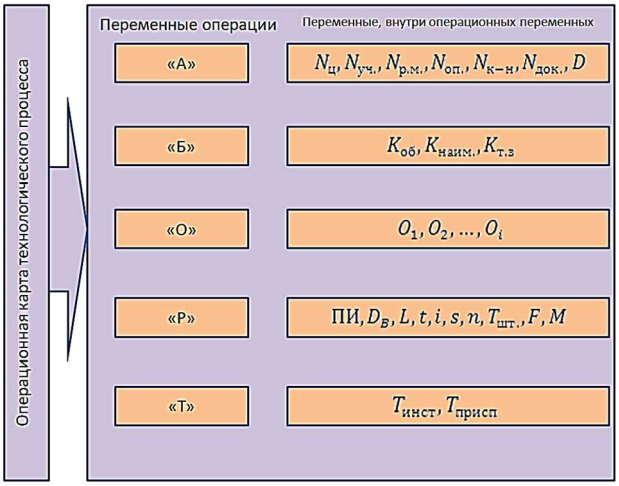


Рисунок 2 – Информационный состав переменных технологического процесса

Каждая переменная в технологической операции, согласно рисунку 2, может развернуто быть описана посредством других переменных, которые формируют информацию по содержанию технологической карты. Однако это информация может быть дополнена, такой информацией, которая сможет позволить автоматизировать процесс разработки технологической операции. Т.е. условно информацию по переменной можно условно поделить на как минимум две части (рис. 3).

Рисунок 3 – Условное деление переменных, описывающих переменную процесса

Условное деление переменных осуществляется на переменные, которые несут непосредственно информацию в технологическую карту операции, и на переменные, которые формируют информационное представление пространства обработки технологической системы на описываемой операции. Таким образом, разделение информации, а главное ее структурирование позволяет не только вносить информацию в технологические карты, но и собирать необходимую информацию для автоматизации процесса проектирования путем разработки условий на обработку информации и реализуя расчетные алгоритмы для определения параметров процесса специальными внутренними средствами САПР. Укрупненную схему обработки информации переменных можно представить следующим образом (рис. 4).

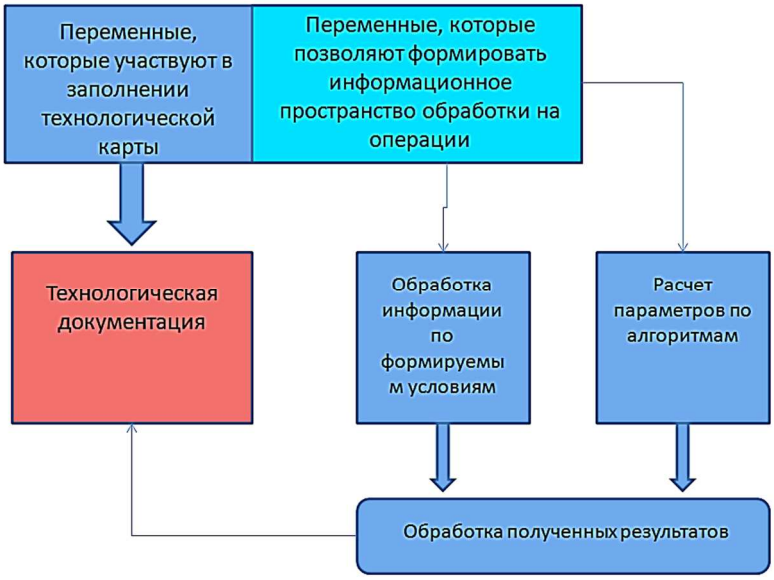


Рисунок 4 – Укрупненная схема обработки информации переменных технологического процесса

Можно сказать, что чем подробней произвести выявление и формирование информации в технологических переменных, тем больше возможности автоматизировать процесс проектирования и разработки документации процесса.

УДК 622.83

ТОЛСТОСТЕННЫЙ УПЛОТНИТЕЛЬ ИЗ АНТИФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

●●●●●●

HICK-WALLED SEALANT MADE OF SLIDING MATERIAL

Гулгазли Алескер Самед оглы
профессор кафедры механика,
Азербайджанского государственного
университета Нефти и Промышленности
alesker.gulgezli@mail.ru

Дашдыуев Шахрияр Исрафил оглы
магистрант кафедры механика,
Азербайджанского государственного
университета нефти и промышленности
sehriyardashdiyev@gmail.com

Аннотация. В работе проведены расчеты на жесткость цилиндрического уплотнителя из антифрикционного материала. Решение задачи проведено в два этапа. В первом этапе определено внутреннее давление, при котором внутренняя поверхность цилиндра получает заданное перемещение. В втором этапе определено значение сжимающей силы, при котором закрывается внешний зазор, при этом внутреннее давление равняется нулю.

Ключевые слова: уплотнитель, цилиндр, перемещение, напряжение, деформация, сила, равновесие.

Gulgazli Alesker Samed oglu
Professor of the department of Mechanics,
Azerbaijan state university
of Petroleum and Industries
alesker.gulgezli@mail.ru

Dashdiuev Shahriyar Israfil oglu
Master of Mechanics Department,
Azerbaijan STATE University
of Petroleum and Industries
sehriyardashdiyev@gmail.com

Annotation. The work carried out calculations on the stiffness of a cylindrical sealant made of antifriction material. The solution to the problem was carried out in two stages. In the first stage, the internal pressure is determined at which the internal surface of the cylinder receives a predetermined displacement. In the second stage, the value of the compressive force is determined at which the external gap is closed, while the internal pressure is zero.

Keywords: sealer, cylinder, displacement, stress, deformation, force, balance.

Для изготовления радиальных уплотнений применяются графитовые антифрикционные материалы. Уплотнения, изготовленные из данных материалов, работают в широком диапазоне рабочих температур и давлений, обладают высокими антифрикционными свойствами, хорошей механической прочностью, износостойкостью и химической стойкостью.

Антифрикционные материалы – это специальные материалы, которые применяются для деталей машин, подвергающихся при работе трению скольжения, но при этом. обладающих в определённых условиях низким коэффициентом трения. Антифрикционные материалы отличаются низкой способностью к адгезии, теплопроводностью и стабильностью свойств, а самое главное хорошей прирабатываемостью (т.е. способностью трущихся тел в начальный период трения постепенно улучшать контактирование поверхностей за счет их сглаживания)

Постановка задачи

Толстостенный цилиндр из антифрикционного материала внутренним радиусом r_1, и внешним радиусом r_2 надет на абсолютно жесткий цилиндр с внешним радиусом r_0, причем $r_0 > r_1$. Это условие означает, что цилиндр находится под действием внутреннего давления, которое не задано. На втором этапе этот цилиндр сжимается продольной силой P, при этом закрывается зазор между внешней поверхностью цилиндра и внешним жестким цилиндром радиуса r_3. На втором этапе нагружения, напряжения, возникающие под внутренним давлением, будут играть роль начальных напряжений. Решение этой задачи разделим на следующие этапы.

1. Определение начальных напряжений для линейно-упругого материала. Если считать, что длина цилиндра намного больше его толщины, т.е. $h >> r_2 – r_1$ где – h высота цилиндра, то будут иметь место плоские деформации. Уравнения равновесия для плоской задачи теории упругости в полярной системе координат, когда отсутствуют массовые силы, имеют вид [1]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \dfrac{\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi}}{r} = 0 \\ \dfrac{\partial \sigma_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \dfrac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial r} + \dfrac{2\sigma_{r\varphi}}{r} = 0 \end{cases} . \qquad (1)$$

Решение этой системы может быть принято в виде [1]:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \frac{1}{r}\frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \sigma_{r\varphi}}{\partial \varphi^2}; \quad \sigma_{\varphi\varphi} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} \\ \sigma_{r\varphi} = \frac{1}{r^2}\frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} - \frac{1}{r}\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r \partial \varphi} \end{cases} . \quad (2)$$

где $\Phi(r, \varphi)$ – функция напряжений Эри в полярной системе координат; $\sigma_{r\varphi}$, σ_{rr}, $\sigma_{\varphi\varphi}$ – суть компоненты напряжений и должны удовлетворять условию:

$$\Delta(\sigma_{rr} + \sigma_{\varphi\varphi}) = 0 , \quad (3)$$

где Δ – двумерный оператор Лапласа в полярной системе координат:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} .$$

Подставляя выражения σ_{rr} и $\sigma_{\varphi\varphi}$ из (2) в (3), получаем следующее бигармоническое уравнение:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}\right)\left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \varphi^2}\right) = 0 . \quad (4)$$

Если учитывать, что поставленная задача осесимметричная, т.е. напряжения и деформации не зависят от φ, то уравнение (4) получает вид:

$$\frac{d^4 \Phi}{dr^4} + \frac{2}{r}\frac{d^3 \Phi}{dr^3} + \frac{1}{r^2}\frac{d^2 \Phi}{dr^2} + \frac{1}{r^3}\frac{d\Phi}{dr} = 0 .$$

Общее решение этого уравнения имеет вид:

$$\Phi = A\ln r + Br^2 \ln r + Cr^2 + D . \quad (5)$$

Подставляя (5) в (2) для компонентов напряжений, получаем:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = A \cdot \frac{1}{r^2} + B(1 + 2\ln r) + 2C \\ \sigma_{\varphi\varphi} = -A \cdot \frac{1}{r^2} + B(3 + 2\ln r) + 2C \\ \sigma_{r\varphi} = 0 \end{cases} . \quad (6)$$

Для определения произвольных постоянных интегрирования мы должны иметь три условия. Два из них являются следующие:

$u_r = r_0 - r_1$, при $r = r_1$; $P_2 = 0$ при $r = r_2$. (7)

где u_r радиальное перемещение, P_2 – внешнее давление. Третьим условием является независимость проекций вектора перемещения u_r, u_φ от полярного угла φ. Из закона Гука:

$$\frac{\partial u_r}{\partial r} = \frac{1+\nu}{E}\left[(1-\nu)\sigma_{rr} - \nu\sigma_{\varphi\varphi}\right] =$$

$$= \frac{1+\nu}{E}\left\{-\frac{A}{r^2} + B\left[(3-4\nu) + 2(1-2\nu)\ln r\right] + 2C(1-2\nu)\right\} .$$

где E-модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона. Из этих соотношений получаем:

$$\begin{cases} u_r = \frac{1+\nu}{E}\left\{-\frac{A}{r} - B\left[1 - 2(1-2\nu)\ln r\right] + 2C(1-2\nu)r\right\} + f(\varphi) \\ u_\varphi = \frac{4(1-\nu)^2}{E}Br\varphi - \int f(\varphi)d\varphi + g(r) \end{cases} . \quad (8)$$

где $f(\varphi)$ и $g(r)$ произвольные функции интегрирования. Чтобы u_r и u_φ были независимыми от φ должны выполняться условия $f(\varphi) = 0$; $B = 0$. Положив в соотношениях (6) $B = 0$ получаем:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = A \cdot \dfrac{1}{r^2} + 2C \\ \sigma_{rr} = -A \cdot \dfrac{1}{r^2} + 2C \\ \sigma_{r\varphi} = 0 \end{cases} . \tag{10}$$

Приняв в первом уравнении (8) B = 0 и f(φ) = 0 имеем:

$$u_r = \frac{1+\nu}{E}\left[-\frac{A}{r} + 2C(1-2\nu)r \right]. \tag{11}$$

Учитывая (11) в условиях (7) для определения A и C получаем:

$$\begin{cases} A \cdot \dfrac{1}{r_2^2} + 2C = 0 \\ \dfrac{1+\nu}{E}\left[-\dfrac{A}{r_1} + 2C(1-2\nu)r_1 \right] = r_0 - r_1 \end{cases} . \tag{12}$$

Из (12) для A и C получаем:

$$A = \frac{-r_1 r_2^2 (r_0 - r_1)E}{(1+\nu)\left[r_1^2(1-2\nu) + r_2^2\right]}; \cdot C = \frac{r_1(r_0 - r_1)E}{(1+\nu)\left[r_1^2(1-2\nu) + r_2^2\right]}. \tag{13}$$

Подставляя (13) в (10) для напряжений имеем:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = -\dfrac{r_1 r_2^2 (r_0 - r_1)E}{(1+\nu)\left[r_1^2(1-2\nu) + r_2^2\right]} \cdot \dfrac{1}{r^2} + \dfrac{r_1(r_0 - r_1)E}{(1+\nu)\left[r_1^2(1-2\nu) + r_2^2\right]} \\ \sigma_{\varphi\varphi} = \dfrac{r_1 r_2^2 (r_0 - r_1)E}{(1+\nu)\left[r_1^2(1-2\nu) + r_2^2\right]} \cdot \dfrac{1}{r^2} + \dfrac{r_1(r_0 - r_1)E}{(1+\nu)\left[r_1^2(1-2\nu) + r_2^2\right]} \end{cases} . \tag{14}$$

2. Теперь предположим, что на цилиндр действует сжимающая продольная сила F. Задача осесимметричная, поэтому связи между компонентами тензора деформации и вектора перемещений будут:

$$\begin{cases} \bar{u}_\varphi = 0; \quad \bar{e}_{rr} = \dfrac{\partial \bar{u}_r}{\partial r}; \quad \bar{e}_{\varphi\varphi} = \dfrac{\bar{u}_r}{r}; \quad \bar{e}_{xx} = \dfrac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} \\ \bar{e}_{rx} = \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{\partial \bar{u}_r}{\partial x} + \dfrac{\partial \bar{u}_x}{\partial r} \right); \quad \bar{e}_{r\varphi} = 0; \quad \bar{e}_{x\varphi} = 0 \end{cases} . \tag{15}$$

Выражения компонентов напряжения через компоненты вектора перемещения будут:

$$\bar{\sigma}_{rr} = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}\left[\frac{1-\nu}{\nu}\frac{\partial \bar{u}_r}{\partial r} + \frac{\bar{u}_r}{r} + \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} \right],$$

$$\bar{\sigma}_{\varphi\varphi} = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}\left[\frac{\partial \bar{u}_r}{\partial r} + \frac{1-\nu}{\nu}\frac{\bar{u}_r}{r} + \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} \right],$$

$$\sigma_{xx} = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}\left[\frac{\partial \bar{u}_r}{\partial p} + \frac{\bar{u}_r}{p} + \frac{1-\nu}{\nu}\frac{\partial \bar{u}_з}{\partial з} \right],$$

$$\bar{\sigma}_{rx} = \frac{\nu E}{2(1+\nu)}\left[\frac{\partial \bar{u}_r}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r} \right]; \quad \bar{\sigma}_{r\varphi} = \bar{\sigma}_{r\varphi} = 0, \tag{16}$$

где

$$\begin{cases} \bar{e}_{rr} = e_{rr} - e^0_{pp} \\ \bar{e}_{\varphi\varphi} = e_{\varphi\varphi} - e^0_{\varphi\varphi} \\ \bar{e}_{xx} = e_{зз} - e^0_{зз} \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{\sigma}_{rr} = \sigma_{rr} - \sigma^0_{rr} \\ \bar{\sigma}_{\varphi\varphi} = \sigma_{\varphi\varphi} - \sigma^0_{\varphi\varphi} \\ \bar{\sigma}_{xx} = \sigma_{xx} - \sigma^0_{xx} \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{u}_r = u_r - u_{r0} \\ \bar{u}_\varphi = u_\varphi - u_{\varphi 0} \\ \bar{u}_x = u_x - u_{x0} \end{cases} ; \tag{17}$$

σ_{rr}^0, $\sigma_{\phi\phi}^0$, σ_{xx}^0 являются начальными напряжениями и определяются выражениями (14) ($\sigma_{xx}^0 = 0$) $\sigma_{rr}, \sigma_{\phi\phi}, \sigma_{xx}$ – напряжения возникшие после приложения силы F, $e_{rr_3}^0, e_{\phi\phi}^0, e_{xx}^0$ – начальные деформации и выражаются через σ_{rr}^0, $\sigma_{\phi\phi}^0$, σ_{xx}^0 с помощью закона Гука. u_{r0}, $u_{\varphi 0}$. u_{z0} – начальные перемещения.

Уравнения равновесия в цилиндрической системе координат следующие:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \overline{\sigma}_{\text{гг}}}{\partial \text{r}} + \dfrac{1}{\text{r}} \cdot \dfrac{\partial \overline{\sigma}_{\text{гф}}}{\partial \varphi} + \dfrac{\overline{\sigma}_{\text{гг}} - \overline{\sigma}_{\varphi\varphi}}{\text{r}} = 0 \\ \dfrac{\partial \overline{\sigma}_{\text{гх}}}{\partial \text{r}} + \dfrac{\partial \overline{\sigma}_{\text{хх}}}{\partial \text{z}} + \dfrac{\overline{\sigma}_{\text{хг}}}{\text{r}} = 0 \end{cases} . \tag{18}$$

Если положить:

$$\begin{cases} \text{u}_{\text{r}} = -\dfrac{1+\nu}{E} \dfrac{\partial^2 \Phi}{\partial r \partial z} \\ u_x = \dfrac{1+\nu}{E} \left[(1-2\nu)\Delta\Phi + \dfrac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \dfrac{1}{r} \dfrac{\partial \Phi}{\partial r} \right] \end{cases} . \tag{19}$$

То формулы (16) примут вид:

$$\begin{cases} \overline{\sigma}_{\text{гг}} = \dfrac{\partial}{\partial z} \left(\nu\Delta\Phi - \dfrac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} \right) \\ \overline{\sigma}_{\varphi\varphi} = \dfrac{\partial}{\partial z} \left(\nu\Delta\Phi - \dfrac{1}{r} \cdot \dfrac{\partial \Phi}{\partial r} \right) \\ \overline{\sigma}_{\text{хх}} = \dfrac{\partial}{\partial z} \left((2-\nu)\Delta\Phi - \dfrac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right) \\ \overline{\sigma}_{\text{гх}} = \dfrac{\partial}{\partial r} \left((1-\nu)\Delta\Phi - \dfrac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right) \end{cases} . \tag{20}$$

$\Delta = \dfrac{\partial^2}{\partial \text{r}^2} + \dfrac{1}{r} \dfrac{\partial}{\partial r} + \dfrac{\partial^2}{\partial \text{x}^2}$ – оператор Лапласа Φ(r, x) – функция напряжений.

Функции (20) тождественно удовлетворяют первому уравнению (18), а второе уравнение принимает вид:

$$\Delta\Delta\Phi = \left(\frac{\partial^2}{\partial \text{r}^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \text{r}^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right) = 0 . \tag{21}$$

Когда функция Φ зависит только от r уравнение (21) имеет вид:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial \text{r}^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \text{r}^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right) = 0 .$$

Которое допускает решение [2]:

$$\Phi = \text{A} \ln \text{r} + \text{B} \text{r}^2 \ln r + C r^2 + D .$$

где A, B, C, D, постоянные интегрирования.

Исходя из этого, решение (21) ищем методом вариации постоянной в следующем виде:

$$\Phi = \text{A}(\text{x}) \ln \text{r} + \text{B}(\text{x}) \text{r}^2 \ln r + C(x) r^2 + D(x) . \tag{22}$$

Определяя из (22) производные и подставляя в (21) имеем:

$$\begin{aligned} \Delta\Delta\Phi = \Delta\Phi_1 = \left(8\text{B}'' + A^{1\nu} \right) \ln r + B^{1\nu} r^2 \ln r + 8B'' + \\ + 8C'' + C^{1\nu} r^2 + D^{1\nu} = 0 \end{aligned} , \tag{23}$$

где введено обозначение $\Phi_1 = \Delta\Phi$.

Уравнение (23) удовлетворяется при выполнении условий:

$$\begin{cases} 8B^{»} + A^{\iota V} = 0 \\ 8B^{»} + 8C^{»} + D^{\iota V} = 0 \\ B^{\iota V} = 0 \\ C^{\iota V} = 0. \end{cases} \quad (24)$$

Докажем, что эти условия действительно удовлетворяются. Из физических соображений понятно, что компоненты напряжений не должны зависеть от x. Тогда из (20):

$$\sigma_{\text{гг}} - \sigma_{\varphi\varphi} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial \Phi}{\partial r} - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \text{r}^2}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left(2A\frac{1}{r^2} - 2B\right).$$

Следовательно, $2A\frac{1}{r^2} - 2B$ должно быть линейной функцией от x, т.е.:

$$\text{A} = a_1 x + a_0;\ \text{B} = b_1 x + b_0 \Rightarrow \text{A}'' = \text{B}'' = 0. \quad (25)$$

Тогда удовлетворяются первое и третье условия (24) и

$$\Delta\Phi = 4\text{Blnr} + 4\text{B} + 4\text{C} + C^{"} r^2 + D^{"}. \quad (26)$$

Для рассматриваемой задачи $\sigma_{\text{rz}} = 0$. С учетом (26) в третьем уравнении (20) имеем:

$$\sigma_{\text{rz}} = 4(1-\nu)B\frac{1}{r} - 2\nu C^{"} r = 0 \Rightarrow \text{B} = 0;\ \text{C}'' = 0. \quad (27)$$

Тогда и четвертое уравнение (24) удовлетворяется тождественно, а из второго уравнения следует, что должно удовлетворятся $D^{1\nu} = 0$. С учетом (25) и (27) имеем:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial r} = A\frac{1}{r} + 2Cr;\quad \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \text{r}^2} = -A\frac{1}{r^2} + 2C;\quad \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = D^{"};\ \Delta\Phi = 4C + D^{"};\quad \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r \partial x} = A^{'}\frac{1}{r} + 2rC^{'}. \quad (28)$$

Подставляя (28) в (20) для компонентов напряжений имеем:

$$\begin{cases} \overline{\sigma}_{\text{гг}} = A^{'}\frac{1}{r^2} + 2(2\nu - 1)C^{'} + \nu D^{III} \\ \overline{\sigma}_{\varphi\varphi} = -A^{'}\frac{1}{r^2} + 2(2\nu - 1)C^{'} + \nu D^{III} \\ \overline{\sigma}_{\text{xx}} = 4(2-\nu)C^{'} + (1-\nu)D^{III} \qquad \overline{\sigma}_{rx} = 0, \end{cases} \quad (29)$$

где

$$\begin{cases} A = a_1 x + a_0;\quad \text{A}^{'} = a_1 \\ C = c_1 x + c_0;\quad \text{C}^{'} = c_1 \\ D = d_3 x^3 + d_2 x^2 + d_1 x + d_0;\quad D^{III} = 6d_3. \end{cases} \quad (30)$$

С учетом (30) из (29):

$$\begin{cases} \overline{\sigma}_{\text{гг}} = \frac{\text{a}_1}{r^2} + 2(2\nu - 1)c_1 + 6\nu d_3 \\ \overline{\sigma}_{\varphi\varphi} = -\frac{\text{a}_1}{r^2} + 2(2\nu - 1)c_1 + 6\nu d_3 \\ \overline{\sigma}_{xx} = 4(2-\nu)c_1 + (1-\nu)6\nu d_3 \end{cases}. \quad (31)$$

Из (19):

$$\begin{cases} \overline{\text{u}}_{\text{r}} = -\frac{1+\nu}{\text{E}}\left(\text{a}_1\frac{1}{\text{r}} + 2\text{c}_1\text{r}\right) \\ \overline{\text{u}}_{\text{x}} = \frac{1+\nu}{E}\left[8(1-\nu)c_1 + (1-2\nu)6d_3\right]\cdot z + \frac{1+\nu}{E}\left[8(1-\nu)c_0 + (1-2\nu)2d_2\right]. \end{cases} \quad (32)$$

При $x = 0,\ \bar{u}_x = 0$ следовательно:

$$\frac{1+\nu}{E}\left[8(1-\nu)c_1+(1-2\nu)2d_2\right]=0 \tag{33}$$

и

$$\bar{u}_x=\frac{1+\nu}{E}\left[8(1-\nu)c_1+(1-2\nu)6d_3\right]\cdot x. \tag{34}$$

Цилиндр сжимается силой F так, чтобы, расширяясь закрывает зазор между цилиндром в жестким внешним цилиндром, при этом и на внешней и на внутренней поверхностях резинового цилиндра выполняются условия:

$$\sigma_{rr}(r_2)=0;\quad \sigma_{xx}=-\frac{F}{\pi\left(r_2^2-r_1^2\right)}=-P;\quad \sigma_{rr}(r_1)=0. \tag{35}$$

Из условий (35) получаем:

$$\begin{cases}\dfrac{a_1}{r_1^2}+2(2\nu-1)c_1+6\nu d_3=P_1\\ \dfrac{a_1}{r_2^2}+2(2\nu-1)c_1+6\nu d_3=0\\ 4(2-\nu)c_1+(1-\nu)6\nu d_3=-P\end{cases}, \tag{36}$$

где P_1 – неизвестное давление на внутренней поверхности резинового цилиндра, которое можно выразит через E и геометрические размеры следующим образом. Формулы (14) являются решениями задачи Ламе, с другой стороны, известно, что:

$$\sigma_{rr}=\frac{r_1^2r_2^2(p_2-p_1)}{r_2^2-r_1^2}\cdot\frac{1}{r^2}+\frac{r_1^2p_1-r_2^2p_2}{r_2^2-r_1^2}.$$

Из (36):

$$\left.\begin{aligned}a_1&=\frac{r_1^2r_2^2P_1}{r_2^2-r_1^2}\\ c_1&=-\frac{(1-\nu)\left[\dfrac{r_1^2P_1}{r_2^2-r_1^2}-\dfrac{(2\nu-1)P_1}{2(2-\nu)}\right]}{4\left[\dfrac{(2\nu-1)(1-\nu)}{2-\nu}-1\right](2-\nu)}-\frac{P}{4(2-\nu)}\\ 6\nu d_3&=\frac{\dfrac{r_1^2P_1}{r_2^2-r_1^2}-\dfrac{(2\nu-1)P}{2(2-\nu)}}{\dfrac{(2\nu-1)(1-\nu)}{2-\nu}-1}\end{aligned}\right\}. \tag{37}$$

Если считать, что v << 0,5 из (37) получаем:

$$\left.\begin{aligned}a_1&=\frac{r_1^2r_2^2P_1}{r_2^2-r_1^2}\\ c_1&=-\frac{r_1^2P_1}{12\left(r_2^2-r_1^2\right)}-\frac{P}{\sigma}\\ d_3&=-\frac{r_1^2P_1}{3\left(r_2^2-r_1^2\right)}\end{aligned}\right\}. \tag{38}$$

Из (17) для напряжений получаем:

$$\begin{cases}\sigma_{rr}=\sigma_{rr}^0+\bar{\sigma}_{rr};\quad \sigma_{\varphi\varphi}=\sigma_{\varphi\varphi}^0+\bar{\sigma}_{\varphi\varphi};\\ \bar{\sigma}_{xx}=\dfrac{-F}{\pi\left(r_2^2-r_1^2\right)}=-P\end{cases}.$$

Если обозначим зазор между жестким внешним цилиндром и деформируемым цилиндром через $\bar{\delta}$, то из (32) и (37) при $r = r_2$, $\bar{u}_r = \bar{\delta}$ и

$$P = \frac{7r_1^2}{2\left(r_2^2 - r_1^2\right)}P_1 + 2E\frac{\bar{\delta}}{r_2}. \quad (39)$$

Учитывая, что $P = F/\pi(r_2^2 - r_1^2)$ из (39) имеем:

$$F = \frac{7}{2}\pi r_1^2 P_1 + \frac{2E\pi\left(r_2^2 - r_1^2\right)\bar{\delta}}{r_2}. \quad (40)$$

В (39) и (40):

$$\bar{\delta} = \delta - u_2(r_2), \quad (41)$$

где δ – зазор между недеформированным цилиндром и внешним жестким цилиндром. $u_2(r_2)$ определяется из (11). С учетом (13) из (11) для $u_2(r_2)$ получаем:

$$u_2(r_2) = \frac{r_1}{r_2}(r_0 - r_1). \quad (42)$$

С учетом (42), (41) имеет вид:

$$\bar{\delta} = \delta - \frac{r_1}{r_2}(r_0 - r_1). \quad (43)$$

Представляя (43) в (40) для сжимающей силы F получаем:

$$F = \frac{7}{2}\pi r_1^2 P_1 + \frac{2E\pi\left(r_2^2 - r_1^2\right)}{r_2}\left[\delta - \frac{r_1}{r_2}(r_0 - r_1)\right]. \quad (44)$$

При выполении условия (44) зазор δ закрывается в тот момент, когда на внутренней поверхности цилиндра давление равняется нулю. Это означает, что износ при трении практический будет равняться нулю. Таким образом при выполнении условия (44) и герметичност обеспечивается и износ при трении будет минимальным.

Литература

1. Амензаде Ю.А. Теория упругости. – М. : Издательство «Высшая школа», 1976. – 287 с.
2. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М. : Наука, 1971. – Изд. 4-е. – 576 с.
3. Гулгазли А.С., Алиев А.М. Модель количественной оценки износа при трении. Оборудования, Технология, Металлы. – Баку : Издательство АГУНП, 2019. – № 2. – С. 25–35.

References

1. Amenzade Y.A. The theory of elasticity. – M. : «Higher School» Publishing House, 1976. – 287 p.
2. Kamke E. A Handbook of Ordinary Differential Equations. – M. : Nauka, 1971. – Published in the 4th century. – 576 p.
3. Gulgazli A.S., Aliyev A.M. The model for quantitative estimation of friction wear. Equipment, Technology, Metals. – Baku : AGUNP Publishing House, 2019. – № 2. – P. 25–35.

УДК 622.276.7

МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ВОДОПРИТОКА НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЕ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

●●●●●●

METHODS FOR IDENTIFYING AND LIMITING WATER FLOW IN HORIZONTAL WELLS AFTER MULTISTAGE HYDRAULIC FRACTURING (MSHF)

Демидова Полина Игоревна
магистр кафедры
бурение нефтяных и газовых скважин,
Самарский государственный
технический университет
demidovapolina7@gmail.com

Мозговой Георгий Сергеевич
старший преподаватель кафедры
бурение нефтяных и газовых скважин,
Самарский государственный
технический университет
gsmozgovoi@mail.ru

Demidova Polina Igorevna
Master of the Department
Drilling of oil and gas wells,
Samara state technical university
demidovapolina7@gmail.com

Mozgovoy Georgiy Sergeevich
Senior Lecturer of the Department
Drilling of oil and gas wells,
Samara state technical university
gsmozgovoi@mail.ru

Аннотация. В данной статье будет кратко описана акутальность проблемы – поступление воды в продукцию скважины. Так же, рассказано о трассерном методе идентификации притока в скважину. В материалах статьи будет кратко описан метод ограничения водопритока в горизонтальную скважину после проведения многостадийного гидроразрыва пласта.

Ключевые слова: водоприток, многостадийный гидроразрыв пласта (МГРП), трассерный метод, хромато-десорбционная система (ХДС), композитный материал.

Annotation. The relevance of the problem in this article will be briefly described, namely: the flow of water into the production stream. Also, it is told about the tracer method for identifying the inflow to the well. The method of the method water shutoff to a horizontal well after multi-stage hydraulic fracturing will be briefly described in this article.

Keywords: water flow, multistage hydraulic fracturing (MSHF), tracer method, chromato-desorption system, composite material.

Настоящее время славиться добычей трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) нефти. Для интенсификации добываемой продукции проводят многостадийный гидроразрыв пласта.

Помимо всех существующих достоинств, у данного метода существуют и недостатки. Первый – это невозможность определить точную траекторию распространяющейся трещины. Как следствие, возможно ее распространение до водоносного горизонта. Следующая проблема – это образование водяного конуса в первой третьи горизонтального участка скважины. Вследствие этих недостатков, возникает проблема – обводнена продукция скважины (рис. 1).

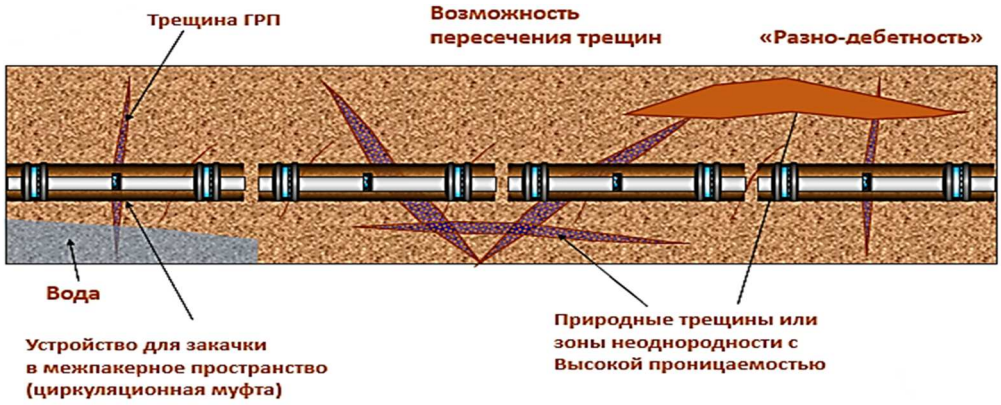


Рисунок 1 – Недостатка МГРП

Для решения проблемы водопритока рекомендуется метод его изоляции. Но для определения интервала водопритока, необходимо проведение дополнительных исследований. На мой взгляд, в

данном случае, наиболее эффективно применение трассерного метода идентификации притока в скважину. Он характеризуется выносом из скважины вместе с продукцией специальных маркирующих веществ. Они образуются при омывании потоком пластовой воды так называемых хромато-десорбционных систем (ХДС), которые расположены вдоль горизонтального участка скважины. Данная система имеет имеют уникальную пару нефте- и водорастворимых индикаторов для каждого интервала МГРП.

Данную систему еще на стадии заканчивания скважины интегрируют в оснастку скважины, то есть заканчивание скважины производят специальным оборудованием. Затем, на дневной поверхности производят отбор проб продукции согласно программе отбора проб, которая определяется исходя из параметров работы скважины и геолого-физических условий. Следующий этап – физико-химический анализ исследуемых проб, математическая обработка полученных результатов. Завершающий этап – компьютерное моделирование профиля притока в скважину (рис. 2).

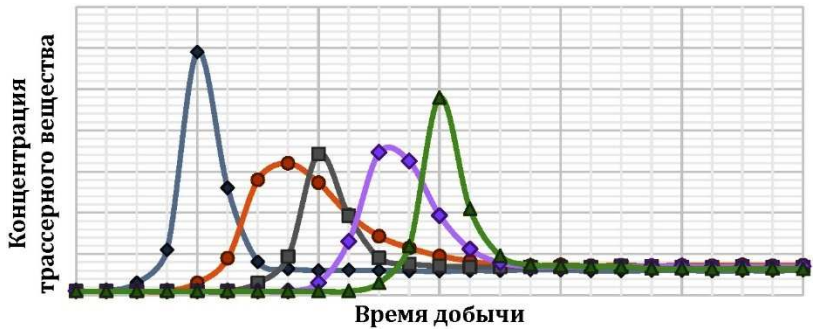


Рисунок 2 – Выделение трассера

Данные хромато-десорбционные системы состоят из углеродных наноматериалов и насыщенны различными индикаторами. Данные индикаторы обладают способностью к испусканию (десорбции) загруженных аналитов. Так как загрузка аналитов и скорости десорбции не велики, необходимо применение достаточно точного оборудования, а для интерпретации полученных результатов в численное значение притока, необходимо применение математической модели.

Даная технология обеспечивает максимально точное определение водопровляющего интервала. Затем, переходят к следующей стадии – ограничение водопритока, создание надежного водоупорного барьера. Для этого рекомендуется цементирование проявляющего интервала, что возможно с помощью двух вариантов.

Первый вариант – установка пробки мостовой (ПМ) ниже интервала, а ретейнера – выше, и через него производить цементирование (рис. 3). После ожидания ОЗЦ пробка мостовая и ретейнер разбуриваются.

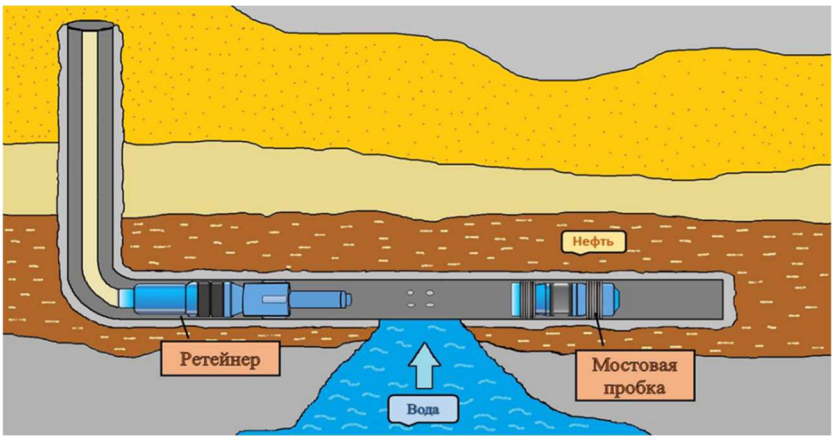


Рисунок 3 – Цементирование проявляющего интервала

Второй вариант – спуск в скважину пробку мостовую извлекаемую (ПМИ). Цементирование проводят с помощью селективного пакера. Затем его приподнимают, производят продавку тампонажного материала и промывку, во избежание аварий.

Для осуществления цементирования возможно применение полимерного композитного материала. Его функция – это оттеснение фронта обводнения скважины и создание надежного водоупорного барьера.

Далее ознакомимся с основными свойствами этого реагента. Применения его возможно при низких, нормальных и умеренных температурах. Плотность равна 1550 кг/м³, а значение вязкости 23,5 сП что характеризует его как облегченный и маловязкий. Для регулирования свойств композитного материала возможно применение ускорителя и замедлителя для регулирования времени гелеобразования в зависимости от температурного режима интервала проведения работ. Полимерный реагент обладает мелкодисперсной структурой, что обуславливает его высокую проникающую способность. Значения прочностных характеристик композитного материала на изгиб и на сжатие превышают значения показателей ПТЦ-I-G-CC.

Таким образом, предлагаемая технология обеспечит максимально эффективные ремонтно-изоляционные работы. Это обеспечено тем, что применение трассерного метода точно укажет проявляющий интервал, а применение описываемого композитного материала обеспечит создание надежный водоупорный барьер в условиях скважины.

Литература

1. Конев Д.А. Исследование нефтяных пластов с помощью индикаторного метода // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 7. – Ч. 2. – С. 23–26.

2. Аниканов А.С., Кемерова П.А., Сергеев В.Л. Адаптивная идентификация и интерпретация результатов нестационарных гидродинамических исследований с учетом притока продукции в скважине // Извести Томского политехнического университета. Инжиниринг ресурсов. – 2011. – № 5 – С. 43–46.

3. Чикиров Р.Р., Тополева А.В. Эффективность примененения горизонтальных скважин с МГРП : Инновационные технологии в науке нового времемни // сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 142–145.

References

1. Konev D.A. The study of oil reservoirs using the indicator method // Modern high technology. – 2014. – № 7. – Part 2. – P. 23–26.

2. Anikanov A.S., Kemerova P.A., Sergeev V.L. Adaptive identification and interpretation of the results of nonstationary hydrodynamic studies, taking into account the influx of products in the well // Izvestia, Tomsk Polytechnic University. Resource Engineering. – 2011. – № 5 – P. 43–46.

3. Chikirov R.R., Topoleva A.V. The effectiveness of horizontal wells with multi-stage fracturing : Innovative technologies in modern science // collection of articles based on the results of the International scientific-practical conference. – 2017. – P. 142–145.

УДК 539.3

БАЛОЧНАЯ МОДЕЛЬ РОТОРНО-УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

●●●●●●

BEAM MODEL OF THE ROTOR-CONTROLLED SYSTEM WITH AN ELECTRIC MOTOR

Деркач Николай Дмитриевич
кандидат технических наук,
генеральный конструктор,
ЗАО «НГТ»
nikolaiderkach@gmail.com

Перельман Олег Михайлович
Лауреат премии Правительства РФ
за успехи в осуществлении
научных разработок
и успешное внедрение их
в нефтедобывающей промышленности,
генеральный директор,
ООО «Новобур»
perelman@novobur.com

Пестренин Валерий Михайлович
кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры экспериментальной
и вычислительной механики,
Пермского государственного
национального исследовательского университета
Pestreninvm@mail.ru

Пестренина Ирина Владимировна
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры экспериментальной
и вычислительной механики,
Пермского государственного
национального исследовательского университета
IPestrenina@gmail.com

Коротаев Алексей Юрьевич
инженер-конструктор,
ООО «Новобур»
korotaev.au@novobur.com

Ландик Лидия Владимировна
инженер кафедры экспериментальной
и вычислительной механики,
Пермского государственного
национального исследовательского университета
LidiaLandik@gmail.com

Мингараев Владимир Геннадьевич
ведущий инженер-конструктор,
ООО «Новобур»
mingaraev.vg@novobur.com

Фадейкин Александр Сергеевич
заместитель главного конструктора,
ООО «Новобур»
fadeikin.as@novobur.com

Derkach Nikolay Dmitrievich
Candidate of Technical Sciences,
chief designer JSC NGT
nikolaiderkach@gmail.com

Perelman Oleg Mikhailovich
Laureate of the RF Government Prize
for progress in implementation
scientific developments and their successful
implementation in the oil industry,
General director,
Novobur LLC
perelman@novobur.com

Pestrenin Valery Mikhailovich
Candidate of Physical
and Mathematical Sciences,
Associate Professor,
Assistant Professor of the department
of experimental and computational mechanics,
Perm state national research university
Pestreninvm@mail.ru

Pestrenina Irina Vladimirovna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Assistant Professor of the department
of experimental and computational mechanics,
Perm state national research university
IPestrenina@gmail.com

Korotayev Alexey Yurievich
Design engineer,
Novobur LLC
korotaev.au@novobur.com

Landik Lidia Vladimirovna
Department engineers Experimental
and computational mechanics,
Perm state national research university
LidiaLandik@gmail.com

Minharaev Vladimir Gennadyevich
Chief design engineer,
Novobur LLC
mingaraev.vg@novobur.com

Fadeykin Alexander Sergeyevich
Deputy Chief Designer,
Novobur LLC
fadeikin.as@novobur.com

Аннотация. Для оценки прочности элементов конструкции компоновки низа бурильной колонны роторно-управляемой системы с электроприводом (КНБК РУС с ЭП) предлагается балочная модель. Такая модель позволяет изучить напряженно деформированное состояние (НДС) конструктивных элементов в условиях сборки, статического и динамического нагружения. При этом динамические напряжения обусловлены изгибными, крутильными и продольными колебаниями КНБК РУС с ЭП, вызванными инерционными нагрузками вращающихся элементов, взаимодействием с забоем, утяжеленными бурильными трубами и пр. Комплексное НДС (НДС от всех воздействий на КНБК РУС с ЭП) определяется с использованием принципа суперпозиций. Оценка прочности балочных элементов осуществляется по критерию IV теории прочности. Каждый этап исследования иллюстрируется примерами.

Ключевые слова: компоновка низа бурильной колонны, расчет на прочность, механические колебания, балочные элементы.

Annotation. To assess the strength of the structural elements of the bottom of the drill string rotor-controlled system with electric drive (BHA RUS with EP) we offer a beam model. Such model allows studying the stress-strain state (VAT) of structural elements under conditions of assembly, static and dynamic loading. Thus dynamic stresses are caused by bending, torsional and longitudinal oscillations of BHA RUS with ES, caused by inertial loads of rotating elements, interaction with the borehole, weighted drill pipes, etc.. Complex VAT (VAT from all impacts on RUS BHA with EF) is determined using the principle of superposition. Strength assessment of beam elements is performed according to criterion IV of strength theory. Each stage of the study is illustrated with examples.

Keywords: drill string bottom layout, strength calculation, mechanical oscillations, beam elements.

Двигатели, используемые в процессе бурения скважин (турбобуры, винтовые забойные двигатели, электробуры), претерпевают значительные динамические нагрузки, вызывающие их изгибные, продольные и крутильные колебания. Такими воздействиями могут быть эксцентриситеты вращающихся частей, механическое взаимодействие со стенками скважины и колонной бурильных труб, удары долота о забой, заклинивание вращающегося долота в забое, пульсация бурового раствора и т.п. Изучением динамических явлений, сопутствующих эксплуатации забойных двигателей, занимаются многие авторы. При этом компоновка низа бурильной колонны (КНБК) обычно представляется стержнем кусочно-постоянного сечения [1–3]. Такая модель КНБК приемлема при изучении собственных частот колебаний бурильной колонны [1], а также в задачах управления направленным бурением [4, 5]. В случае, когда целью исследования является оценка прочности конструктивных элементов КНБК, ее модель должна отражать взаимодействие между этими элементами, что становится возможным, если такие элементы включены в расчетную схему явным образом. Представление КНБК в виде структурных элементов (УБТ, ротор, статор, опоры взаимодействия между ними, редуктор, шпиндель, долото и др.), по-видимому, впервые рассматривалось в работе [6] при изучении изгибных колебаний турбобура и винтового забойного двигателя. В цитируемой работе, а также в публикации [7] изгибные колебания КНБК изучаются методом динамических податливостей. С развитием численных методов и программного обеспечения, реализующего эти методы, появляется возможность комплексного изучения динамики КНБК. В работах [8–10] предложены балочные модели современных забойных двигателей. Такие модели позволяют изучать стационарное состояние КНБК и различные виды колебаний (крутильных, продольных, изгибных), а также их взаимное влияние, оценить влияние динамических явлений на прочность конструктивных элементов КНБК.

В настоящее время развитие бурильного инструмента идет по пути создания роторно-управляемых систем (РУС) с электроприводом [11, 12, 13]. КНБК таких бурильных установок имеют конструктивные особенности, обеспечивающие управление их состоянием за счет предварительного (сборочного) нагружения упругих конструктивных элементов. В данной работе предлагается методика оценки прочности КНБК РУС с ЭП на основе балочной математической модели при сборке, а также в статическом и динамическом режимах эксплуатации.

1. Постановка задачи. Расчетная схема

Рассматривается компоновка низа бурильной колонны роторно-уравляемой системы с электроприводом (КНБК РУС с ЭП). Структурные элементы такой системы моделируются прямолинейными кусочно-однородными упругими балками. Поперечные сечения балок заданы в виде круга или кольца. Оси всех балочных элементов в недеформированном состоянии совпадают с осью КНБК РУС. Выделяются следующие элементы конструкции (рис. 1): вал – элементы 1–2; гильза – элементы 3; корпус редуктора – элемент 4; корпус – элементы 5–6. Между структурными элементами допускаются следующие взаимодействия: жесткое сцепление, проскальзывание, соединения сферическим, радиальным или радиально-осевым подшипником.

В результате сборки конструкции в рассматриваемых элементах могут создаваться осевые сборочные напряжения (растяжения/сжатия).

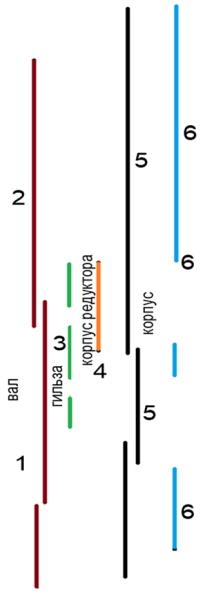


Рисунок 1 – Балочные структурные элементы модели КНБК РУС с электродвигателем

Численный анализ КНБК РУС с электродвигателем на основе балочной модели проводится методом конечных элементов (МКЭ) с использованием инженерного пакета ANSYS. Расчетная схема балочной модели конструкции строится так. КНБК РУС по всей длине (от долота до соединения с утяжеленными бурильными трубами (УБТ)) сечениями, перпендикулярными оси, разбивается на секции (количество секций и их размеры произвольны). На длине секции сечение в любом структурном элементе постоянно.

Конечно-элементная сетка (КЭ-сетка) расчетной схемы балочной модели КНБК РУС с ЭП строится посекционно. При этом внутри секции все структурные балочные элементы разбиваются на одинаковое количество одномерных конечных элементов.

Напряженно-деформированное состояние (НДС) в конструктивных элементах КНБК РУС с ЭП складывается из начального НДС, приобретенного конструкцией при сборке, НДС, вызванного статическими нагрузками, а также гармоническими нагрузками, вызывающими ее колебания (продольные, крутильные и изгибные).

Статическими нагрузками являются заданные крутящие моменты, продольные и поперечные силы. Крутящие моменты, приложенные к КНБК РУС с ЭП, порождаются электродвигателем, роторной установкой, обеспечивающей вращение колонны БТ и связанной с ней вращающейся частью корпуса, реакцией со стороны разбуриваемой породы. Крутящий момент электродвигателя М распределен по валу электродвигателя, реактивный момент прикладывается к статору двигателя, конструктивно совпадающему с корпусом КНБК РУС с ЭП. Момент М передается в редуктор, где с использованием планетарного механизма через корпус редуктора, соединенного с корпусом КНБК РУС с ЭП, преобразуется в момент $M_2 = æM$. Здесь æ – передаточное число редуктора. Момент M_2 передается на долото, где в стационарном режиме функционирования установки уравновешивается моментом сопротивления разбуриваемой породы. Крутящий момент роторной установки передается через бурильную колонну на вращающуюся часть корпуса КНБК РУС с ЭП. Продольные внешние усилия в балочных элементах КНБК РУС с ЭП обусловлены передачей осевого усилия на корпус от УБТ, силами тяжести и реакцией забоя на долоте. Внешние поперечные силы на КНБК РУС с ЭП действуют в месте соединения с УБТ, в центраторах и на долоте при взаимодействии с породой.

Учет взаимодействия КНБК РУС с ЭП с забоем, колонной бурильных труб и стенками скважины реализуется заданием граничных условий. Пример таких условий в статической задаче приводится на рисунке 2. Центраторы, удерживающие корпус в заданном положении, моделируются линейно упругими пружинами.

2. Численная реализация расчета статического состояния КНБК РУС

2.1 *Сборочные напряжения в элементах конструкции*

В КНБК РУС с ЭП технологически предусмотрено создание предварительных (начальных) усилий (растяжения или сжатия) в балочных элементах. Такие усилия обеспечивают, в частности, взаимодействие корпуса редуктора с корпусом КНБК, а также выполняют функцию управления осевыми напряжениями в балочных элементах конструкции при ее эксплуатации. В численных расчетах начальные усилия создаются посредством упругого деформирования балочных элементов при сборке конструкции. На рисунке 3 приводится пример – эпюры осевых сборочных напряжений в конструктивных элементах.

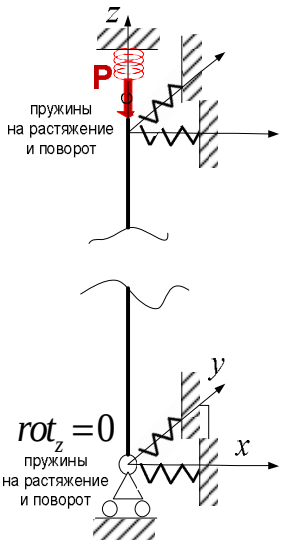


Рисунок 2 – Граничные условия

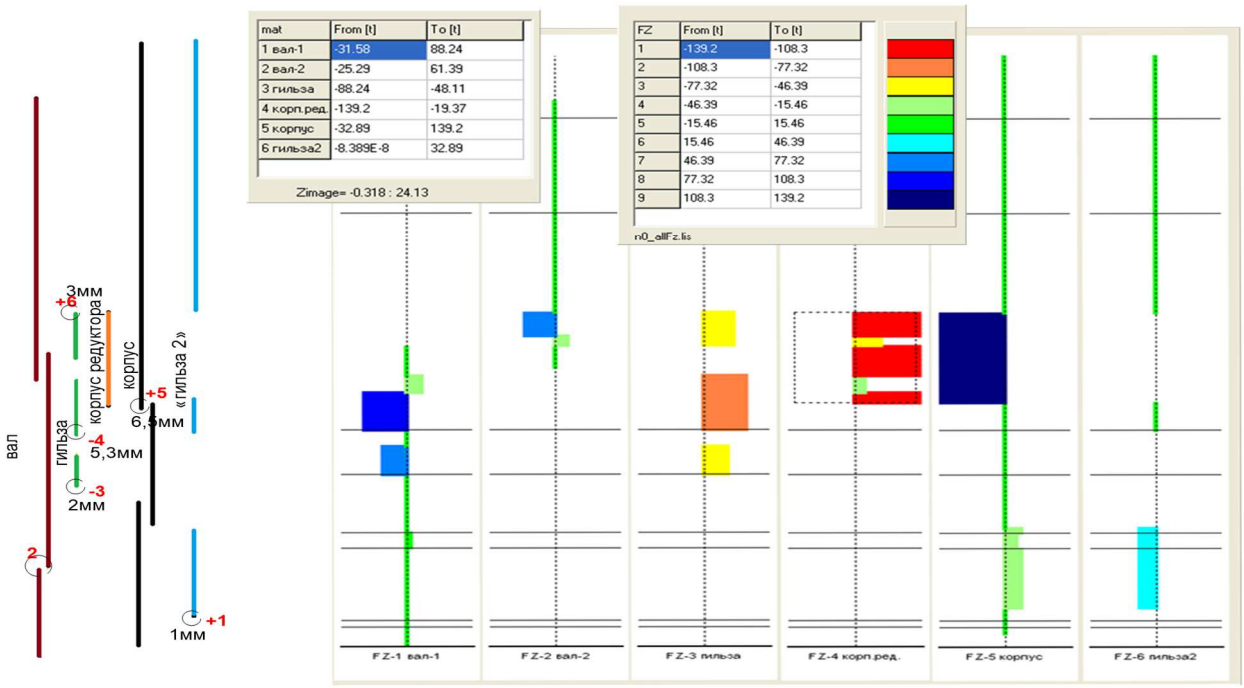


Рисунок 3 – Пример построения эпюр сборочных осевых усилий в балочных элементах

2.2 *Усилия в балочных элементах КНБК РУС с ЭП при ее осевой нагрузке*

Осевая нагрузка КНБК РУС с ЭП обусловлена ее взаимодействием с УБТ, силами тяжести и реакцией на долоте разбуриваемой породы. На рисунке 4 приводится пример расчета осевых усилий в балочных элементах КНБК РУС с ЭП (в которой реализованы сборочные напряжения) при осевой силе 25т от УБТ и распределенных силах тяжести.

2.3 *Крутящие моменты в балочных элементах КНБК РУС с ЭП*

Рассматривается моментная нагрузка в балочных элементах КНБК РУС с ЭП. Пример вычислений, приведенный на рисунке 5, соответствует случаю, когда развиваемый двигателем момент равен 950 Нм.

3. Динамические расчеты

3.1 *Собственные частоты и формы колебаний*

При расчете собственных частот и форм КНБК РУС с ЭП считается, что в балочных элементах модели реализованы сборочные напряжения. Приложены осевое внешнее воздействие (включая силы

тяжести) и момент от электродвигателя. Установлены центраторы. Граничные условия задачи на долоте (нижняя точка ведомого вала) и в верхней точке КНБК РУС с ЭП показаны на рисунке 2. Задача состоит в определении собственных частот и форм рассматриваемой механической системы. Численные значения собственных частот указывают на возможность появления нежелательных резонансных режимов в случае появления возбуждений на таких частотах при эксплуатации конструкции. Кроме того, собственные частоты и формы колебаний используются в определении реакции балочных элементов на приложенные гармонические возмущения [14–16].

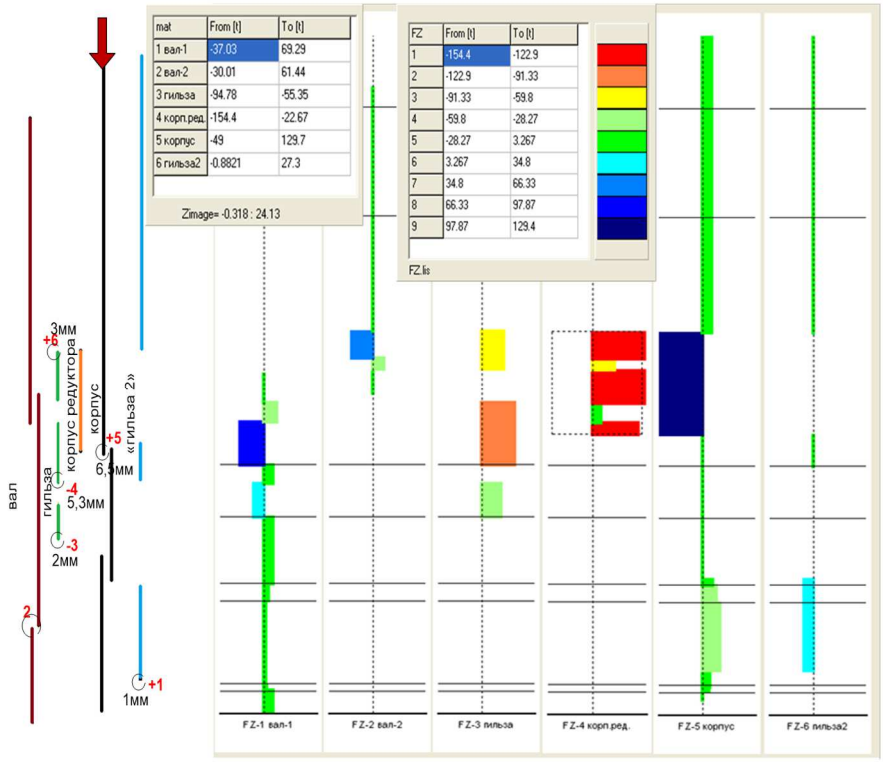


Рисунок 4 – Пример построения эпюры осевых усилий (тонны) в балочных элементах КНБК РУС

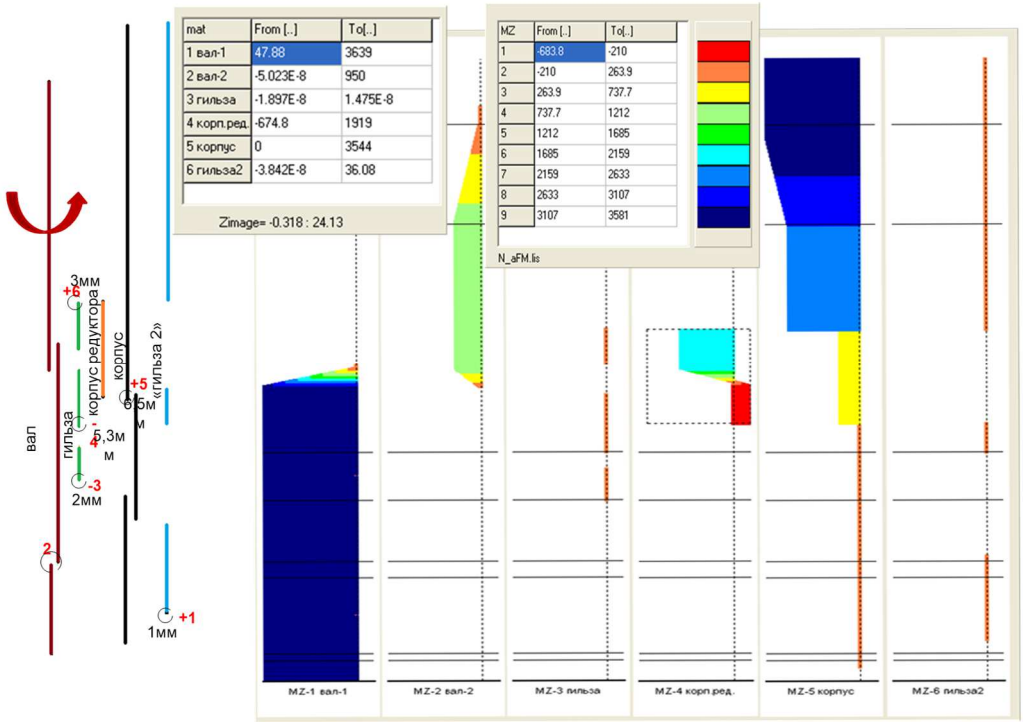


Рисунок 5 – Пример эпюры крутящих моментов (Нм) в балочных элементах КНБК РУС с ЭП

Таблица 1 – Пример вычисления частот (Гц) собственных колебаний КНБК РУС с ЭП

SET	FREQ	SET	FREQ	SET	FREQ	SET	FREQ
1	1,1818	9	14,737	17	29,258	25	42,714
2	1,1818	10	14,737	18	31,867	26	49,865
3	4,0774	11	20,454	19	32,756	27	50,244
4	4,0774	12	20,454	20	34,514	28	50,247
5	7,4574	13	27,476	21	34,514	29	59,443
6	7,4574	14	27,478	22	42,027	30	59,443
7	10,497	15	29,242	23	42,028	36	69,798
8	10,497	16	29,256	24	42,713	37	69,798

Упорядоченные по величине частоты в таблице 1 отвечают различным видам колебаний: изгибным (без окраски), крутильным (красные), изгибно-крутильным (розовый), продольным (синие). Представление о виде колебаний дает таблица 2, в которой для некоторых собственных частот указываются нормированные максимальные значения перемещений и поворотов сечений балочных элементов при их движении по собственной форме.

Таблица 2 – Собственные частоты и соответствующие им максимальные амплитуды колебаний КНБК РУС с ЭП

Частота, Гц	Эл-т	Ux	Uy	Uz	ROTx	ROTy	ROTz	Com-ment
1.18 (set 1)	1–3	**–1,35E-03**	**–1,35E-03**	2,90E-11	**4,28E-03**	**–4,28E-03**	1,47E-05	XZ+YZ
	7	**–1,36E-02**	**–1,36E-02**	1,00E-11	**–1,08E-03**	**1,08E-03**	–4,60E-06	XZ+YZ
	8–10	**1,45E-02**	**1,46E-02**	1,29E-10	**3,55E-03**	**–3,55E-03**	7,17E-07	XZ+YZ
31.87 (set 18)	1–3	–3,77E-06	3,77E-06	**1,72E-02**	3,34E-06	3,35E-06	–4,14E-09	Z
	7	–3,77E-06	3,77E-06	**1,59E-02**	5,31E-06	5,32E-06	2,20E-10	Z
	8–10	3,09E-06	–3,09E-06	**1,75E-03**	–1,44E-06	–1,45E-06	2,32E-11	Z
32.76 (set 19)	1–3	–1,13E-04	–1,13E-04	-1,14E-11	–1,80E-04	1,80E-04	**1,80E-03**	–
	7	–1,13E-04	–1,13E-04	-1,49E-12	–1,51E-04	1,50E-04	**2,83E-01**	rotZ
	8–10	–1,05E-04	–1,05E-04	-1,22E-12	–1,50E-04	1,50E-04	**3,00E-01**	rotZ

На основании данных таблицы 2 заключение о том, что первая собственная частота (1,18 Гц) является изгибной, сделано на основании отличных от нуля компонент перемещений в направлении оси Y, поворота вокруг оси X и перемещений в направлении оси X, поворота вокруг оси Y. Восемнадцатая собственная частота (31,87 Гц) является продольной, так как все балочные элементы имеют отличную от нуля компоненту перемещений вдоль оси Z. Девятнадцатая собственная частота (32,76 Гц) – крутильная, поскольку элементы корпуса 8–10 и корпуса редуктора 7 имеют не равные нулю компоненты поворота относительно оси Z.

Собственные формы изгибных колебаний балочных элементов могут быть представлены кривыми отклонения их упругих осей от первоначально прямого состояния. На рисунке 6 слева приводится первая собственная форма колебаний КНБК РУС с ЭП. Формы колебаний балочных элементов, отвечающих этой же частоте, показаны на рисунке справа эпюрами перемещений U_x в плоскости XZ. Собственные формы продольных и крутильных колебаний представляются также эпюрами перемещений и углов поворота соответственно (рис. 7–8).

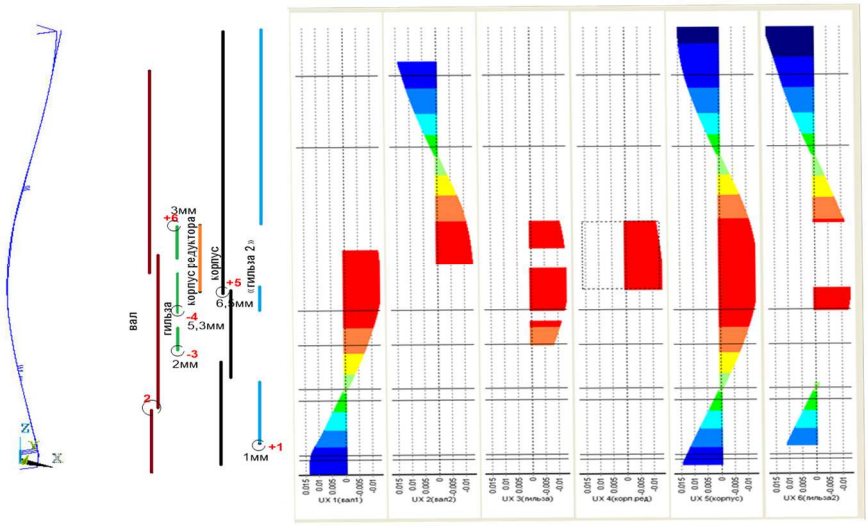


Рисунок 6 – Эпюры перемещений U_x в балочных элементах на первой частоте 1,18 Гц

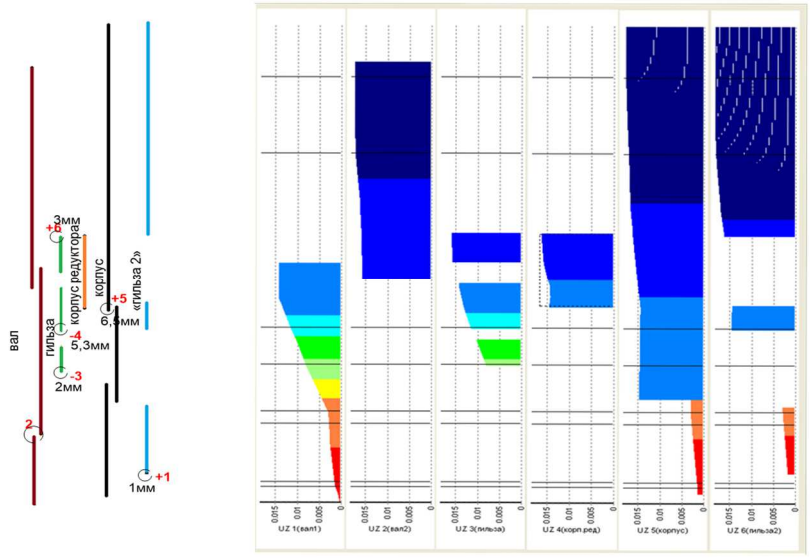


Рисунок 7 – Эпюры перемещений Uz в балочных элементах на восемнадцатой частоте 31,87 Гц

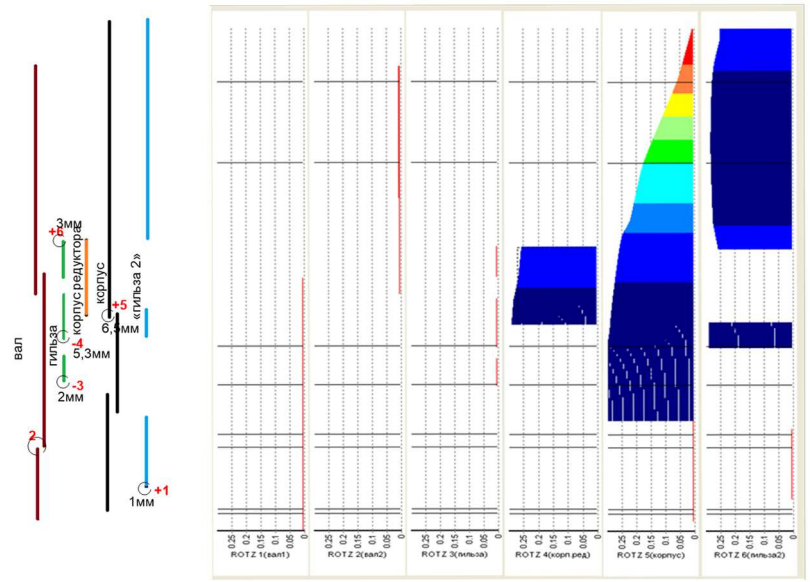


Рисунок 8 – Эпюры углов поворота ROTz в балочных элементах на девятнадцатой собственной частоте 32,76 Гц

3.2 *Гармоническое возбуждение КНБК*

Гармонический анализ позволяет найти амплитудный отклик (амплитудно-частотную характеристику) в сечении балочного элемента на заданное внешнее гармоническое возмущение в заданном диапазоне частот. При этом выявляются частоты возмущений, на которых в рассматриваемом сечении реализуются экстремальные амплитудные отклики. На таких частотах возникает значительная динамическая нагрузка в балочных элементах конструкции. Пример построения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) приведен на рисунке 9.

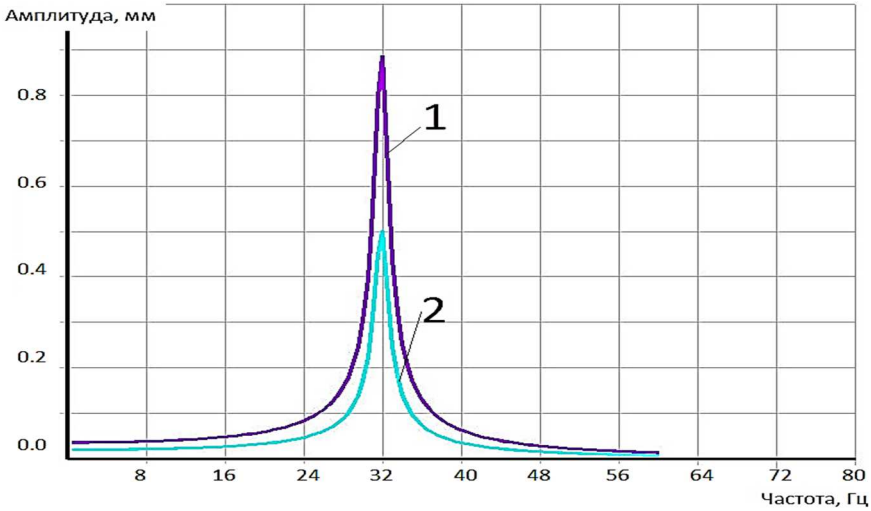


Рисунок 9 – Амплитудно-частотные характеристики продольных смещений от продольных гармонических возмущений в верхнем сечении КНБК РУС с ЭП в диапазоне частот до 80Гц в сечениях балочных элементов на расстоянии 8 м от долота:
1– корпус; 2– вал

Из рисунка видно, что в рассматриваемых сечениях повышенные продольные вибрации возникают вблизи собственной частоты продольных колебаний 31,87 Гц.

Пример построения эпюр осевых нагрузок, обусловленных гармоническим изменением осевой нагрузки от УБТ с амплитудой 20 % от стационарной на частоте возмущения 32,76 Гц приведен на рисунок 10.

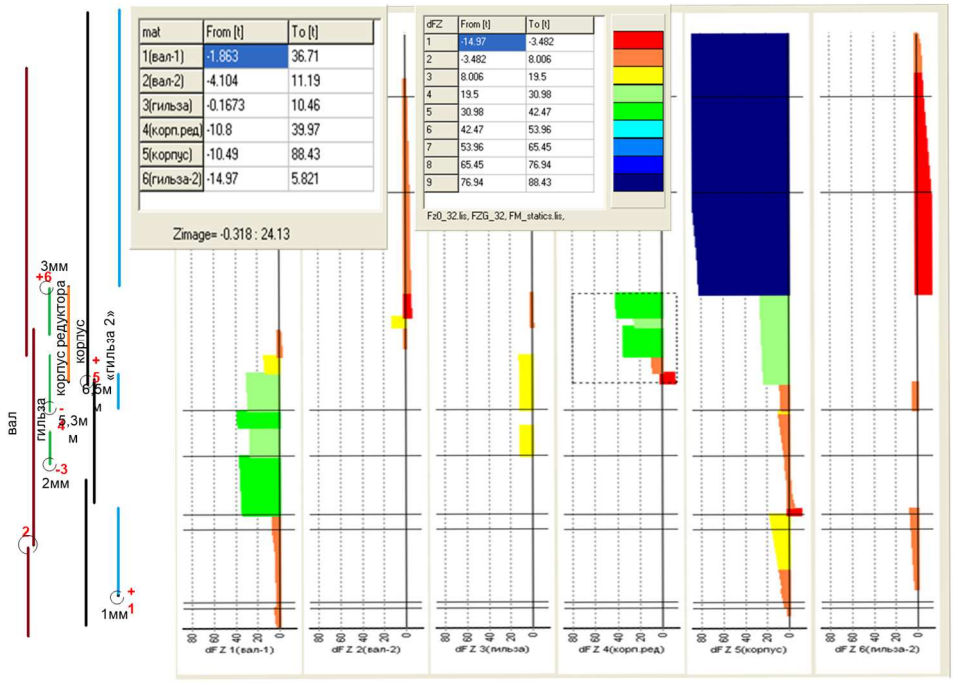


Рисунок 10 – Пример эпюры динамических осевых усилий (тонны) в балочных элементах на девятнадцатой собственной частоте 32,76 Гц гармонического возмущения осевой нагрузки с амплитудой 10 т

4. Оценка запаса прочности КНБК РУС с ЭП

Оценка прочности КНБК РУС с ЭП может быть проведена отдельно на каждом этапе расчета: для сборочных напряжений, в статическом состоянии и при динамическом нагружении. Суммарные усилия в балочных элементах, вследствие линейности задачи, получаются с использованием принципа суперпозиции. Напряжения в балочных элементах вызываются осевыми усилиями, изгибающими и крутящим моментами (напряжения, отвечающие поперечным силам, обычно оказываются малыми, и ими пренебрегаем). Указанные результирующие усилия в сечении балочного элемента порождают нормальное напряжение $\sigma_{zz} = \sigma_{11}$ и касательное τ. Характеристическое уравнение для определения главных напряжений имеет вид:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11}-\lambda & \tau & 0 \\ \tau & -\lambda & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda \end{bmatrix} = -\lambda[-\lambda(\sigma_{11}-\lambda)-\tau^2] = 0,$$

корни этого уравнения являются главными значениями тензора напряжений. Обозначим их σ_1, σ_2, σ_3 и упорядочим по убыванию $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{11}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11}}{2}\right)^2 + \tau^2}\,,\ \sigma_2 = 0\,,\ \sigma_3 = \frac{\sigma_{11}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11}}{2}\right)^2 + \tau^2}\,. \qquad (1)$$

Согласно IV теории прочности разрушение наступает при нарушении неравенства:

$$\sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2} \le \sigma_T\,,$$

которое с использованием (1) приводится к виду:

$$\sqrt{(\sigma_{11}^2+3\tau^2)} \le \sigma_T\,. \qquad (2)$$

В качестве примера на рисунке 11 в сечениях балочных элементов показываются эпюры параметра $\xi = \frac{\sqrt{(\sigma_{11}^2+3\tau^2)}}{\sigma_T}$, связанного с запасом прочности $\xi = \frac{1}{\kappa}$ для случая комплексного нагружения КНБК РУС (сборочными, статическими и динамическими нагрузками) при продольном резонансном возмущении с амплитудой 10т на частоте 32 Гц. Предельное напряжение σ_T принималось равным 900М Па.

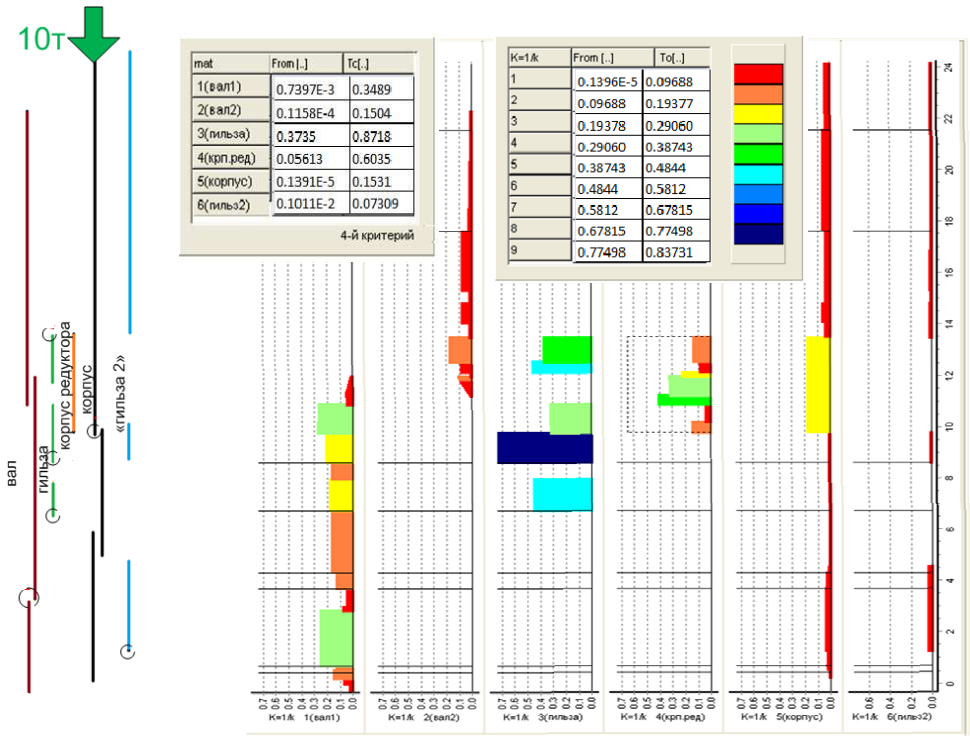


Рисунок 11 – Эпюра параметра $\xi = \frac{1}{\kappa}$ (k – запас прочности) для случая возмущения осевой гармонической силой, приложенной в верхнем сечении КНБК с ЭП на частоте 32 Гц

Из рисунка 11 видим, что слабым звеном конструкции является балочный элемент 3 (гильза, рис. 1). Причиной низкого запаса прочности этого элемента (1.15) является его большая нагруженность осевыми усилиями при сборке, предусмотренная особенностями конструкции. Предлагаемая балочная модель КНБК РУС с ЭП позволяет изучить влияние параметров рассматриваемого балочного элемента на его напряженное состояние. В таблице 3 приведена зависимость запаса прочности балочного элемента 3 (рис. 1) при изменении двух его параметров: предела прочности материала и размеров поперечного сечения – при условии неизменности реализуемого в нем осевого усилия.

Таблица 3 – Зависимость коэффициента запаса прочности k балочного элемента 5 (гильза) от его толщины и предела прочности σ_T материала

Этап	σ_T, МПа	Толщина гильзы	
		h = 5 мм	h = 6 мм
Сборка	900	1,69	2,04
	1050	1,97	2,38
Статика	900	1,56	1,71
	1050	1,82	1,99
Динамика	900	1,15	1,20
	1050	1,34	1,40

В таблице 3 в строке «Статика» приводятся запасы прочности, отвечающие суммарным значениям сборочных усилий и усилий внешней нагрузки. В строке «Динамика» запасы прочности отвечают комплексной нагрузке (сборочные напряжения, статическое внешнее нагружение и динамические нагрузки в резонансном режиме при продольном возмущении гармонической силой с амплитудой 10т на частоте 32 Гц). Приведенные в таблице данные показывают, что направленное изменение конструктивных параметров балочного элемента 3 обеспечивает повышение его запаса прочности.

Заключение

Предлагаемый подход оценки прочности КНБК РУС с ЭП на основании балочной модели позволяет изучить НДС бурового инструмента на этапах его конструирования и эксплуатации, выявить наиболее нагруженные структурные элементы и, в случае необходимости, внести обоснованные конструктивные изменения. Подход обладает достаточной универсальностью, допускает изменения, связанные с его совершенствованием, и распространение на компоновки низа бурильной колонны с другими забойными двигателями.

Литература

1. Морозов В.А., Двойников М.В. Математическая модель динамики бурильной колонны в процессе проработки скважины // Сборник трудов 71-ой Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ-2017». – 2017. – С. 250–253.

2. Морозов В.А. Обеспечение устойчивой работы винтового забойного двигателя регулированием параметров режима бурения наклонных скважин : дисс. … канд. тех. наук: 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин. – СПб., 2019. – 127 с.

3. Jansen J.D. Nonlinear dynamics of oil well drill strings // Delft University Press, Stevinweg 1, 2628 CN Delft, The Netherlands 1993. P. 241.

4. Гильманов А.Р., Бурханова Г.Ф. Аналитические исследования работоспособности КНБК в наклонно-направленной скважине // Материалы Международной научно-методической конференции. – Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2018. – С. 49–53.

5. Двойников М.В., Блинов П.А., Морозов В.А., Куншин А.А. Исследование динамики работы бурильной колонны и винтового забойного двигателя // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2016. – № 2. – С. 8–12.

6. Лебедев Н.Ф. Динамика гидравлических забойных двигателей. – М. : Недра, 1981. – 251 с.

7. Бобров М.Г. Исследования поперечных колебаний винтового забойного двигателя : Дисс. ... канд. тех. наук: 05.04.07 – Машины и агрегаты нефтяной и газовой промышленности. – М., 2000. – 171 с.

8. Деркач Н.Д., Пестренин В.М., Пестренина И.В. Балочная динамическая модель винтового забойного двигателя // Булатовские чтения : Материалы I Международной научно-практической конференции в 5 томах; сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг. – 2017. – Т. 3: Бурение нефтяных и газовых скважин. – С. 64–75.

9. Деркач Н.Д., Добрынина А.К., Пестренин В.М., Пестренина И.В. Влияние заходности ВЗД на его усталостную прочность // Булатовские чтения : материалы III Международной научно-практической конференции в 5 томах; сборник статей / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг. – 2019. – Т. 3: Бурение нефтяных и газовых скважин. Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта. – С. 54–58.

10. Деркач Н.Д., Пестренин В.М., Пестренина И.В. Влияние КНБК на динамику винтового забойного двигателя ДР-240.NGT при бурении долотами большого диаметра // Нефть. Газ. Новации. – 2017. – № 11. – С. 35–39.
11. Sukhanov A., Yang G., Thompson E., Vishniakov R., Perelman O., Fadeikin A., Derkach N. The concept of developing a new generation electric drills // Oil Gas European magazine. – 2019. – Vol. 3. – P. 121–125. – DOI: 10.19225/190904
12. Деркач Н.Д. [и др.]. Изобретению первого в мире винтового забойного многозаходного гидравлического двигателя для бурения скважин на нефть и газ – 50 лет. Что дальше? // Сборник докладов 6-й Международной научно-практической конференции «Интеллектуальное месторождение: инновационные технологии от скважины до магистральной трубы – 2018» Сочи, Краснодарский край 22–27 октября 2018 г. Краснодар 2018. – С. 125–131.
13. Деркач Н.Д., Пестренин В.М., Пестренина И.В. Электробур нового поколения // Булатовские чтения. Материалы II Международной научно-практической конференции в 7 томах. – 2018. – Т. 3. – С. 89–98.
14. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М. : «Наука», 1968. – 560 с.
15. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. – М.: «Высшая школа», 1980. – 408 с.
16. Тимошенко С.П., Гере Дж. Механика материалов. – М. : «Мир», 1976. – 670 с.

References

1. Morozov V.A., Dvoinikov M.V. Mathematical model of the drilling string dynamics in the process of well pro-development // Proceedings of the 71st International Youth Scientific Conference «Oil and Gas-2017». – 2017. – P. 250–253.
2. Morozov V.A. Provision of stable operation of screw downhole motor by regulating the parameters of inclined well drilling mode : Dissertation ... Cand. of Sciences: 25.00.15 – Technology of drilling and boreholes mastering. – SPb., 2019. – 127 p.
3. Jansen J.D. Nonlinear dynamics of oil well drilling strings // Delft University Press, Stevinweg 1, 2628 CN Delft, The Netherlands 1993. P. 241.
4. Gilmanov A.R., Burkhanova G.F. Analytical studies of BHA performance in directional well // Proceedings of International Scientific and Methodical Conference. – Ufa State Petroleum Technical University, 2018. – P. 49–53.
5. Dvoinikov M.V., Blinov P.A., Morozov V.A., Kunshin A.A. Investigation of the drilling string and downhole motor operation dynamics // Bulletin of Drilling Contractors Association. – 2016. – № 2. – P. 8–12.
6. Lebedev N.F. Dynamics of the hydraulic downhole motors. – M. : Nedra, 1981. – 251 p.
7. Bobrov M.G. Research of Cross-Section Oscillations of Screw Downhole Motors : Dissertation ... Cand. of Technical Sciences: 05.04.07 – Machines and units of oil and gas industry. – M., 2000. – 171 p.
8. Derkach N.D., Pestrenin V.M., Pestrenina I.V. Beam dynamic model of the screw downhole motor // Bulatovskie readings : Proceedings of the I International scientific-practical conference in 5 volumes; collection of articles / under general editorship of Doctor of Technical Sciences, Prof. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South. – 2017. – Vol. 3: Drilling of oil and gas wells. – P. 64–75.
9. Derkach N.D., Dobrynina A.K., Pestrenin V.M., Pestrenina I.V. Influence of VZD approach on its fatigue strength // Bulatovskie readings : materials of III International scientific-practical conference in 5 volumes; collection of articles / under general editorship of Dr. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South. – 2019. – Vol. 3: Drilling of oil and gas wells. Design, construction and operation of pipeline transport systems. – P. 54–58.
10. Derkach N.D., Pestrenin V.M., Pestrenina I.V. BHA influence on dynamics of screw downhole motor DR-240.NGT when drilling with large diameter drill bits // Oil. Gas. Innovations. – 2017. – № 11. – P. 35–39.
11. Sukhanov A., Yang G., Thompson E., Vishniakov R., Perelman O., Fadeikin A., Derkach N. The concept of developing a new generation electric drills // Oil Gas European magazine. – 2019. – Vol. 3. – P. 121–125. – DOI: 10.19225/190904
12. Derkach N.D. [et al.]. Invention of the world's first downhole multistage hydraulic screw motor for oil and gas drilling – 50 years. What's next? // Collection of reports of 6th International Scientific and Practical Conference «Intelligent Field: Innovative Technologies from Well to Trunk Pipe – 2018». Sochi, Krasnodar Region 22–27 October 2018. Krasnodar 2018. – P. 125–131.
13. Derkach N.D., Pestrenin V.M., Pestrenina I.V. Electric drill of new generation // Bulatovskie readings. Materials of the II International scientific-practical conference in 7 volumes. – 2018. – Vol. 3. – P. 89–98.
14. Babakov I.M. Oscillation theory. – M. : «Science», 1968. – 560 p.
15. Biderman V.L. Theory of Mechanical Oscillations. – M. : «Higher School», 1980. – 408 p.
16. Timoshenko S.P., Gere J. Mechanics of Materials. – M. : «The World», 1976. – 670 p.

УДК.622.276.53

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПОТОКА ПЛАСТОВОЙ ЖИДКОСТИ В КЛАПАНОМ УЗЛЕ УСТАНОВКИ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

●●●●●●

STUDY OF A MODEL FLUID FLOW IN THE VALVE ASSEMBLY OF A SUBMERSIBLE ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP

Думлер Елена Борисовна
кандидат технических наук,
ассистент кафедры машины
и оборудование нефтегазовых промыслов,
Уфимский государственный
нефтяной технический университет
dumler08@mail.ru

Зинатуллина Эльмира Якуповна
кандидат технических наук,
доцент кафедры машины
и оборудование нефтегазовых промыслов,
Уфимский государственный
нефтяной технический университет
zinatullina@perfobur.com

Вахитова Роза Ильгизовна
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электро- и теплоэнергетики,
Альметьевский государственный
нефтяной институт
roza-w@mail.ru

Аннотация. В статье проанализированы спектры потока перекачиваемой жидкости в клапанных узлах с разными геометрическими формами, пришли к выводу, что более обтекаемая форма профиля тела с плавно закругленной нижней частью и более длинной клинообразной верхней частью, позволяет максимально сглалить поток перекачиваемой жидкости. Предложена усовершенствованная конструкция обратного клапана установка электроцентробежного насоса путем изменения формы тела тарелки клапана на более обтекаемую.

Ключевые слова: нефтяная скважина, обратный клапан, коэффициент гидравлического сопротивления, УЭЦН, ANSYS.

Dumler Elena Borisovna
Candidate of Technical Sciences,
machine assistant and oil
and gas field equipment,
Ufa state oil technical university
dumler08@mail.ru

Zinatullina Elmira Yakupovna
Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor of machine science
and oil and gas field equipment,
Ufa state oil technical university
zinatullina@perfobur.com

Vakhitova Rosa Ilgizovna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Electric and Heat Power Industry,
Almetyevsk state oil institute,
roza-w@mail.ru

Annotation. The article analyzes the spectra of the pumped fluid flow in valve assemblies with different geometric shapes, concluded that a more streamlined body profile with a smoothly rounded lower part and a longer wedge-shaped upper part allows to smooth out the pumped fluid flow as much as possible. An improved design of the check valve is proposed. Installation of an electric centrifugal pump by changing the shape of the valve disc body to a more streamlined one.

Keywords: oil well, non-return valve, coefficient of hydraulic resistance, ESP, ANSYS.

Введение

Электроцентробежные погружные насосные установки (УЭЦН), появившись на нефтяных промыслах России в середине прошлого века, по сегодняшний день остаются основным наиболее распространенным оборудованием для добычи нефти. При эксплуатации скважин, оборудованных УЭЦН, одним из главных показателей, характеризующих процесс эксплуатации, является межремонтный период работы погружного насосного оборудования [1–3]. Основными видами отказов (рис. 1) насосного оборудования в добывающих скважинах являются: отказ погружного электродвигателя (ПЭД), обратных клапанов, насосно-компрессорных труб (НКТ), электроцентробежного насоса, кабельной линии.

Из структуры отказов УЭЦН по аварийным узлам нефтяного фонда рассматриваемых скважин видно, что значительная часть отказов связана с негерметичностью резьбовых соединений колонны насосно-компрессорных труб, износом узла обратного клапана, а также нарушением целостности внутренней поверхности НКТ в зоне над обратным клапаном. Это вызвано, в первую очередь, абразивным и агрессивным износом, возникающим в результате воздействия турбулентного течения потока пластовой жидкости, в составе которой находятся: мехпримеси, вода, мелкие пузырьки газа [4–7]. Особая

опасность заключается в том, что турбулентный режим течения, связанный с неоднородностью добываемой среды на выкидной линии насоса, влечет за собой повышение уровня вибрации, которая в свою очередь, значительно увеличивает число преждевременных внезапных отказов в погружном оборудовании. [8–10] В настоящее время имеются разработки клапанных узлов, что подтверждает патентная проработка [11–13]. Тем не менее, имеющиеся конструктивные исполнения клапанов не решают проблему в полной мере, так как в них турбулентный режим течения сохраняется. Решить эту проблему возможно путем снижения вихреобразования, сглаживания потока перекачиваемой среды. Для этого рекомендуется использовать в УЭЦН обратный клапанный узел с формой тела клапана более обтекаемой «каплевидной» формы.

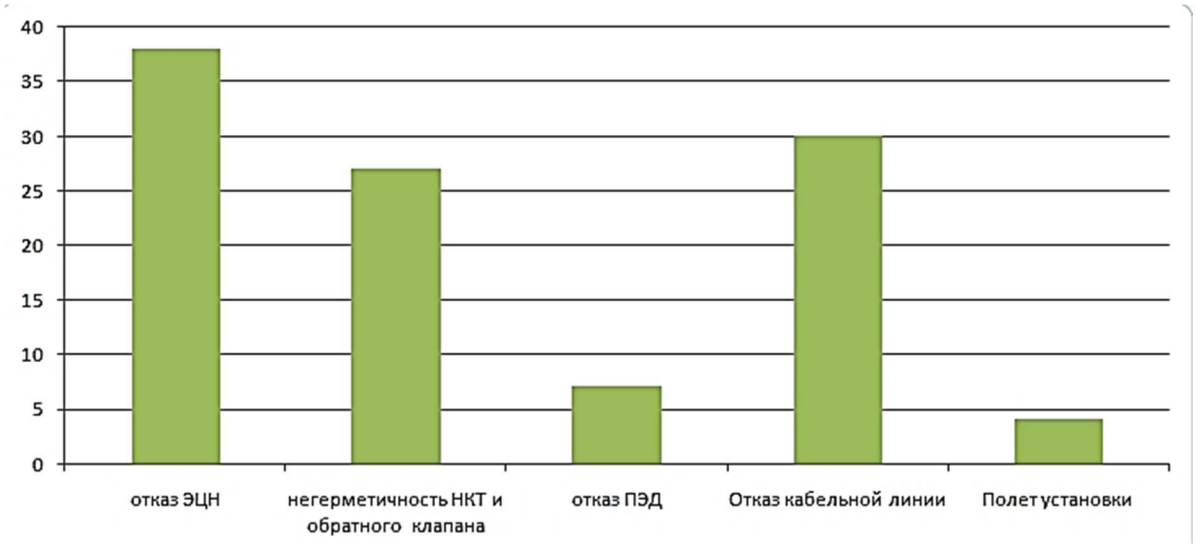


Рисунок 1 – Структура отказов УЭЦН

Исследования. Обратный клапан в УЭЦН используют для облегчения запуска погружных установок [2]. Конструктивной основой клапанного узла является клапан, состоящий из рабочей пары: посадочный элемент (тело) – седло. Важным фактором, влияющим на коэффициент гидравлического сопротивления тела, является форма его профиля. При прохождении через каналы клапанного узла перекачиваемая жидкость изменяет направление при движении, отрываясь от поверхности соприкосновения с телом клапана, что способствует образованию вихревых потоков. Проанализировав спектры потока перекачиваемой жидкости в клапанах с разными геометрическими формами (рис. 2) пришли к выводу, что при более обтекаемой каплевидной форме профиля тела (рис. 2, в), характеризующейся плавной закругленной нижней частью и более длинной клинообразной верхней частью, поток максимально сглажен.

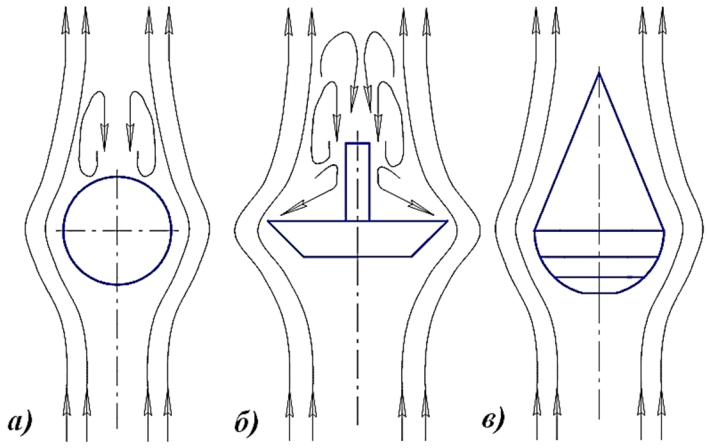


Рисунок 2 – Спектры потока в следе

Модернизированная конструкция обратного клапанного узла УЭЦН с обтекаемой формой клапана представлена на рисунке 3, а), а полученная модель усовершенствованной конструкции обратного клапанного узла насосной установки при 3D-проектировании – на рисунке 3, б).

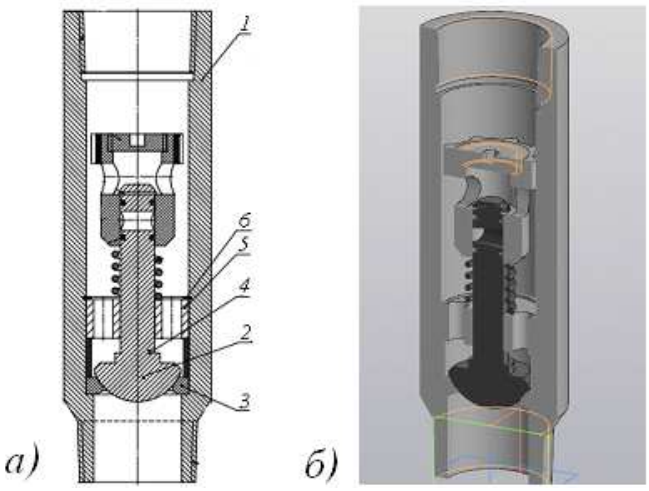


Рисунок 3 – Обратный клапанный узел с каплевидной формой тарелки:
а) клапанный узел с каплевидной формой тарелки:
1 – корпус; 2 – тарелка каплевидной формы; 3 – седло; 4 – шток;
5 – втулка направляющая; 6 – стопорное кольцо;
б) обратный клапанный узел (3D-модель)

В программе Компас 3D смоделированы клапаны с каплевидной (рис. 4) тарельчатой (рис. 4) формой тела для проведения сравнительного анализа влияния формы тела клапана на вихревые потоки перекачиваемой жидкости.

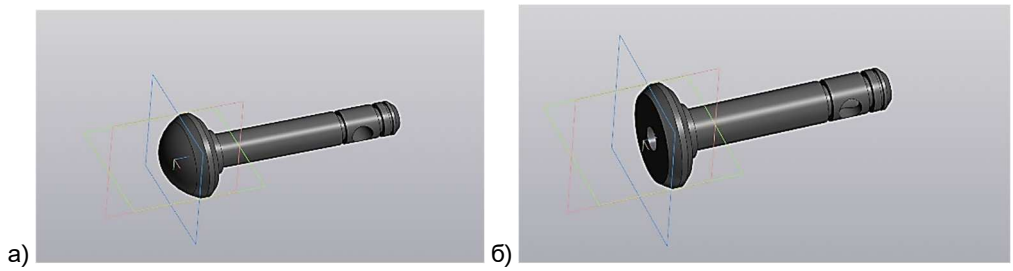


Рисунок 4 – 3D-модели клапанов с различной формой тела:
а) 3D-модель тела клапана каплевидной формы;
б) 3D-модель тела клапана тарельчатой формы

Из Компаса в ANSYS проведена интеграция 3D модели, создана модель в ANSYS, которой присвоена геометрия клапану с каплевидной формой тела. Для снижения гидравлических сопротивлений потоку среды подобраны и присвоены материалы для поршня, жидкости и произведены расчеты потока для клапанов с разными формами тела (рис. 5, 6).

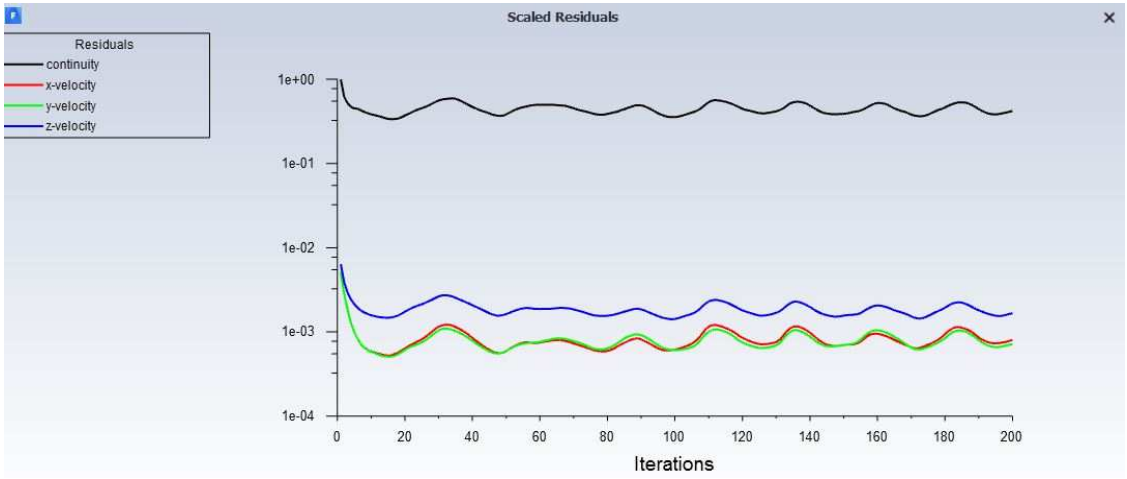


Рисунок 5 – Расчет потока для клапана с каплевидной формой тела

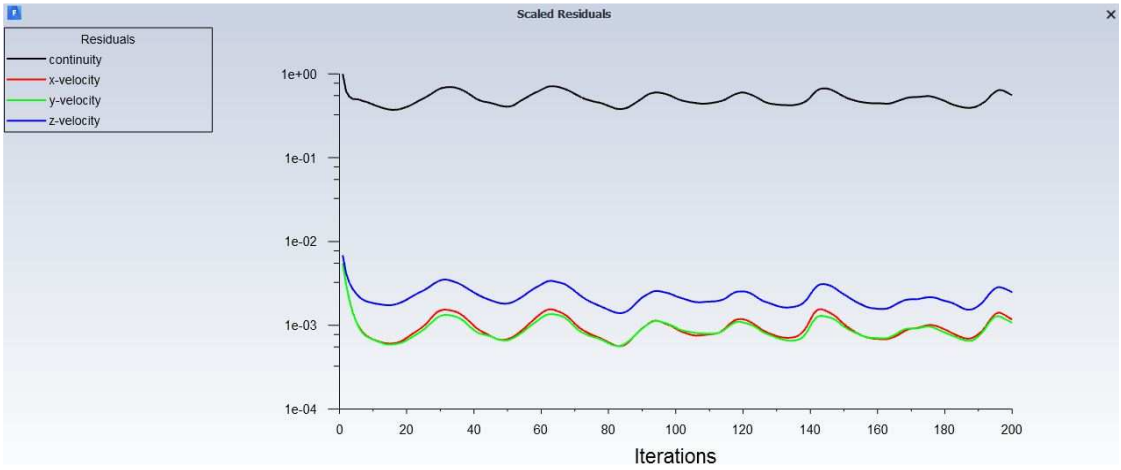


Рисунок 6 – Расчет потока для клапана с тарельчатой формой тела

Анализ потока (рис. 7, 8) позволил определить степень гидравлического сопротивления движения жидкости при различной геометрии формы тела клапана. Затем в рабочем модуле ANSYS Fluent произведено компьютерное моделирование вихревых потоков жидкости в обратном клапанном узле с различной формой тела клапана (рис. 9).

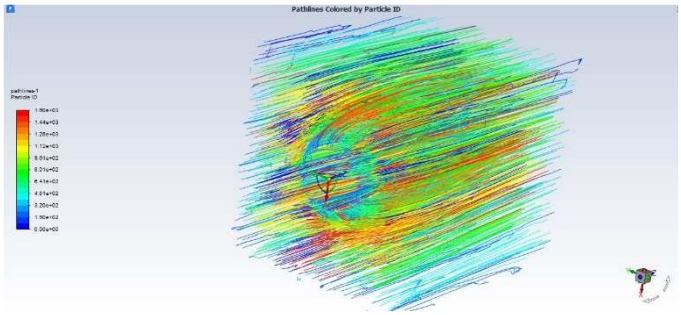


Рисунок 7 – Движение жидкости при геометрии клапана тарельчатой формы

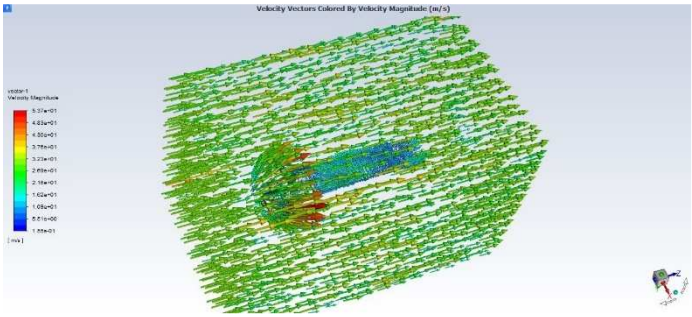


Рисунок 8 – Движение жидкости при геометрии клапана каплевидной формы

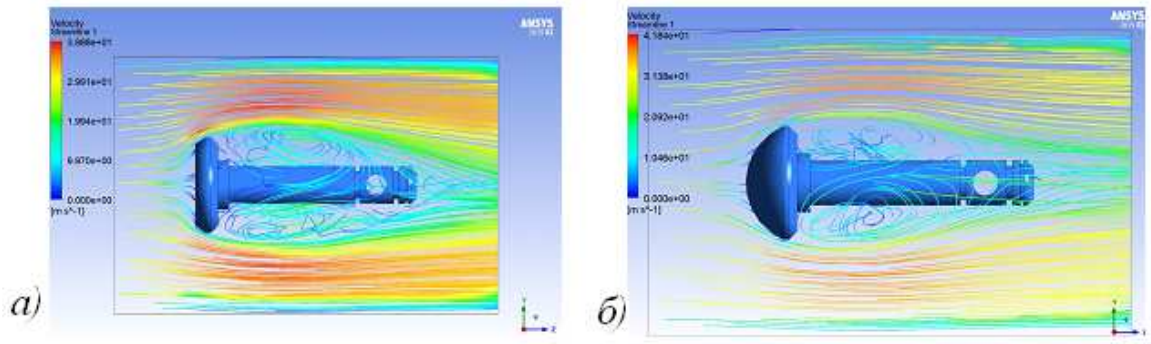


Рисунок 9 – Оценка потока вихреобразования в клапане:
а – с тарельчатой формой тела; б – с каплевидной формой тела

Результатом расчета явилась оценка потока вихреобразований. Как видно из расчетов процесс вихреобразования в клапане с каплевидной формой тела значительно меньше, а поток наиболее стабильнее.

Через каплевидную форму тела клапана поток жидкости проходит со скоростью 4,2 м/с, а через тарельчатую – 3,9 м/с.

Выводы. Сравнительный анализ процессов вихреобразования при исследуемых формах тела клапана показал, что вихреобразования в клапане с каплевидной формой тела значительно меньше и поток наиболее стабилен.

Литература

1. Вахитова Р.И. Повышение эффективности эксплуатации установок электроцентробежных насосов в наклонных и обводненных скважинах : дис. … канд. техн. наук / Уфимский государственный технический нефтяной университет. – Уфа, 2006. – 114 с.

2. Думлер Е.Б. УЭЦН: погружные установки центробежных насосов : учеб. пособие / Е.Б. Думлер, К.Р. Уразаков, Р.И. Вахитова – Альметьевск : Изд-во АГНИ, 2017. – 44 с.

3. Думлер Е.Б. Исследование пневмопружинного компенсатора колебаний давления с квазинулевой жесткостью для погружного электроцентробежного насоса : дис. … канд. техн. наук. – Уфа, 2019. – 143 с.

4. Булчаев Н.Д. Разработка и исследование технологий и технических средств для поддержания пластового давления нефтяных месторождений : дисс. … канд. техн. наук / Тюменский государственный нефтяной университет. – Тюмень, 2013.

5. Вахитова Р.И. Повышение эффективности работы погружных электроцентробежных установок при добыче нефти с высоким газосодержанием: монография / Р.И. Вахитова [и др.]. – Альметьевск : АГНИ, 2019. – 104 с. – ISBN 978-5-94454-038-6

6. Вахитова Р.И. Внутрискважинный перепуск затрубного газа в НКТ / Р.И. Вахитова, К.Р. Уразаков // Академический журнал Западной Сибири. – Тюмень, 2013. – Т. 9. – № 6 (49). – С. 29.

7. Сарачева Д.А. О повышении эффективности эксплуатации нефтяных скважин с высоким газовым фактором / Д.А. Сарачева, Р.И. Вахитова // Научно-технический журнал «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов». – Уфа : ГУП «ИПТЭР», 2015. – Вып. 2 (100). – С. 91–99.

8. Думлер Е.Б. Методы диагностики состояния УЭЦН по вибрационным параметрам : Опыт, проблемы и перспективы развития неразрушающих методов контроля и диагностики машин и агрегатов / К.Р. Уразаков, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова // сборник научных трудов международной научно-технической конференции. – Октябрьский : Изд-во УГНТУ, 2017. – С. 253–258.

9. Думлер Е.Б. Пути решения проблемы «полетов» ЭЦН в скважине / Е.Б. Думлер, В.И. Юдин, Р.М. Фатхутдинова // Ученые записки АГНИ: сборник трудов. – Альметьевск : Изд-во АГНИ, 2015. – Т. 14. – С. 62–65.

10. Уразаков К.Р. Диагностирование технического состояния электроцентробежных насосных установок по уровню их вибрации / К.Р. Уразаков [и др.] // Нефтегазовое дело: науч. журн. УГНТУ. – 2017. – Т. 15. – № 1. – С. 103–107.

11. Уразаков К.Р. Влияние вибрации на работоспособность электропогружных центробежных насосных установок / Е.Б. Думлер, К.Р. Уразаков // Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. – 2016. – Ч. 1. – С. 214–217.

12. Патент РФ 175262. Модуль – обратный клапан / Е.Б. Думлер, О.Ю. Думлер. – Опубл. 04.07.2016.

13. Патент РФ 2544930. Клапан обратный электроцентробежной установки и способ очистки фильтра на приеме насоса / М.Д. Валеев, Н.Д. Булчаев, С.М. Салимгареев, В.Я. Ведерников, В.З. Гаскаров – Опубл. 17.09.2013.

References

1. Vakhitova R.I. Increase of efficiency of electric submersible pump units operation in inclined and watered wells : discs. ... Cand. of Technical Sciences / Ufa State Technical Petroleum University. – Ufa, 2006. – 114 p.

2. Dumler E.B. ESPs: submersible centrifugal pump units : a tutorial / E.B. Dumler, K.R. Urazakov, R.I. Vakhitova – Almetyevsk : Publications at AGNI, 2017. – 44 p.

3. Dumler E.B. Investigation of a pneumatic-spring pressure oscillation compensator with quasi-zero stiffness for a submersible electric centrifugal pump : discs. ... Cand. of Technical Sciences. – Ufa, 2019. – 143 p.

4. Bulchaev N.D. Development and research of technologies and technical means for reservoir pressure maintenance at oil fields : discs. ... Cand. of Technical Sciences / Tyumen State Oil University. – Tyumen, 2013.

5. Vakhitova R.I. Increasing the efficiency of submersible electric centrifugal units in oil production with high gas content: a monograph / R.I. Vakhitova [et al.]. – Almetyevsk : AGNI, 2019. – 104 p. – ISBN 978-5-94454-038-6

6. Vakhitova R.I. Intrinsic well bypass of the annular gas in tubing string / R.I. Vakhitova, K.R. Urazakov // Academic journal of Western Siberia. – Tyumen, 2013. – Vol. 9. – № 6 (49). – P. 29.

7. Saracheva D.A. About efficiency increase of operation of oil wells with high gas factor / D.A. Saracheva, R.I. Vakhitova // Scientific and technical journal «Problems of gathering, preparation and trans-port of oil and oil products». – Ufa : State Unitary Enterprise «IPTER», 2015. – Exhibit 2 (100). – P. 91–99.

8. Dumler E.B. Diagnostics methods of ESP installations state by vibration parameters : Experience, problems and prospects of development of non-destructive methods of control and diagnostics of machines and units / K.R. Urazakov, E.B. Dumler, R.I. Vakhitova // Collection of scientific papers of the international scientific and technical conference. – Oktyabrsky : USTU Publishing House, 2017. – P. 253–258.

9. Dumler E.B. Ways of solving the problem of «flight» of the ESP in a well / E.B. Dumler, V.I. Yudin, R.M. Fatkhutdinova // Scientists' notes of AGNI: Proceedings. – Almetyevsk : AGNI Publishing House, 2015. – Vol. 14. – P. 62–65.

10. Urazakov K.R. Diagnosis of the technical state of the electric centrifugal pump units on the level of their vibration / K.R. Urazakov [et al.] // Petroleum business: scientific journal. USTU. – 2017. – Vol. 15. – № 1. – P. 103–107.

11. Urazakov K.R. Vibration influence on the serviceability of the electric submersible centrifugal pump units / E.B. Dumler, K.R. Urazakov // Materials of scientific session of Almetyevsk State Oil Institute scientists. – 2016. – Part 1. – P. 214–217.

12. Patent RF 175262. Module – non-return valve / E.B. Dumler, O.Yu. Dumler. – Publication 04.07.2016.

13. Patent RF 2544930. Electric submersible reverse valve and filter cleaning method at pump acceptance / M.D. Valeyev, N.D. Bulchaev, S.M. Salimgareev, V.Y. Vedernikov, V.Z. Gaskarov – Publication 17.09.2013.

УДК 628.9

СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВО СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ С ТЕПЛООТВОДОМ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

●●●●●●

LIGHTING PROPERTY OF LED LAMP WITH HEAT SINK BASED ON POLYMER COMPOSITE MATERIAL

Дюсембин Аян Галымович
магистрант,
Карагандинский государственный
технический университет
id.yug2016@gmail.com

Кенжебек Ақсәуле Серікбайқызы
ассистент кафедры ЭС,
Карагандинский государственный
технический университет

Dusembin Ayan Galymovich
Magistrate,
Karaganda state technical university
id.yug2016@gmail.com

Kenzhebek Aksule Serikbaikyzy
Assistant of the ES department,
Karaganda state technical university

Аннотация. В статье приведено описание сверхъярких светодиодов. Приведены результаты нескольких исследований. Анализируется эффективность применения сверхъярких светодиодов, использование полимерных композитных материалов для отвода тепла. Также в статье представлены преимущества и недостатки светодиодов различных корпусов.

Ключевые слова: светодиод, теплоотвод, температура.

Annotation. The article contains a description of super-bright LEDs. The results of several studies are presented. The effectiveness of super-bright LEDs is analyzed, as well as the use of polymer composite materials for heat removal. The article also presents the advantages and disadvantages of LEDs in different housings.

Keywords: LED, heat sink, temperature.

Светодиоды, как источники света охватывают в наше время все больше областей применения. Те свойства, которые они приобрели за последние годы, выводят их в лидеры среди других источников света. Но при всех преимуществах светодиодов и светодиодных систем освещения существует ряд вопросов, не правильное решение которых, ведет к ухудшению качества работы, как отдельных полупроводниковых источников света, так и осветительных систем на их основе. В результате иногда теряется одно из главных преимуществ этих источников света – срок службы, а также других выходных параметров.

Когда говорят о преимуществах светодиодов по сравнению с традиционными источниками света, как правило, срабатывает стереотип о ста тысячах часов, экономичности, надежности и т.п. На самом деле все гораздо сложнее. Во-первых, если речь идет о мощном полупроводниковом источнике света (полупроводниковой лампе), недостаточно просто иметь надежный и эффективный кристалл. В реальных условиях эксплуатации более 50 % ресурса лампы зависит от того, как этот кристалл скорпусирован. Пластмассовый корпус, медное теплоотводящее основание, пластиковая линза (описанная конструкция представлена на рисунке) – стандартный набор элементов светодиодных ламп большинства производителей – отнюдь не способствуют максимальному использованию ресурса кристалла.

Например, пластиковая линза для белых и синих светодиодных ламп становится причиной снижения светового потока за счет ее помутнения под влиянием излучения УФ-диапазона. Эвтектическая посадка кристалла на медное основание приводит к тому, что при низких температурах резко возрастает количество вышедших из строя приборов из-за растрескивания кристалла под действием термоудара. Пластмассовый корпус не позволяет эффективно рассеивать дополнительное тепло в окружающую среду (увеличивается тепловое сопротивление переход – окружающая среда). Во-вторых, типовая эффективность приборов многих производителей находится на уровне 20–30 лм/Вт, что значительно ограничивает области применения таких устройств. Пример устройства светодиода представлен на рисунке.

В наших исследованиях были взяты для измерения светотехнических характеристик светодиодные лампы с корпусом алюминия и полимерный композитный материал (ПКМ) на основе полиамида-6, которые были разработаны физико-техническом институте.

При исследовании светодиода с различнымикорпусами теплоотвода, необходимо все образцы исследовать по одинаковой методике, при одинаковых условиях и с максимально возможным количеством измеряемых параметров. Помимо величин, изменяющихся в зависимости от прямого тока через кристалл, поддающихся моделированию или измерению (световой поток или сила света – люмен – Амперная характеристика, ВАХ, зависимость координат цветности от прямого тока и т.д.), есть и такие, как например, срок службы, необратимая деградация и т.п., которые не могут быть достоверно установлены в зависимости от изменения вышеуказанного параметра. Значения этих характеристик возможно косвенно предположить исходя из определения степени близости условий работы кристаллов

при различных токах к условиям их работы на нормируемом производителем токе и нормируемым при этом токе срокам службы. А также, анализируя поведение спектральных и фотометрических характеристик излучения при больших токах, можно достаточно точно судить о «здоровье» кристалла, светодиода в целом и его возможном потенциале.

Рисунок 1 –Устройства светодиодной лампы

Рисунок 2 – Светодиодные лампы с корпусом ПКМ на основе полиамид-6

Необходимость данных таких исследований возникает при моделировании новых конструкций светодиодных устройств, учитывающих возможность работы кристаллов при больших плотностях тока, прогнозов ухода параметров при колебаниях температуры окружающей среды.

Было проведено исследование некоторых параметров светодиодной лампы с различными корпусами теплоотвода. Для этого были разработаны в Физико-техническом институте корпус для светодиодной лампы на основе ПКМ полиамид-6 с наполнителем графит. Для сравнения образцов с такими же параметрами были применены светодиодные лампы компании CREE. В светотехнической лаборатории ФТИ было проведено измерение силы света светодиодов при одинаковых значения тока (0,045 А) и с одинаковыми углами излучения. Все измерения проводились на комплексе оборудования компании EVERFINE (Китай).

Высокая долговечность этих источников света, стойкость к ударам и механическим нагрузкам, низкое энергопотребление, возможность гибкого управления световыми характеристиками делают их особенно привлекательными для ответственных применений на производстве, транспорте, в горнодобывающих и других отраслях промышленности, как в качестве автономных компактных источников света, так и светильников, устанавливаемых в труднодоступных местах, например, в тоннелях и намачтах городского освещения. В ряде применений такие преимущества, как взрывобезопасность и экологичность (отсутствие ртути и других тяжелых металлов) являютсярешающим аргументом в пользу полупроводникового источника света. Вообще, вомногих странах проблема утилизации люминесцентных ламп делает актуальным перевод на полупроводниковые источники света не только специального, но и уличного освещения.

Литература

1. «Прософт» формирует рынок полупроводниковой светотехники // Компоненты и технологии. – 2006. – № 7. – С. 14–16.
2. Приказчик С.П. Исследование светотехнических параметров светодиодов.

References

1. «Prosoft» is shaping the semiconductor lighting market // Components and technologies. – 2006. – № 7. – P. 14–16.
2. Prikazchik S.P. Investigation of lighting parameters of LEDs.

УДК 621.315

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРОЗИЙНОЙ АКТИВНОСТИ ГРУНТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

●●●●●●

METHODS FOR DETERMINING CORROSIVE ACTIVITY OF SOILS IN DESIGN OF POWER SUPPLY SYSTEMS

Зарубина Софья Александровна
кандидат технических наук, доцент,
Кубанский государственный
технологический университет
ZarubinaSofya@gmail.com

Целяев Никита Сергеевич
студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Кокоулин Иван Александрович
студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Бабенко Геннадий Владимирович
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры информатики
и вычислительной техники,
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. При проектировании протяженных металлических сооружений с целью их защиты от электрокоррозии блуждающим переменным током должны быть предусмотрены различные виды защит в зависимости от коррозионной активности грунта. Затраты на различные виды защит существенно отличаются, а потому точное измерение удельного сопротивления грунта имеет важное значение. Методы определения коррозионной активности почвы можно разделить на полевые, лабораторно-полевые и лабораторные. Приведенные в статье методы дают возможность определения коррозийной активности грунтов в любое время года и при любой погоде с учетом технических возможностей организации, выполняющей эти работы.

Ключевые слова: система, метод, электроснабжение, коррозионная активность, грунт, проектирование.

Zarubina Sofya Alexandrovna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Kuban state technological university
ZarubinaSofya@gmail.com

Tselyaev Nikita Sergeevich
Student,
Kuban state technological university

Kokoulin Ivan Alexandrovich
Student,
Kuban state technological university

Babenko Gennady Vladimirovich
Candidate of physical
and mathematical sciences,
Associate Professor of informatics
and computer engineering department,
Kuban state technological university

Annotation. When designing long metal structures in order to protect them from electrocorrosion by stray alternating current, various types of protection should be provided depending on the corrosive activity of the soil. The costs of various types of protection vary significantly, and therefore the accurate measurement of soil resistivity is important. Methods for determining soil corrosion activity can be divided into field, laboratory and field. The methods presented in the article make it possible to determine the corrosive activity of soils at any time of the year and at any time, taking into account the technical capabilities of the organization performing these works.

Keywords: system, method, power supply, corrosion activity, soil, design.

При проектировании систем электроснабжения промышленных объектов, систем теплоснабжения, водоснабжения и газоснабжения долгое время считалось, что наличие блуждающих токов промышленной частоты или знакопеременных токов (за исключением токов большой плотности) не требует специальных мер защиты трубопроводов и оболочек магистральных кабелей от их влияния [1]. Считалось, что опасным является влияние блуждающих постоянных токов от железных дорог, электрифицированных по системе постоянного тока, от системы электроснабжения городского трамвая, от мощных объектов цветной и черной металлургии и от ряда объектов электрохимической промышленности, использующих мощные выпрямительные установки для получения металла и продуктов электрохимии, например хлора [3].

Эксплуатация магистральных трубопроводов газоснабжения и нефтехимической промышленности, объектов коммунального хозяйства, кабельных линий электроснабжения и связи выявила, что протяжённые объекты под воздействием блуждающих токов промышленной частоты интенсивно разрушаются и требуют специальных мер защиты. Творческий коллектив ученых Московской академии

коммунального хозяйства дал обоснованную теорию воздействия переменного тока на протяженные металлические конструкции и разработал «Инструкцию по защите от коррозии подземных стальных трубопроводов, расположенных в зоне действия рельсового электротранспорта на переменном токе» [3].

Согласно инструкции [2], «Правил защиты подземных металлических сооружений от коррозии» СН266-63, «Строительных норм и правил» СНиП 42-80, СНиП 2.05.06-8, ГОСТ 16149-70 при проектировании протяженных металлических сооружений с целью их защиты от электрокоррозии блуждающим переменным током должны быть предусмотрены различные виды защит в зависимости от коррозионной активности грунта в зоне заложения протяженной металлической конструкции или металлического сооружения. Так, при удельном сопротивлении грунта не выше 60 Ом·м в зонах знакопеременного и переменного тока промышленной частоты ГОСТ 16149-70 рекомендует использовать для защиты трубопроводов и металлических сооружений поляризованные протекторы, а при удельном сопротивлении выше 60 Ом·м рекомендуется катодная защита трубопроводов.

Затраты на указанные виды защит существенно отличаются, а потому точное измерение удельного сопротивления грунта в зоне расположения протяженных конструкций и сооружений имеет важное значение.

Методы определения коррозионной активности почвы можно разделить на полевые, лабораторно-полевые и лабораторные.

Полевые – позволяют определять коррозийную активность грунтов непосредственно на трассе, путем выполнения на месте необходимых измерений и занесения результатов в протоколы. Естественно предположить, что такой подход возможен тогда и там, где есть соответствующие климатические условия. Эти методы не требуют больших затрат времени и получили наиболее широкое распространение.

Лабораторно-полевые – предполагают отбор образцов грунтов вдоль трассы трубопроводов или кабелей с обработкой образцов в передвижной лаборатории.

Лабораторные – требуют отбора почв на трассе в выбранных точках с последующим испытанием образцов в стационарных условиях.

Полевой метод определения удельного электрического сопротивления грунта чаще всего применяется в теплое время года с целью получения необходимых данных для расчета эффективной электрозащиты подземных сооружений, для выбора конструкции и расчета анодного заземления в катодной защите трубопровода или кабеля, для расчета сопротивления контуров заземления трансформаторных подстанций или других сооружений. На трассе проектируемых объектов удельное электрическое сопротивление грунта измеряют по всей длине через 100–500 м. На действующих магистральных трубопроводах и кабельных линиях измерения производят через 100–200 метров вдоль трассы на расстоянии 3–4 метра от нее.

Измерение удельного электрического сопротивления грунта рекомендуется производить с помощью симметричной четырёхэлектродной установки. Данным методом определяется кажущееся сопротивление почвы в общем слое до глубины заложения трубопровода или кабеля. Для измерения над объектом забиваем в грунт четыре электрода на одной линии. Крайние электроды называются питающими, два средних – потенциальными. Расстояние между питающими электродами должно быть больше 2h и меньше 4p, где h – глубина прокладки подземного сооружения. Наличие источника постоянного тока в виде аккумуляторной батареи на 80 В, многопредельных миллиамперметра и милливольтметра позволяет определить удельное сопротивление грунта по показаниям приборов как:

$$\rho = \frac{\Delta V \cdot 2\pi \cdot a}{I},$$

где ΔV – разность потенциалов между средними стержнями, мВ; a – расстояние между электродами, м; I – величина тока между питающими (крайними) стержнями от аккумуляторной батареи, мА.

Глубина погружения электродов в грунт обычно составляет 1/20 величины a.

Представленный метод определения удельного сопротивления грунта с помощью амперметра и вольтметра прост, но имеет тот существенный недостаток, что не позволяет получить точные результаты измерений в зонах блуждающих постоянных и переменных токов.

Полевые измерения в зонах блуждающих токов по четырехэлектродному методу с помощью измерителей заземления типа МС-08 или М-416 дают более точные результаты. Как показывает опыт, удовлетворительные результаты измерений вблизи электрифицированных железных дорог по системе переменного тока можно получить в зоне, удаленной от полотна железной дороги на расстояние 100–200 метров, при малых обратных токах в рельсовых путях или при полном отсутствии поездов на участке контактной сети электрифицированного пути. Схема измерения удельного сопротивления грунта с помощью приборов МС-08 и М-416 и подключение приборов показаны на рисунке 1.

Значение удельного электрического сопротивления р, Ом·м, находится по формуле:

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot R,$$

где R – сопротивление цепи, измеренное прибором, Ом; a – расстояние между электродами, м.

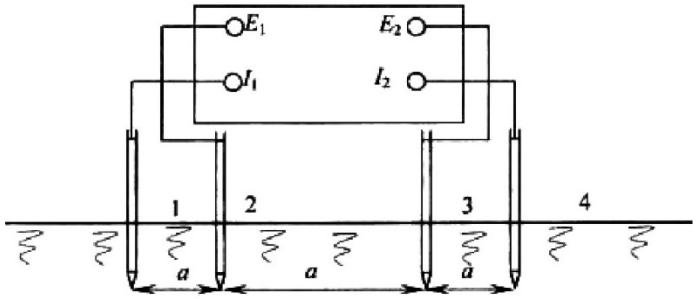


Рисунок 1 – Схема измерения удельного электрического сопротивления грунта приборами МС-08 и М-416

В вычисленное значение удельного электрического сопротивления должна быть внесена поправка, учитывающая сезонные изменения влажности и температуры. Приведенные значения коэффициентов не применимы к вечномерзлым и скалистым грунтам. Большинство территорий Восточной Сибири ранее считалось районами вечной мерзлоты, но в результате промышленного и сельскохозяйственного освоения их мерзлота отступила. Поэтому коэффициенты k_{min} и k_{min} приведенные в таблице 1, применимы практически ко всем районам Восточной Сибири. Коэффициент k_{min} характеризует коррозионную активность, а коэффициент k_{max} должен учитываться при расчете сопротивления растекания тока с анодного заземлителя, при проектировании протекторных защит протяженных конструкций, отдельных сооружений или установок.

Таблица 1 – Значение коэффициентов k_{max} и k_{min}

Месяц года	Европейская часть России и Сибири	
	k_{max}	k_{min}
Январь	1,46	0,83
Февраль	1?59	0,91
Март	1,75	1,00
Апрель	1,46	0,83
Май	1,34	0,77
Июнь	1,13	0,64
Июль	1,00	0,57
Август	1,13	0,64
Сентябрь	1,03	0,58
Октябрь	1,16	0,67
Ноябрь	1,34	0,77
Декабрь	1,30	0,74

Измеренная величина ρ при определении коррозийной активности грунта должна быть уменьшена с учетом коэффициента k_{min} или увеличена с учетом коэффициент k_{max} при определении сопротивления грунта растеканию тока в протекторной защите сооружений:

$$\rho_{min} = k_{min} \cdot \rho_{изм},$$

$$\rho_{max} = k_{max} \cdot \rho_{изм}.$$

Большинство почв зоны Восточной Сибири имеет удельное электрическое сопротивление в пределах 1–100 Ом·м. Между удельным электрическим сопротивлением почвы и опасностью коррозии в определенных границах существует прямая зависимость: чем меньше ρ, тем выше возможность коррозии.

Коррозийная активность грунтов по отношению к углеродистой стали в зависимости от их удельного сопротивления может быть классифицирована как: низкая – при ρ свыше 100 (Ом·м); средняя – при ρ свыше 20 до 100 (Ом·м); повышенная – при ρ свыше 10 до 20 (Ом·м); высокая – при ρ свыше 5 до 10 (Ом·м); весьма высокая – при ρ до 5 (Ом·м).

Лабораторно-полевой метод определения коррозионной активности грунтов в неблагоприятных погодных условиях более предпочтителен, нежели полевой. Сущность его заключается в определении изменения массы стального образца под действием протекающего постоянного тока напряжением 6 В.

Прибор для определения коррозионной активности (рис. 2) состоит из жестяной банки вместимостью 0,5–0,7 литра с диаметром 8 и высотой около 12 см. В банку насыпается подготовленная почва, в которую помещается трубка из углеродистой стали, взвешенная на технических весах с точностью до ОД г. Диаметр трубки 19 мм, длина 10 см, масса около 165 г. Трубка изолируется от банки с помощью резиновой пробки, как указано на рисунке 3.

Для отбора образцов почвы в выбранных точках роется шурф на глубину заложения трубопровода или кабеля. Из шурфа берутся три пробы грунта общей массой около 2 кг, причем 70 % грунта – со дна шурфа и по 15 % – из двух мест по разрезу шурфа. Пробы смешивают, сушат при температуре не выше 100 °С, а если почва с большим содержанием органических соединений, температура сушки должна быть не выше 70 °С. Высушенную почву измельчают, просеивают через сито с отверстиями 0,5–1 мм, насыпают и банку с установленной трубкой и увлажняют до насыщения. Вода для увлажнения – дистиллированная или кипяченая. Насыщение определяют по небольшому избытку воды на поверхности почвы.

Заполнив пространство между трубкой и банкой увлажненной почвой (на 1–2 см шире края банки), включают постоянный ток на 24 часа, путем подключения к банке отрицательного полюса, и к образцу – положительного полюса от источника постоянного тока напряжением 6 В, как показано на рисунке 3.

Через 24 часа установка разбирается, стальная трубка очищается от продуктов коррозии катодным травлением в 8 %-ном растворе гидроокиси натрия при силе тока 2–3 А, промывается дискутированной водой, сушится и взвешивается с погрешностью не более 0,1 г. По результатам измерений делается заключение о коррозионной активности почвы.

Потеря массы образца до 1 г соответствует низкой коррозийной активности почвы; потеря массы от 1 до 2 г – средняя активность; потеря в 2–3 г – повышенная активность; от 3 до 4 г – высокая активность; свыше 4 г – весьма высокая активность почвы.

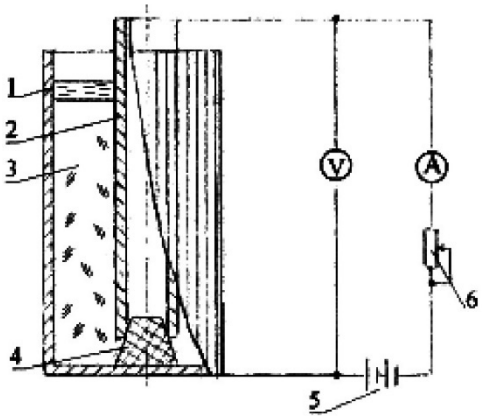


Рисунок 2 – Схема лабораторно-полевой установки для определения коррозионной активности почвы:
1 – банка; 2 – стальная трубка; 3 – почва из шурфа; 4 – пробка;
5 – источник постоянного тока; 6 – реостат для регулировки тока

Чисто лабораторный метод определения коррозионной активности грунта – это определение плотности тока, соответствующей разности потенциалов 0,5 В, в цепи между стальными пластинами в сосуде с испытуемым грунтом.

Для этого способа определения р пробы грунта отбирают так же, как и в лабораторно-полевом методе. Пробу грунта и два стальных электрода помещают в фарфоровый стакан емкостью 1 л (рис. 3).

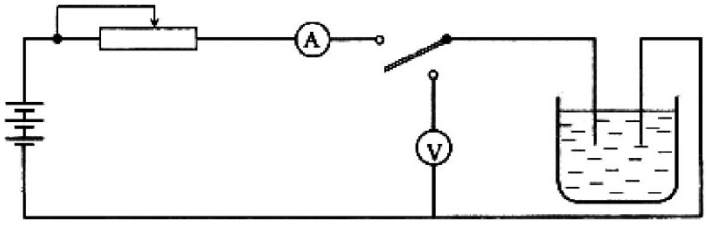


Рисунок 3 – Лабораторная установка для определения коррозионной активности грунта по поляризационным кривым

Электроды в лабораторной установке представляют стальные прямоугольные пластины 25×25 мм с припаянными проводниками. Со стороны припаянных проводников пластина изолируется по всей площади битумной мастикой.

Рабочая сторона пластины хорошо зачищается наждачной шкуркой и обезжиривается ацетоном. Электроды помещаются в сосуд с грунтом неизолированными сторонами друг к другу и подключаются к источнику постоянного тока, как указано на рисунке 3. В момент разрыва цепи при различных плотностях тока измеряется разность потенциалов между электродами. Исходя из полученных данных строится диаграмма в координатах «разность потенциалов – плотность тока», из которой определяется плотность поляризующего тока, соответствующая разности потенциалов 0,5 В [3].

Коррозионная активность грунта по отношению к углеродистой стали в зависимости от среднего значения плотности поляризующего тока (8ср) будет считаться: низкая – 5 ср в мА/см² до 0,05; средняя – 8 ср свыше 0,05 до 0,2; повышенная – 8ср свыше 0,2 до 0,3; высокая – 5 ср свыше 0,3 до 0,4; весьма высокая – 5 ср свыше 0,4.

Приведенные методы дают возможность определения коррозийной активности грунтов в любое время года и при любой погоде, но с учетом технических возможностей организации, выполняющей эти работы [3].

Литература

1. Проектирование системы электроснабжения электрических железных дорог / Б.А. Бескова, Б.Е. Геронимуса, В.Н. Давыдова [и др.] / под общ. ред. Л.М. Перцовского. – М. : Трансжелдориздат, 1963. – 471 с.

2. Инструкция по защите от коррозии подземных стальных трубопроводов, расположенных в зоне действия рельсового электротранспорта на переменном токе. – М. : Изд-во литературы по строительству, 1972.

3. Емцев А.Н. Монтаж и эксплуатация кабельных линий : учебное пособие / А.Н. Емцев, С.А. Васильева. – Братск : ГОУ ВПО «БрГУ», 2008. – 110 с.

References

1. Design of the electrical supply system for the electric railroads / B.A. Beskova, B.E. Geronimus, V.N. Davydov [et al.] / Under general ed. of L.M. Pertsovsky. – M. : Transgeldorizdat, 1963. – 471 p.

2. Instructions on corrosion protection of underground steel pipelines located in the zone of action of rail electric transport on alternating current. – M. : Literature on Construction, 1972.

3. Emtsev A.N. Installation and Operation of Cable Lines : a training manual / A.N. Emtsev, S.A. Vasilyeva. – Bratsk : GOU VPO «BrSU», 2008. – 110 p.

УДК 676.038

ТЕКСТИЛЬНЫЕ ОТХОДЫ: ПЕРЕРАБОТКА И НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

●●●●●●

TEXTILE WASTE: RECYCLING AND UNRESOLVED ISSUES

Иванова Оксана Германовна
студент
института естественных наук,
Северо-Восточный
федеральный университет

Герасимова Лариса Владимировна
заведующий лабораторией
УНЛ «Экотехнополис»,
Северо-Восточный
федеральный университет
ekotexnopolis@gmail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена изучению проблемы отходов текстильной промышленности и поиску возможных путей их сокращения.

Ключевые слова: текстильная промышленность, текстильные отходы, новые технологии, утилизация, переработка отходов.

Ivanova Oksana Germanovna
Student
of the Institute of Natural Sciences,
North-Eastern Federal University

Gerasimova Larisa Vladimirovna
Head of laboratory «Ecotechnopolis»,
North-Eastern Federal University
ekotexnopolis@gmail.ru

Annotation. This article is devoted to studying the problem of textile industry waste and finding possible ways to reduce it.

Keywords: textile industry, textile waste, new technologies, recycling, wastes recycling.

Актуальность исследования

Текстильная промышленность занимает лидирующие позиции в мировом рынке легкой промышленности. А их объемы с каждым годом увеличиваются, поэтому отходы от текстильной промышленности тоже не отстают. Без одежды и вещей текстильной промышленности мы бы не выжили в этом суровом и холодном мире, как и без света, воды и тепла. В нашем современном мире мы даже представить себе не можем, как бы мы жили без них. Благодаря работе текстильной промышленности работают и другие отрасли производства, такие как мебельная, авиационная, машиностроительная, химическая, пищевая промышленность и другие. Все промышленности тесно связаны между собой [1].

Объект исследования

Текстильные отходы.

Цель работы

Изучение проблемы отходов текстильной промышленности и пути их решения.

С самого начала своего существования текстильная промышленность являлась опасной для здоровья людей и окружающей среды, так как на производстве тканей применяются различные химические вещества и красители. Также производство текстиля является одной из основных причин загрязнения почв тяжелыми металлами. А попадая на свалку, текстильные изделия загрязняют окружающую среду тем, что при разложении выделяют токсичные вещества. Поэтому использование отходов из вторичного сырья для изготовления новых вещей защитит природную среду и сэкономит ресурсы.

Текстильные отходы можно разделить на два вида:

1. Текстильные отходы производства – это отходы технологических процессов производства: волокна, пряжи, нитки, лоскуты, обрезки тканей и швейных изделий.

2. Текстильные отходы потребления – это отходы, состоящие из бывших в употреблении изделий из текстиля: изношенная спецодежда, скатерть, покрывала, постельное белье, шторы, гардины и др., образующиеся на промышленных предприятиях, в сфере общественного питания, в медицинских учреждениях, в детских садах и т.д.

И распределить на четыре основные группы:

1 группа – волокнистые отходы производства, характеризующиеся высоким качеством, которые не выходят за стены предприятий, где они образуются, а подлежат переработке в основную или дополнительную продукцию без применения специального оборудования.

2 группа – текстильные отходы производства, которые не могут быть переработаны на тех предприятиях, где они образуются, а подлежат отправке на специальные фабрики по переработке

вторичного сырья. На этих фабриках после резки и разволокнения они перерабатываются в нетканые материалы различного назначения или в более простую по технологии изготовления продукцию в виде пакли и ваты.

3 группа – текстильные отходы производства и потребления, состоящие из разных смешанных волокон, которые из-за отсутствия щипального оборудования не могут быть разволокнены и переработаны в продукцию, а используются как обтирочный материал или просто выбрасываются на свалки.

4 группа – низкосортные отходы производства, такие как подметь и пух из пыльных камер, и отслужившие свой срок промышленные фильтры, очистка и восстановление которых экономически нецелесообразна.

Хочется отметить, что текстильные отходы в процессе своей переработки проходят несколько стадий, таких как дезинфекция, обеспыливание, сортировка, стирка, химчистка, резка, замасливание и разволокнение [2].

Из текстильных отходов изготавливают нетканые полотна, тепло- и звукоизоляционные материалы, техническую, швейную и мебельную вату, паклю, обтирочные материалы, фильтровальные ткани. В основном для рециклинга отбирают синтетические волокна, которые лучше всего для этого подходят.

Все более возрастающий спрос на ткани увеличивают объемы производства, который ставит вопрос о переработке и утилизации отходов от текстильного производства. Основным способом выхода из ситуации мы видим во внедрении безотходной технологии в производственный процесс. Необходимо внедрить новые технологии по использованию вторичных текстильных материалов, которые не подлежат дальнейшей переработке. Например, получение многослойных рулонных материалов, текстильных настенных покрытий, огне-термостойкой ткани для спецодежды пожарных, сварщиков, а из отходов шерстяного производства изготавливать нетканый материал в качестве утеплителя для садовых домиков, беседок и летних веранд.

Надо постепенно перенимать опыт у других развитых стран, которые давно используют безотходную технологию в своем производстве. Например, из низкосортных отходов хлопка (пух), которые бы в России просто выбросили бы на свалку, они изготавливают пряжу. Даже восстановленная шерсть из отходов шерстяной промышленности вторично используется в Нидерландах, в Италии, в Японии, в США и во Франции и составляет не менее 30 % от общего баланса сырья. А в Польше и Венгрии из отходов льноволокна изготавливают изоляционные панели, облицовочные плиты и материалы для полов. В Бельгии и Германии из отходов переработки льна и конопли выпускают строительные плиты, из отходов ковровой промышленности сумели изготовить плиты методом прессования [3].

Все текстильные изделия изготавливаются для удовлетворения материальных потребностей человека, они очень важны, но после их изнашивания и приведения в негодность, то будь порванная одежда или выцветшая ткань или ненужная одежда, у которой прошла мода, сразу отправляются на свалку. А ведь мы сами можем помочь сократить их количество, просто применив немного собственных усилий, терпения и труда. Из остатков тканей, кожаной одежды, шерстяных изделий можно сделать сумку или сидушки, чехлы для стульев или красивые наволочки для подушек, покрывало из лоскутков одежды на дачу, все это зависит от вашей фантазии и идей. Нам самим нужно внести свою хоть и маленькую лепту в заботе о природе, надо начать с себя, тогда бы мы все вместе смогли сделать мир и окружающую среду чуть-чуть лучше и чище. Ведь забота о природе – наше с вами будущее!

Литература

1. Утилизация и переработка отходов. – URL : https://greenologia.ru/othody/tekstil (дата обращения: 10.03.2020).

2. Текстильные отходы. – URL : http://recyclers.ru/modules/section/item.php?itemid=190 (дата обращения: 10.03.2020).

3. Герасимович Е.М. Проблемы и перспективы вторичной переработки отходов текстильной промышленности // Журнал «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук». – М. , 2016. – № 5-1. – С. 79–81.

References

1. Recycling and processing waste. – URL : https://greenologia.ru/othody/tekstil (accessed: 10.03.2020).

2. Textile waste. – URL : http://recyclers.ru/modules/section/item.php?itemid=190 (accessed: 10.03.2020).

3. Gerasimovich E.M. Problems and prospects of the secondary processing of textile industry waste // Journal «Actual problems of the humanities and natural sciences». – M., 2016. – № 5-1. – P. 79–81.

УДК 66.022.1

АППАРАТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

●●●●●●

DEVICES FOR ELECTROMAGNETIC WATER TREATMENT OF TECHNOLOGICAL CYCLES OF THERMAL POWER STATIONS

Иманов Жеңіс Жұмырұлы
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры энергетических систем,
Карагандинский государственный
технический университет
imanov-kz@mail.ru

Мехтиев Али Джаванширович
кандидат технических наук, профессор,
профессор кафедры
технологии и системы связи,
Карагандинский государственный
технический университет
Barton.kz@mail.ru, MekhtievAli@mail.ru

Искакова Асель Маратовна
магистрант специальности Теплоэнергетика
кафедры энергетических систем,
Карагандинский государственный
технический университет
asell_88_88@mail.ru

Imanov Jenis Jumyruly
Candidate of technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor
of the Department of Energy systems,
Karaganda state technical university
imanov-kz@mail.ru

Mehdiyev Ali Javanshirovich
Candidate of technical Sciences, Professor,
Professor of the Department
Technologies and communication systems,
Karaganda state technical University
Barton.kz@mail.ru, MekhtievAli@mail.ru

Iskakova Asell Maratovna
Master's degree in heat Power engineering
of the Department Energy systems,
Karaganda state technical University
asell_88_88@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена обзору и практической значимости электромагнитной обработки воды технологических процессов. Рассмотрена эффективность электромагнитной обработки воды в предотвращении или замедлении образования накипи и коррозии на теплотехнических устройствах тепловых электрических станции. Также, показано комплексное многофакторное свойство воздействие электромагнитного поля на воду.

Ключевые слова: электромагнитная обработка, омагничивание воды, тепловые электрические станций, электромагнитное поле.

Annotation. This article is devoted to the review and practical significance of electromagnetic water treatment of technological processes. The efficiency of electromagnetic water treatment in preventing or slowing down the formation of scale and corrosion on thermal devices of thermal power plants is considered. Also, the complex multi-factor property of the influence of the electromagnetic field on water is shown.

Keywords: electromagnetic treatment, water magnetization, thermal power plants, electromagnetic field.

Существуют различные способы борьбы с накипью и коррозией на теплоэнергетических установках тепловых электрических станции. Основная задача того или иного способа является – снижение жесткости (умягчение) воды, что предотвратит образование накипи и снизит потери энергии нагрева, продлит срок службы теплотехнического оборудования и увеличит межремонтный интервал. Умягчение воды (снижение накипеобразования) на станции может быть осуществлено следующими основными способами: реагентным, катионитовым, термическим, ультразвуковым, электромагнитным (магнитным) и т.д.

Одним из самых эффективных и дешевых является магнитная или электромагнитная обработка воды. Электромагнитная обработка воды как средство борьбы с накипью и коррозией получила известность еще в 1945 году [4].

Воздействие электромагнитных полей на воду в настоящее время является спорным главным образом из-за изменения состава воды или условий окружающей среды.

Многие работы российских исследователей показывают, что воздействие магнитного поля на воду имеет сложный многофакторный характер и в конечном итоге влияет на изменения структуры, изменения структуры воды, физико-химические свойства и действие растворенных в ней примесей. При воздействии магнитного поля на воду скорость химических реакций и кристаллизации растворенных веществ увеличивается, процессы адсорбции усиливаются, а коагуляция примесей с последующим осаждением улучшается [1].

Воздействие магнитных полей на воду носит сложный многофакторный характер и в конечном итоге влияет на изменения структуры воды и гидратированных ионов, на их физико-химические свойства и действие растворенных неорганических солей [2]. При воздействии магнитного поля на воду скорость химических реакций изменяется из-за образования конкурентной растворимости и осаждения растворенных солей, образования и разложения коллоидных комплексов, а последующее осаждение и кристаллизация солей улучшает электрохимическую коагуляцию [3]. Имеются достоверные данные о бактерицидном действии магнитных полей [5], что необходимо для применения магнитной обработки воды в водопроводных системах, где требуется высокий уровень микробной чистоты.

Процесс электромагнитной обработки воды включает в себя несколько процессов:

– смещение равновесия между структурными компонентами воды и гидратированных ионов в электромагнитном поле;

– увеличение центров кристаллизации солей, растворенных в воде в определенном количестве, за счет микровключений дисперсных ферро частиц;

– изменение скорости коагуляции и осаждения дисперсных частиц в потоке жидкости обрабатываемого магнитного поля.

Противонакипной эффект магнитной обработки воды зависит от состава очищаемой воды, напряженности магнитного поля, скорости воды, продолжительности пребывания в магнитном поле и других факторов. В общем, противонакипной эффект магнитной обработки воды увеличивается с увеличением температуры обрабатываемой воды; при более высоком содержании ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}; с увеличением значения pH воды: а также при уменьшении общей минерализации воды [1].

Магнитная обработка воды может быть интересной альтернативой химической обработке для предотвращения образования накипи и используется в качестве средства против накипи для бытового и промышленного оборудования, например теплотехнические оборудования тепловых электрических станции.

Еще одной особенностью аппарата является использование для обработки воды импульсного воздействия, т.е. электромагнитное поле аппарата действует не постоянно, а реализовано в виде затухающих импульсов, следующих с переменной частотой. Это позволяет существенно снизить энергопотребление прибора – до 1 Вт [4].

Таким образом, электромагнитная обработка предотвращает образование накипи, но есть еще один эффект данной обработки – удаление существующей накипи. Когда изменяются термодинамические условия (температура, давление) большинство химических реакций являются обратимыми, если только вещества, участвующие в реакции, не высвобождаются.

Эффективность установки аппарат электромагнитной обработки воды на тепловых электрических станции является:

– при установке магнитных очистителей за несколько метров до бойлеров или паровых котлов снижается количество накипи, образуемой при нагревании;

– снижается количество потребляемых реагентов при умягчении жесткой воды в системе водоснабжения станции;

– увеличивается скорость фильтрации, а также уменьшается количество и объем отстойников;

– очищаются от солей эксплуатируемые теплообменники (без использования химических реагентов) тепловых электрических станции;

– увеличивается теплоотдача от систем отопления.

Можно сказать, что магнитная обработка воды, насыщенной в соляной или газовой фазе ферромагнитными примесями, может оказывать определенное влияние на процессы образования накипи и коррозии в теплообменниках. Среди них есть такое явление, как удаление старой шкалы («растворение»), если принять во внимание следующее: накипь, которая появляется на поверхностях теплообмена, часто взрывается из-за тепловой деформации и вибрации теплообменного оборудования. Эти трещины могут быть «залечены» вновь образованной накипью или, наоборот, могут привести к удалению накипи, если уровень образования первоначальной накипи уменьшается [2].

Препятствует же широкому внедрению магнитной обработки то, что этот способ борьбы с накипью и коррозией плохо контролируется и управляется. При магнитной обработке процесс образования затравочных кристаллов весьма хрупкий и неуправляемый – кратковременное, например, изменение производительности оборудования влечет за собой смыв ферромагнитного слоя из зазора аппарата и нарушение на длительный срок его эффективности и работоспособности [2].

Электромагнитная обработка воды является одним из перспективных физических методов промышленности. Такой способ характеризуется по простоте реализации, низкому капиталу и эксплуатационные расходы, недостатком является отсутствие знание о механизме, который ограничивает его широкое внедрение. Однако, положительный опыт многочисленных исследовании, доказывающие наличие изменение кинетики осаждения взвешенных частиц в объеме воды, характер и объем отложений на теплообменные поверхности, эффективность ионообменных процессов, кинетика протекания химических реакций и др.

Эффективность магнитной обработки воды в предотвращении или замедлении образования накипи сильно зависит от химического свойства воды, напряженность и конфигурация электромагнитного поля, термодинамические свойства характеристик потока воды и жидкости.

Учитывая тенденции прогесса техники и перспективы использования во многих областях электромагнитной обработки воды, сегодня важно разработать и усовершенствовать новые технологии обработки воды для достижения высокой эффективности и улучшения производительности аппаратов электромагнитной обработки воды.

Литература

1. Мосин О.В. Аппараты магнитной обработки воды // Новости теплоснабжения. – 2012. – № 11.
2. Очков В.Ф. Магнитная обработка воды: история и современное состояние // Энергосбережение и водоподготовка. – 2006. – № 2.
3. Классен В.И. Омагничевание водных систем. – М. : Химия, 1978.
4. Мельников М.В., Корепанов М.А., Калинин А.С. Электромагнитная обработка воды для защиты от накипи // Химическая физика и мезоскопия. – 2017. – Т. 19. – № 3. – С. 389–395.
5. Соловьева Г.Р. Перспективы применения магнитной обработки воды в медицине // Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. – М., 1974. – С. 112.

References

1. Mosin O.V. Devices of magnetic treatment of water // News of heat supply. – 2012. – № 11.
2. Ochkov V.F. Magnetic water treatment: history and current state // Energy Saving and Water Treatment. – 2006. – № 2.
3. Klassen V.I. Magnetization of water systems. – M. : Chemistry, 1978.
4. Melnikov M.V., Korepanov M.A., Kalinin A.S. Electromagnetic water treatment for protection against scale // Chemical Physics and Mesoscopy. – 2017. – Vol. 19. – № 3. – P. 389–395.
5. Solovyova G.R. Prospects for the use of magnetic treatment of water in medicine // Questions of theory and practice of magnetic treatment of water and water systems. – M., 1974. – P. 112.

УДК 621.762.669.2

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ СКВАЖИННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

●●●●●●

DEVELOPMENT OF COMPOSITION MATERIALS FOR FRICTION UNITS FOR BOREHOLE PUMPING UNITS OF OIL AND GAS INDUSTRY

Калашников Игорь Евгеньевич
доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт металлургии
и материаловедения имени А.А. Байкова РАН
kalash2605@mail.ru

Михеев Роман Сергеевич
доктор технических наук, профессор,
МГТУ им. Н.Э. Баумана
mikheev.roman@mail.ru

Кобелева Любовь Ивановна
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт металлургии
и материаловедения имени А.А. Байкова РАН
likob@mail.ru

Быков Павел Андреевич
научный сотрудник,
Институт металлургии
и материаловедения имени А.А. Байкова РАН
pavel_imet@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследования поведения композиционных материалов системы АК12М2МгН-TiC и АК12М2МгН-SiC при сухом трении скольжения, и в условиях, имитирующих реальные режимы эксплуатации деталей. Проведено лабораторное сравнение триботехнических свойств и износостойкости втулок радиальных подшипников из представленных КМ для электрических центробежных насосов.

Ключевые слова: электрические центробежные насосы, композиционные материалы, алюминиевые сплавы, коэффициент трения, интенсивность изнашивания.

Kalashnikov Igor Evgenevich
Doctor of Technical Sciences,
leading researcher,
Baikov Institute of Metallurgy
and Material Science RAS
kalash2605@mail.ru

Mikheev Roman Sergeevic
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Bauman Moscow State Technical University
mikheev.roman@mail.ru

Kobeleva Lubov Ivanovna
Ph.D., leading researcher,
Baikov Institute of Metallurgy
and Material Science RAS
likob@mail.ru

Bykov Pavel Andreevich
Researcher,
Baikov Institute of Metallurgy
and Material Science RAS
pavel_imet@mail.ru

Annotation. This paper presents the results of a study of the behavior of composite materials of the AK12M2MgN-TiC and AK12M2MgN-SiC systems under dry sliding friction, and under conditions that simulate real operating modes of parts. A laboratory comparison of tribotechnical properties and wear resistance of bushings of radial bearing from the presented CM for electric centrifugal pumps was carried out.

Keywords: electric centrifugal pumps, composite materials, aluminum alloys, friction coefficient, wear rate.

Композиционные материалы (КМ) представляют значительный интерес для нефтяной промышленности в технике для добычи и транспортировки нефти и газа, а именно в рабочих парах подшипников погружных штанговых и центробежных скважинных насосных установок. Надежность работы современных электрических центробежных насосов (ЭЦН) во многом определяется надежностью и ресурсом работы радиальных подшипников. Применяемые в настоящее время для вкладышей подшипников спеченные твердые сплавы на основе карбида вольфрама обладают высокой износостойкостью, теплопроводностью, низким коэффициентом трения, но имеют высокую стоимость. Учитывая значительные объемы производства ЭЦН, остро стоит вопрос снижения стоимости комплектующих, в том числе и радиальных подшипников, путем использования менее дорогостоящих материалов, но без потери эксплуатационной надежности оборудования.

Перспективными антифрикционными материалами для изготовления вкладышей подшипников являются КМ на основе алюминиевых сплавов. Такие КМ обладают высоким пределом выносливости, хорошей задиростойкостью, достаточной прочностью и теплопроводностью, дешевизной и

технологичностью [1]. Высокопрочные армирующие частицы, входящие в состав КМ, позволяют применять сплавы алюминия для деталей, работающих в условиях полужидкого и сухого трения. Для монометаллических подшипников, используемых в транспортном и общем машиностроении, применяется алюминиевые сплавы, содержащие легирующие добавки цветных металлов (Ni, Ti и др.).

Дополнительно повысить прочность и твёрдость и, как следствие, повысить износостойкость материала можно путем введения в сплавы наполнителей различной природы [2–4]. Известно, что армирующие наполнители с резко отличной от матрицы твёрдостью не только повышают износостойкость КМ, но выполняя роль поддерживающих опор, снижают коэффициенты трения в широком диапазоне параметров нагружения.

Среди высокопрочных армирующих наполнителей, таких как карбиды, нитриды, оксиды, бориды, находит широкое применение и интерметаллидные соединения. Так, при упрочнении интерметаллидными добавками пластичных сплавов алюминия удалось повысить их износостойкость и механические свойства [5].

Как правило, армирующие интерметаллидные наполнители формируются в процессе литья из компонентов расплава и реакционноактивных легирующих добавок [6]. В этом случае повышаются физикомеханические свойства сплава, вследствие малого рассогласования кристаллических решеток сплава и интерметаллидных фаз. Химические реакции формируют в матрице равновесные армирующие фазы, термодинамически стабильные, не имеющие загрязнений на поверхности. Другим способом повышения механических и функциональных свойств матричных сплавов является их армирование предварительно синтезированными интерметаллидными соединениями, обладающими необходимым комплексом физико-механических свойств.

Проводили испытания полученных КМ на основе сплава АК12М2МгН (ГОСТ 1583-93) в качестве деталей трибоузлов ЭЦН.

Радиальные пары состояли из втулок подшипника, изготовленных из литых КМ систем Al-SiC и Al-TiC с интерметаллидным упрочнением и полиармированием в присутствии наноразмерных модификаторов и защитных втулок из твердого сплава ВК8 (82 % – WC, 8 % – Co).

Для оценки триботехнических свойств литых образцов из матричного сплава и КМ на его основе проводили испытания на трение и износ. Для оценки влияния доли наполнителя на триботехнические свойства КМ изготавливали образцы с 5 и 10 мас. % содержанием армирующих частиц SiC и TiC и модифицированных 0,25 мас. % частиц TiCN размером 30 нм.

Натурные испытания проводили в среде – имитате пластовой жидкости, в зависимости от нагрузки и состава среды при удельном радиальном давлении 0,1 МПа и скорости скольжения 5 м/с. (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры стендовых испытаний

№	Среда (имитат пластовой жидкости)	Длительность испытаний, мин
1	Раствор (30 % СОЖ + 70 % H_2O) + 10 г/л Al_2O_3 с подачей сжатого воздуха	360
2	100 % H_2O	120
3	100 % H_2O с подачей сжатого воздуха	60

Проведенные исследования показывают, что дисперсно-наполненные КМ на основе сплавов алюминия, содержащие в качестве наполнителя частицы TiC, обладают лучшими триботехническими свойствами (меньшими значениями коэффициента трения, интенсивности и коэффициента изнашивания, и большими значениями коэффициента стабильности) по сравнению с КМ, упрочненными частицами SiC.

Детали, изготовленные из разработанных КМ, обладают достаточной несущей способностью для использования этих материалов в реальных трибосопряжения, например, в качестве радиальных подшипников в электрических центробежных насосах для добычи нефти.

Литература

1. Калашников И.Е. Развитие методов армирования и модифицирования структуры алюмоматричных композиционных материалов: дисс. … доктора технических наук / Институт металлургии и материаловедения РАН. – М., 2011.

2. Панфилов А.В., Бранчуков Д.Н., Панфилов А.А., Панфилов А.А., Петрунин А.В., Чернышова Т.А., Калашников И.Е., Кобелева Л.И., Болотова Л.К. Литой композиционный материал на основе алюминиевого сплава и способ его получения : Патент на изобретение RU 2323991 C1, 10.05.2008. – Заявка № 2006133845/02 от 22.09.2006.

3. Михеев Р.С. Разработка композиционных материалов системы Al-Ti-TiC / Р.С. Михеев, И.Е. Калашников, Л.И. Кобелева, Т.А. Чернышова // Физика и химия обработки материалов. – 2009. – № 3. – С. 85–90

4. Чернышова Т.А. Получение алюмоматричных композиционных материалов с наноразмерными модификаторами методами жидкофазного совмещения / Т.А. Чернышова, И.Е. Калашников, Л.К. Болотова, Л.И. Кобелева // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – № 1. – С. 85-90.

5. Калашников И.Е. Структура литых алюмоматричных композиционных материалов, армированных интерметаллидными фазами и наноразмерными тугоплавкими порошками / И.Е. Калашников, Л.К. Болотова, Т.А. Чернышова // Цветные металлы. – 2010. – № 9. – С. 67–71.

6. Чернышова Т.А. Трибологические свойства литых алюмоматричных композитов, модифицированных нанопорошками / Т.А. Чернышова, И.Е. Калашников, Л.К. Болотова // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 2. – С. 21–26.

References

1. Kalashnikov I.E. Development of methods for reinforcing and modifying the structure of aluminum-matrix composite materials: Dissertation … doctor of technical Sciences / Institute of metallurgy and materials science of the Russian Academy of Sciences. – M., 2011.

2. Panfilov A.V., Branchukov D.N., Panfilov A.A., Panfilov A.A., Petrunin A.V., Chernyshova T.A., Kalashnikov I.E., Kobeleva L.I., Bolotova L.K. Cast composite material based on an aluminum alloy and a method for producing it : Patent for the invention RU 2323991 C1, 10.05.2008. – Application № 2006133845/02 dated 22.09.2006.

3. Mikheev R.S. Development of composite materials of the Al-Ti-TiC system / R.S. Mikheev, I.E. Kalashnikov, L.I. Kobeleva, T.A. Chernyshova // Physics and chemistry of materials processing. – 2009. – №. 3. – P. 85–90.

4. Chernyshova T.A. Getting alumomatrix composites with nanoscale modifiers in the liquid-phase methods of combining / T.A. Chernyshova, I.E. Kalashnikov, L.K. Bolotova, L.I. Kobeleva // Physics and chemistry of materials processing. – 2006. – №. 1. – P. 85–90.

5. Kalashnikov I.E., Structure for producing cast alumomatrix composite materials reinforced by intermetallic phases and nanosized refractory powders / I.E. Kalashnikov, L.K. Bolotova, T.A. Chernyshova // Non-ferrous metals. – 2010. – №. 9. – P. 67–71.

6. Chernyshova T.A. Tribological properties of cast alumo-matrix composites modified with nanopowders / T.A. Chernyshova, I.E. Kalashnikov, L.K. Bolotova // Metallurgy of mechanical engineering. – 2010. – №. 2. – P. 21–26.

УДК 622.01+546.06

КОМПЛЕКС СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

●●●●●●

COMPLEX OF COMPOSITE MATERIALS PROPERTIES USED IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Карпухин Сергей Дмитриевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана
dr.mgtu@yandex.ru

Манаев Олег Иванович
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана
mgtu-mt8@yandex.ru

Пахомова Светлана Альбертовна
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана
mgtu2013@yandex.ru

Аннотация. Проведен сравнительный анализ физико-механических характеристик и фазового состава композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов. Композиционные материалы, содержащие в качестве наполнителя дисперсные высокопрочные высокомодульные керамические частицы обладают низкими значениями коэффициента трения, а также высокой износостойкостью в широком интервале температур. Полученные результаты позволяют говорить о перспективности применения таких композитов в нефтегазовой промышленности.

Ключевые слова: композиционный материал, структура, износостойкость, коэффициент трения.

Karpukhin Sergey Dmitrievich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Material Science Department,
Bauman Moscow State Technical University
dr.mgtu@yandex.ru

Manaev Oleg Ivanovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Material Science Department,
Bauman Moscow State Technical University
mgtu-mt8@yandex.ru

Pakhomova Svetlana Albertovna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Material Science Department,
Bauman Moscow State Technical University
mgtu2013@yandex.ru

Annotation. A comparative analysis of the physical and mechanical characteristics and phase composition of composite materials based on aluminum alloys is carried out. Composite materials containing dispersed high-strength high-modulus ceramic particles as a filler have low values of the coefficient of friction, as well as high wear resistance in a wide range of temperatures. The results obtained allow us to speak about the prospects of using such composites in the oil and gas industry.

Keywords: composite material, structure, wear resistance, coefficient of friction.

Введение

В настоящее время, если взглянуть на нефтегазовое оборудование, используемое на производстве, то основным материалом изготовления выступает сталь. Из стали выполняются технические средства для ведения добычи, обслуживания при капитальном ремонте скважин, транспортировки и хранения сырья. Но у стали есть существенные недостатки: подверженность коррозии и значительный вес оборудования, что осложняет монтажные работы и приводит к их удорожанию [1, 2]. Альтернативный материал для изготовления нефтегазового оборудования – композитная технология. Преимущества использования композитов в нефтегазовой промышленности уменьшают себестоимость грузоперевозок в удаленные районы, так как материалы имеют малый вес, а прочность композитного оборудования не уступает другим видам материалов, композит также имеет высокую устойчивость большим температурным перепадам и высокую коррозионную стойкость [3].

В современной промышленности применяют композиционные материалы на основе практически всех технически важных металлических материалов. Однако наибольшее распространение получили композиты на основе алюминия и его сплавов, содержащие в качестве наполнителя дисперсные высокопрочные высокомодульные керамические частицы [4, 5].

При соответствующем выборе материала матрицы, размера, доли и типа армирующих частиц, такие композиты обладают низкими значениями коэффициента трения, а также высокой износостойкостью и задиростойкостью в широком интервале температур. Кроме того, хорошие литейные свойства, возможность пластической и механической обработки, малый вес и низкая стоимость обеспечивают перспективность и экономическую целесообразность применения таких материалов в машиностроении, особенно в подвижных сопряжениях механизмов и машин (например, в паре трения подшипник скольжения – вал).

Наиболее изученными являются композиционные материалы (КМ), армированные частицами карбида кремния. Однако исходя из теоретических предпосылок, композиты с матрицей из сплавов алюминия, армированные частицами карбида титана, могут их превзойти по комплексу свойств, так как карбид титана обладает лучшими прочностными свойствами и лучшей термодинамической совместимостью с алюминиевыми сплавами [6].

Материалы и методики

В качестве матричных материалов для изготовления дисперсно-наполненных композиционных материалов применяли алюминий А99 и литейные алюминиевые сплавы АК12 (ГОСТ 11069) и АК12М2МгН (ГОСТ 1583). Для сравнения композиционных материалов с типичными антифрикционными материалами использовали алюминиевый антифрикционный сплав АОМ20-1 (ГОСТ 14113). Химический состав алюминиевых сплавов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав матричных материалов

Марка материала	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ni	Sn	Al
А99	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	–	–	99,995
АК12	10–13	0,7	0,6	0,5	0,1	0,3	0,1	0,1	–	основа
АК12М2МгН	11–13	0,7	2,0	0,5	1,2	0,5	0,2	1,3	–	основа
АО20-1	0,5	0,5	1,2	–	–	0,25	0,2	–	23	основа

Особенностью алюминиевых сплавов является малая плотность, хорошая коррозионная стойкость, высокие тепло- и электропроводность, хорошие технологические свойства. Лучшими литейными свойствами обладают сплавы системы Al-Si. Высокая жидкотекучесть, малая усадка, отсутствие или низкая склонность к образованию горячих трещин и хорошая герметичность силуминов объясняется наличием большого количества эвтектики, а структуре этих сплавов (АК12 – классический пример). Сплав АК12М2МгН имеет более высокие прочностные характеристики по сравнению с АК12 за счет введения легирующих элементов (табл. 2) [5]. Медь и магний позволяют добиться наибольшего упрочнения силуминов в литом состоянии, а никель положительно влияет на характеристики жаропрочности и коэффициент термического расширения.

Таблица 2 – Свойства сплавов АК12 и АК12М2МгН

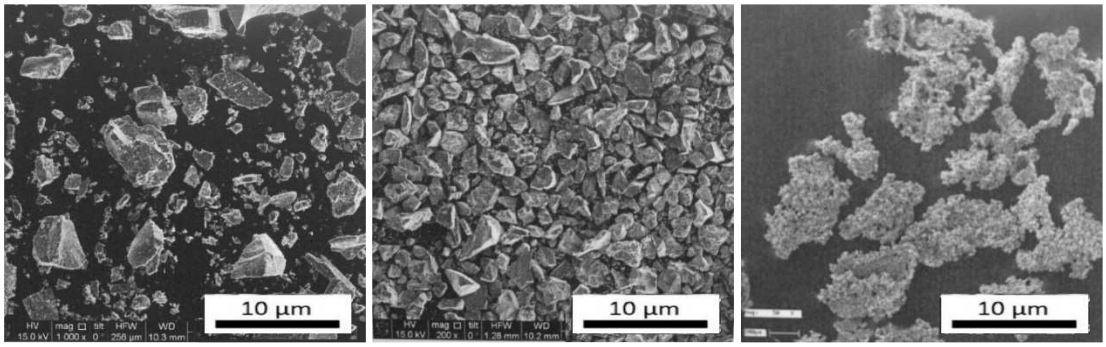
Свойства	Значение			
	А99	АК12	АК12М²МгН	АО20-1
Плотность, г/см³	2,7	2,65	2,72	3,2
Относительное удлинение, %	24	3	-	29-35
Прочность, МПа	110	170	190	120
Твердость (НВ)	15	55	90	30

В качестве наполнителей для КМ применяли частицы карбида титана TiC (рис. 1, а, б), полученного химическим гидридно-кальциевым способом (размером 10–40 и 40–100 мкм). Карбид титана является металлоподобным карбидом с большей долей металлической связи, по сравнению с карбидом кремния. Он оказывает модифицирующее влияние на литую структуру КМ, так как характеризуются меньшим несоответствием решеток, более высоким химическим сродством к матрице и более высокой теплопроводностью. В результате армирующие частицы этого типа являются активными центрами кристаллизации и зарождение дендритов α-алюминия при кристаллизации композиционного расплава происходит на поверхности частиц TiC [6, 7]. Кроме того, в отличие от карбида кремния, фаза карбида титана характеризуется лучшей термодинамической стабильностью и меньшей склонностью к химическому взаимодействию с материалом матрицы в процессах жидкофазного совмещения компонентов. Поэтому применение карбида титана в качестве армирующей фазы для дисперсно-наполненных КМ является привлекательным с целью достижения лучших свойств.

Реакционно-активным элементом служили частицы титана марки ТПП (ТУ 1794-449-05785388), размером 630–1000 мкм (рис. 1, в). КМ изготавливали по литейной технологии методом механического замешивания наполнителя в матричном расплаве. Были изготовлены образцы КМ на основе матричных материалов А99, АК12, АК12М2МгН с массой армирующих частиц 2–10 % и размером 40–1000 мкм.

Исследование структуры литых КМ проводили с использованием световых микроскопов Neofot и Leica DMILM, снабженного программным обеспечением Qwin для анализа изображений, а также растровых электронных микроскопов Leo 430i и 3D FEG, оснащенных приставками для микроанализа. На

микроскопе JSM-35 CF проводили микрорентгеноспектральный анализ состава интерметаллидных фаз и наполнителя. Твердость измеряли по Бринелю на универсальном приборе Wilson Wolpert. Триботехнические испытания материалов и подвижных сопряжений включали оценку антифрикционных, противоизносных и противозадирных свойств, этих сопряжений, их долговечности в заданных условиях, изменения их функционального поведения в процессе работы и их соответствия требованиям эксплуатации машин проводили на лабораторных установках с испытательными образцами. Испытания на сухое трение скольжения проводили на установке МТУ-01 по схеме: вращающаяся втулка по шайбе.



а) б) в)

Рисунок 1 – Порошки карбида титана размером:
5–40 мкм (а), 40–100 мкм (б) и титана размером 630–1000 мкм (в) в исходном состоянии

Результаты и их обсуждение

В процессе исследований особое внимание было уделено изучению влияния полиармирования на формирование структуры и свойств КМ. Полиармирование заключается в одновременном армировании матрицы частицами различной природы и размера. В данном случае наибольший интерес представляет введение в матричный расплав смеси из частиц TiC и реакционно-активных элементов (Ti, Ni, Fe, Zr и др.), приводящих к образованию интерметаллидных фаз непосредственно в матричном расплаве в результате химических реакций [8]. В представленной работе в качестве реакционно-активного элемента применяли титан, что позволило усилить эффект армирования за счет полиармирования как интерметаллидом Al_xTi_y, так и карбидом титана, а также реализовать в большей степени свойства композиционного материала.

Локальное увеличение температуры композиционного расплава вследствие экзотермического эффекта происходящей химической реакции создает градиент температуры в расплаве и способствует улучшению смачиваемости частиц TiC, что приводит к более прочной межфазной связи матрица-наполнитель, тем самым обеспечивая высокий уровень свойств КМ.

Применение в качестве матричного материала чистового алюминия А99 позволяет исключить влияние легирующих элементов матрицы на формирование межфазных связей между армирующими частицами и матричным расплавом и, как следствие на структуру и свойства дисперсно-наполненных композиционных материалов. Интерметаллиды системы Al-Ti в образцах, разлитых после 20-минутной выдержки расплава, имеют преимущественно форму блочных кристаллов (рис. 2). Благодаря близкому эпитаксиальному соответствию частицы алюминида титана становятся центрами кристаллизации для зерен матрицы, и как следствие, достаточно равномерно распределены в алюминиевой матрице. Образцы характеризуются наличием непрерывной диффузионной межфазной границы в системе Al-Al_3Ti.

Структура образцов из дисперсно-наполненных КМ, содержащих в качестве наполнителя частицы карбида титана (TiC), представлена на рисунке 3. Видно, что эти частицы не оттеснены растущими кристаллами α-Al в межзеренные пространства, а распределены хаотично. Это является результатом удовлетворительной смачиваемости частиц алюминиевым расплавом вследствие большей металлической составляющей химической связи в TiC. Кроме того, согласно литературным данным, взаимодействие TiC с алюминиевым расплавом приводит к образованию на межфазной границе соединений Al_4C_3, Al_3Ti, Ti_3AlC в результате химических реакций [8, 9].

Полиармированные образцы дисперсно-наполненных КМ, полученные введением порошковой смеси Ti и TiC в алюминиевую матрицу, обладают структурой, представленной на рисунке 3 и содержащей как интермедаллидные фазы Al_3Ti, так и частицы TiC. Их распределение в сплаве можно определить как случайное. Признаком незначительного межфазного взаимодействия между алюминиевой матрицей и частицами TiC в процессе жидкофазного совмещения является сохранение армирующими частицами исходной скольной огранки.

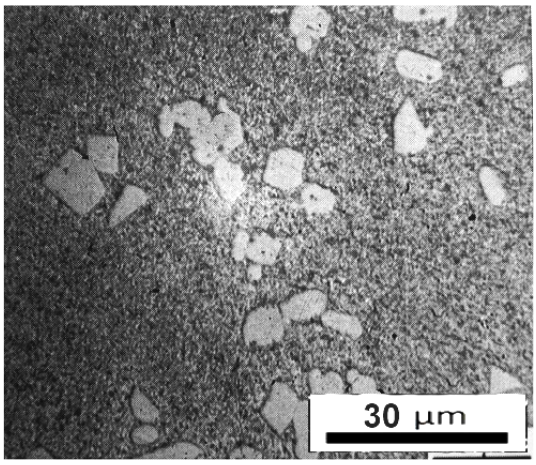


Рисунок 2 – Структура образца состава Al+2 % Ti с интерметаллидными фазами

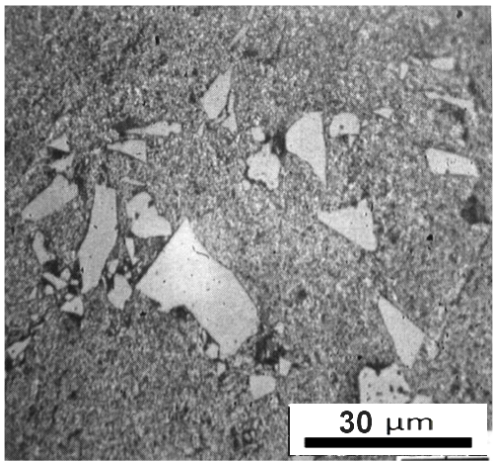


Рисунок 3 – Структура образца состава Al+2 % Ti с частицами карбида титана

Результаты измерения твердости образцов показывают, что введение в алюминиевую матрицу реакционно-активных порошков титана или армирующих частиц карбида титана способствует увеличению твердости по сравнению с матричным сплавом на ΔНВ = 30 МПа и 50 МПа соответственно. Несмотря на большее содержание интерметаллидных частиц, наибольшая степень упрочнения достигается за счет введения карбида титана. Это связано с их более высокими прочностными характеристиками. Наибольшая твердость (ΔНВ = 90 МПа) характерна для полиармированного КМ, что связано с присутствием в его составе большего количества упрочняющих частиц (до 5,3 об. %).

В процессе испытаний на сухое трение скольжения образцов из дисперсно-наполненных КМ системы Al-Ti-TiC фиксировали изменение момента трения и веса и рассчитывали коэффициент трения, коэффициент стабильности процесса трения и величину объемной интенсивности изнашивания. На рисунке 4 приведены результаты определения интенсивности изнашивания образцов из матричного материала и КМ в условиях сухого трения скольжения. Видно, что увеличение осевой нагрузки приводит к увеличению интенсивности изнашивания для всех образцов.

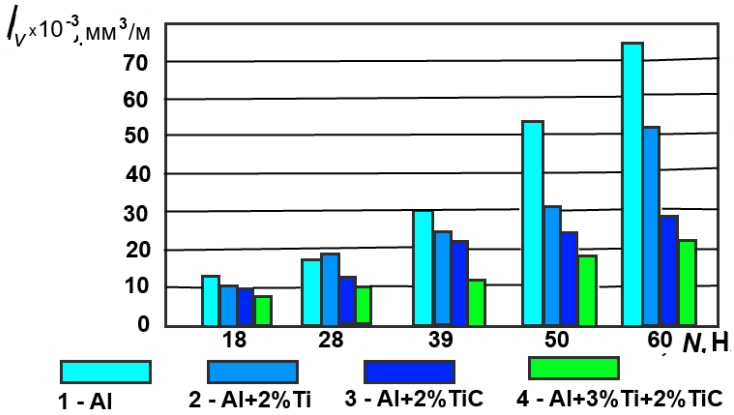


Рисунок 4 – Интенсивность изнашивания I образцов разного состава (1–4) в зависимости от приложенной нагрузки N

Максимальную интенсивность изнашивания имеют неармированные образцы. При формировании в матричном сплаве интерметаллидных фаз Al3Ti или введении армирующих частиц TiC интенсивность изнашивания значительно снижается. Сравнение КМ, имеющих в своем составе только интерметаллиды или только частицы карбида титана, показывает, что последние характеризуются меньшими значениями интенсивности изнашивания. Различия особенно заметны при увеличении нагрузок выше 50 Н. Это можно объяснить тем, что при таких нагрузках частицы TiC еще выпоняют роль несущих опор, в то время как частицы Al_3Ti, обладающие более низкими прочностными характеристиками, начинают разрушаться и теряют способность защищать матрицу от изнашивания по усталостному и адгезионному механизмам.

Полиармированные КМ обладают наименьшими значениями интенсивности изнашивания во всем диапазоне нагрузок. Дополнительное введение более прочных частиц TiC приводит к уменьшению нагрузки на интерметаллиды Al_3Ti, тем самым препятствуя их разрушению под действием высоких

внешних нагрузок. Кроме того, присутствие в полиармированных КМ большего количества армируюих фаз, чем в других образцах КМ, обеспечивает не только снижение нагрузки на каждую армирующую частицу в отдельности, но и уменьшение доли матрицы в поверхности трения, тем самым расширяя диапазон трибонагружения.

Сравнение коэффициентов трения образцов из КМ и матричного сплава показало более низкие значения у КМ. Формирование в алюминиевой матрице интерметалидных фаз Al_3Ti привело к снижению коэффициента трения на 30–60 %. Еще заметнее снизился коэффициент трения при армировании КМ частицами TiC и полиармировании. Вероятно, это связано с формированием в условиях стабильного трения скольжения переходного слоя, защищающего поверхность от изнашивания.

Образцы из КМ во всем диапазоне нагружения характеризуются коэффициентами стабильности процесса трения близкими к единице, что свидетельствует о режиме стабильного трения.

Заключение

Для получения равномерного распределения наполнителя в дисперсно-наполненных композиционных материалах следует ограничивать долю упрочняющих частиц из-за риска их скопления в межзеренных пространствах.

Армирование алюминиевой матрицы дисперсными частицами TiC или интерметаллидными фазами Al_3Ti, образованными за счет введения в расплав реакционно-активных порошков титана, является эффективным способом повышения трибологических характеристик.

Коэффиициент трения и интенсивность изнашивания меньше при армировании алюминиевой матрицы частицами TiC, несмотря на более высокую объемную долю Al_3Ti.

Литература

1. Федоров С.К. [и др.]. Применение технологии электромеханической обработки в ремонтном производстве ОАО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод» // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2010. – № 4. – С. 44–47.

2. Ryzhov N.M., Pakhomova, S.A. Effectiveness of thermal shot blasting for case-hardened steels // Metal Science and Heat Treatment. – 1994. – Vol. 36. – № 5. – P. 253–257. – DOI: 10.1007/BF01390450

3. Федоров С.К. [и др.]. Повышение долговечности переводников и бурильных труб электромеханической обработкой : Бурение скважин в осложненных условиях / Тезисы докладов. Санкт-Петербургский горный университет. – 2017. – С. 62–64.

4. Пахомова С.А., Поваляев А.И., Шебешев К.И. Керамические композиционные материалы на основе нитрида кремния для коррозионностойких подшипников качения : Ключевые тренды в композитах: наука и технологии / Материалы Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 556–561.

5. Габова М.А. Применение композиционных материалов при добыче нефти и газа // Вестник университета. – 2012. – № 10-1. – С. 88–92.

6. Pakhomova S.A. and Povalyayev A.I. Silicon nitride-based ceramic composite materials for corrosion-resistant rolling bearings // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 683, 012040. – DOI:10.1088/1757-899X/683/1/012040

7. Курганова Ю.А., Фетисов Г.П., Гаврилов Г.Н. Композиционные материалы в авиации и их прогнозирование // Технология металлов. – 2015. – № 1. – С. 22–25.

8. Березовский В.В. [и др.]. Исследование механических свойств металлического композиционного материала на основе алюминиевого сплава, армированного дисперсными частицами карбида кремния // Деформация и разрушение материалов. – 2014. – № 12. – С. 12–16.

9. Чердынцев В.В. [и др.]. Металломатричные радиационно-защитные композиционные материалы на основе алюминия // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2013. – № 1. – С. 14–18;

10. Конопацкий А.С. [и др.]. Высокопрочные композиционные материалы на основе алюминия, упрочненные микро- и наноструктурами (миниобзор) // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2018. – № 4. – С. 62–72. – Doi: 10.17073/1997-308X-2018-4-62-72

References

1. Fedorov S.K. [et al.]. Application of electromechanical treatment technology in repair production of JSC «Syzran Oil Refinery» // Scientific and technical bulletin of JSC «Oil Company "Rosneft». – 2010. – № 4. – P. 44–47.

2. Ryzhov N.M., Pakhomova S.A. Effectiveness of thermal shot blasting for case-hardened steels // Metal Science and Heat Treatment. – 1994. – Vol. 36. – № 5. – P. 253–257. – DOI: 10.1007/BF01390450

3. Fyodorov S.K. [et al.]. Improving the longevity of translators and drill pipes electromechanical treatment : Drilling wells in difficult conditions / Abstracts. Saint-Petersburg Mining University. – 2017. – P. 62–64.

4. Pakhomova S.A., Povalyaev A.I., Shebeshev K.I. Ceramic composite materials based on silicon nitride for corrosion-resistant rolling bearings : Key trends in composites: science and technology / Proceedings of the International Scientific Conference. – 2019. – P. 556–561.

5. Gabova M.A. Composite materials application in oil and gas extraction // Messenger of university. – 2012. – № 10-1. – P. 88–92.

6. Pakhomova S.A. and Povalyayev A.I. Silicon nitride-based ceramic composite materials for corrosion-resistant rolling bearings // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 683, 012040. – DOI:10.1088/1757-899X/683/1/012040

7. Kurganova Yu.A., Fetisov G.P., Gavrilov G.N. Composite materials in aviation and their prediction // Metal technology. – 2015. – № 1. – P. 22–25.

8. Berezovsky V.V. [et al.]. Investigation of Mechanical Properties of Metal Composite Material Based on Aluminum Alloy Reinforced by Disperse Particles of Silicon Carbide // Deformation and Destruction of Materials. – 2014. – № 12. – P. 12–16.

9. Cherdintsev V.V. [et al.]. Metal matrix radiation-protection composite materials on the basis of aluminum // Metal science and thermal processing of metals. – 2013. – № 1. – P. 14–18;

10. Konopackiy A.S. [et al.]. High-strength composite materials based on aluminum, hardened by micro- and nanostructures (mini-display) // Izvestia vuzov. Powder metallurgy and functional coverings. – 2018. – № 4. – P. 62–72. – Doi: 10.17073/1997-308X-2018-4-62-72

УДК 504.05

СБОР И УТИЛИЗАЦИЯ БАТАРЕЕК В ГОРОДЕ ЯКУТСКЕ

●●●●●●

THE COLLECTION AND RECYCLING OF BATTERIES IN THE CITY OF YAKUTSK

Кейметинова Виктория Петровна
студент
Института естественных наук,
Северо-Восточный федеральный университет

Герасимова Лариса Владимировна
заведующий лабораторией
УНЛ Экотехнополис,
Северо-Восточный федеральный университет
ekotexnopolis@gmail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена изучению неблагоприятного воздействия пальчиковых батарей на окружающую среду и здоровье человека. На примере г.Якутска рассмотрен поэтапный сбор батареек для последующей утилизации и уменьшения количества выбросов их на свалку.

Ключевые слова: рециклинг, пальчиковые батарейки, окружающая среда, ядовитые вещества, вредные химические соединения.

Keymetinova Victoria Petrovna
Student
of the Institute of Natural Sciences,
North-Eastern Federal University

Gerasimova Larisa Vladimirovna
Head of laboratory Ecotechnopolis,
North-Eastern Federal University
ekotexnopolis@gmail.ru

Annotation. This article is devoted to studying the adverse impact of finger batteries on the environment and human health. The example of the city of Yakutsk illustrates the step-by-step collection of batteries for subsequent disposal and reduction of their emissions to landfills.

Keywords: recycling, finger batteries, environment, toxic substances, harmful chemical compounds.

Актуальность исследования

Батарейки – недорогой источник питания, который имеет широкое применение. В современном мире без батареи ничто не используется, будь то детская игрушка-машинка или кухонные весы или часы над камином везде требуется источник питания. Поэтому во всем мире для нужд человечества каждый час выпускают более 1 500 000 батареек, чтобы обеспечить весь этот объем потребности. А сколько из них правильно утилизируется – никто не может подсчитать, так как их попросту выбрасывают вместе с бытовыми отходами. А большинству жителей планеты неизвестно что в батарейках содержится множество различных химических соединений металлов – ртуть, никель, кадмий, свинец, литий, марганец и цинк, которые имеют свойство накапливаться в живых организмах, в том числе и в организме человека, и наносить существенный вред здоровью.

Ядовитые вещества из батареек, проникают в почву, в подземные грунтовые воды, затем попадают в реки и озера, из которых мы пьем воду, не думая, что вредные химические соединения (из батарейки, выброшенной в мусоропровод) с кипячением не исчезают. И, кроме того, актуальность обусловлена недостаточным информированием населения Якутска о действиях по сбору и утилизации отработанных батареек.

Объект исследования

Пальчиковые батарейки.

Цель работы

Изучение влияния пальчиковой батарейки на окружающую среду.

Задачи исследования

1. Изучить классификацию и состав батареек.
2. Изучить литературу и материалы интернет-ресурсов по теме исследования.
3. Описать влияние батареек на окружающую среду.
4. Построить этап сбора батареек в г. Якутске.

Утилизация батареек должна происходить согласно санитарным нормам в специализированных контейнерах. На каждой батарейке указано, что его нельзя выкидывать вместе с обычными бытовыми отходами. По нашим подсчетам выходит, что в каждой семье найдется не менее тридцати источников

питания, которые используют различные виды батареек. Но многие в нашем городе Якутске не придерживаются условий утилизации этих самых источников питания, так как отсутствует обычный пункт приема использованных батареек.

На первый взгляд, пальчиковые батарейки выглядят вполне безобидно. Даже их небольшой размер заставляет усомниться, что утилизация использованных батареек является необходимой мерой. Чтобы понять, что опасного таят в себе эти миниатюрные источники питания, следует поближе ознакомиться с их строением и химическим составом. Во-первых, корпус элемента питания абсолютно безопасен. Он выполнен из металла, который полностью изолирует содержимое до тех пор, пока оболочка не подверглась коррозии. Во-вторых, внутренняя часть и есть вместилище опасных химических элементов, нейтрализовать которые позволяет переработка батареек. В каждой из них есть анод – порошок цинка, который пропитан электролитом и катод – двуокись магния в смеси с двуокисью титана. Вот они-то и опасны для окружающей среды. Классификация по ним осуществляется в зависимости от внутреннего состава – электролита: солевые, щелочные, литиевые, серебряные, ртутные. В состав батарейки входит не менее десяти химических высокотоксичных элементов и растворенных тяжелых металлов – литий, ртуть, свинец, кадмий. Утилизация литиевых и ртутных источников питания в мусорные баки для твердо-коммунальных отходов абсолютно непозволительна [1].

А вот вопрос, почему нельзя выбрасывать батарейки вместе с бытовыми отходами, неспроста настолько важен. Представьте себе, что одна миниатюрная пальчиковая батарейка может загрязнить 20 м² почвы вокруг себя. А химические вещества загрязняют не только почву, растительный мир вокруг, но и просачиваются в грунтовые воды, испаряются в воздухе и постепенно отравляют наш с вами организм.

Для полной наглядной картины следует объяснить пути отравления окружающей среды и тем самым самого человека:

1. Рано или поздно корпус элемента в окружающей среде разлагается, что приводит к выбросу токсических веществ в природу, то есть в почву и воздух. А уже через нее вредные химические вещества попадают в грунтовые воды, а потом и в поверхностные водоисточники – реки и озера, оттуда по трубопроводам вода идет в наши с вами дома.
2. На свалках элементы питания подвергаются процедуре сжигания, вследствие чего вместе с дымом диоксины попадают в воздух. Весь окружающий растительный и животный мир поглощает его, а через них яд попадает в человеческий организм. Все яды и токсины, попадающие в организм человека, за долгие годы накапливаются и способны вызвать тяжелые онкологические заболевания [2].

Рециклинг батареек в нашей стране стал доступен недавно, этим занимаются следующие компании ООО «Сибирская Ртутная Компания» (г. Новосибирск) и «Мегаполисресурс» (г. Челябинск).

Основные этапы переработки батареек на заводе происходят в следующем порядке: сначала идет ручная сортировка. Она позволяет распределить изделия в соответствии с их типом. Потом контейнерная линия доставляет элементы питания в дробилку, где происходит их измельчение. А полученное сырье попадает под магнитную ленту, которая отделяет крупные элементы металлического корпуса. Оставшуюся часть подвергают повторному дроблению и отделению железа. Полученная масса содержит электролит и поэтому нуждается в процессе нейтрализации. В результате всех этих гидрометаллургических технологий, сырье разделяют на отдельные компоненты и упаковывают.

В нашем городе Якутске стоит проблема сбора батареек для отправки их в утилизацию. Для этого необходимо создать постоянные пункты приема – урны для сбора батареек, чтобы в дальнейшем сотрудничать с заводами по переработке батареек. Урны удобнее будет расположить в торговых центрах по пять ящиков на каждый округ города Якутска. Также нужно привлечь инициативных жителей Якутска к сбору батареек информировав их как это делать. Надо будет выполнить несколько простых этапов сбора:

1. Поставить в своем подъезде коробку для сбора использованных батареек, куда будут бросать свои батарейки все жильцы подъезда. Можно взять любую подходящую коробку из гофрокартона, также очень хорошо подходит пластиковая пяти или шести литровая бутыль. Для информативности на коробке или бутылке можно приклеить надпись: «ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ БАТАРЕЕК».
2. Нужно повесить на самом видном месте или в специальной информационной доске подъезда объявление о сборе батареек.
3. Собранные батарейки нужно хранить в сухом прохладном месте при комнатной температуре, пока не наберется достаточного количества и потом уже отвезти их в пункт приема [3].

В г. Якутске принимает магазин «Планета Электро» по адресу: ул. Автодорожная, 11а и ул.Бестужева-Марлинского, 64/1, который потом вывозит в г.Челябинск или сдать их во время экологической акции «Эко-фест. Раздельный сбор», который ежегодно проводится в г. Якутске.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод о том, что вред батареек для окружающей среды весьма велик. Но, так как в России нет соответствующих условий и государственной поддержки для инициативных граждан, и наше общество мало уделяет внимания проблеме загрязнения окружающей среды, поэтому мы сами должны начать заботиться о здоровье будущего поколения и сделать мир чище!

Литература

1. Правильная утилизация батареек. – URL : https://vtorothodi.ru/pererabotka/pravilnaya-pererabotka-batareek (дата обращения: 10.03.2020).
2. Касьян А.А. Современные проблемы экологии. – М. : Онега, 2001.
3. «Сдай батарейку – спаси планету». – URL : www.сдайбатарейку.рф (дата обращения: 10.03.2020).

References

1. Proper disposal of batteries. – URL : https://vtorothodi.ru/pererabotka/pravilnaya-pererabotka-batareek (accessed: 10.03.2020).
2. Kasyan A.A. Modern problems of ecology. – M. : Onega, 2001.
3. «Hand over the battery – save the planet». – URL : www.sdaybatareyku.rf (accessed: 10.03.2020).

УДК 622.7

К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕАГЕНТОВ-СОБИРАТЕЛЕЙ КИТАЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ФЛОТАЦИИ СВИНЦОВОЙ РУДЫ

●●●●●●

TO ASSESS THE FEASIBILITY OF USING CHINESE-MADE COLLECTORS FOR FLOTATION OF LEAD ORE

Кинякин Александр Ильич
ассистент, ведущий инженер,
кафедра обогащения полезных ископаемых,
Институт цветных металлов и материаловедения,
Сибирский федеральный университет
mrak81083@mail.ru

Климова Валерия Дмитриевна
студент,
кафедра обогащения полезных ископаемых,
Институт цветных металлов и материаловедения,
Сибирский федеральный университет
klimova_lera19@mail.ru

Алгебраистова Наталья Константиновна
профессор, кандидат технических наук, доцент,
институт цветных металлов и материаловедения,
кафедра обогащения полезных ископаемых,
Сибирский федеральный университет
algebraistova@mail.ru

Рулёва Дарья Викторовна
студент,
кафедра обогащения полезных ископаемых,
институт цветных металлов и материаловедения,
Сибирский федеральный университет
dasha-ewochka@mail.ru

Мусаев Омурбек Койчуманович
студент,
кафедра обогащения полезных ископаемых,
институт цветных металлов и материаловедения,
Сибирский федеральный университет
omurbek1015@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты флотации сульфидной свинцовой руды одного из месторождений Восточной Сибири. Свинец в руде представлен, в основном, галенитом. В межцикловой и основной операциях технологической схемы испытаны пятнадцать реагентов-собирателей производства китайской компания Yantai Humon Chemical Auxiliary. По результатам опытов рассчитаны технологические показатели обогащения, дана оценка эффективности реагентов.

Ключевые слова: концентрат, реагенты, ксантогенат, дитиофосфат, тионокарбамат, флотация, галенит, эффективность обогащения, кинетика измельчения, собиратели, свинцовая руда.

Kinyakin Alexander Ilyich
Assistant, leading engineer,
Mining Enrichment Department,
Institute of Non-Ferrous Metals
and Materials Science,
Siberian Federal University
mrak81083@mail.ru

Klimova Valeria Dmitriyevna
Student,
Mining Enrichment Department,
Institute of Non-Ferrous Metals
and Materials Science,
Siberian Federal University
klimova_lera19@mail.ru

Algebraistova Natalya Konstantinovna
Professor, Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Institute of Non-Ferrous Metals
and Materials Science,
Mining Enrichment Department,
Siberian Federal University
algebraistova@mail.ru

Ruleva Daria Viktorovna
Student,
Mining Enrichment Department,
Institute of Non-Ferrous Metals
and Materials Science,
Siberian Federal University
dasha-ewochka@mail.ru

Musaev Omurbek Koichumanovich
Student,
Mining Enrichment Department,
Institute of Non-Ferrous Metals
and Materials Science,
Siberian Federal University
omurbek1015@gmail.com

Annotation. Flotation results of lead sulfide ore flotation at one of the East Siberian deposits are presented. Lead in ore is represented mainly by galena. In the intercycle and basic operations of the technological scheme tested fifteen reagents-collectors produced by Chinese company Yantai Humon Chemical Auxiliary. Based on the results of the experiments, the technological indicators of enrichment were calculated, and the efficiency of reagents was evaluated

Keywords: concentrate, reagents, xanthogenate, dithiophosphate, thionocarbamate, flotation, galena, enrichment efficiency, grinding kinetics, collectors, lead ore.

Введение

Флотация в настоящее время и в перспективе остается наиболее широко распространенным процессом обогащения подавляющего большинства руд. Мировой объем руд, подвергаемых обогащению методом флотации, оценивается в один миллиард тонн в год [1].

Основную роль в процессе флотации играют флотореагенты. От их грамотного и экономически целесообразного применения зависят успех флотации и прогресс в её развитии.

Китайская компания Yantai Humon Chemical Auxiliary специализируется на производстве химических реагентов для горнодобывающей промышленности. Компания была основана в 2001 году, создана как частное акционерное общество, генерирующее около 2 миллионов долларов США. Имея капитал в размере 5 миллионов долларов США в резервах, является ведущим производителем флотационных реагентов. Более 60 % своей продукции поставляет практически по всему земному шару.

Цель исследований – оценка эффективности реагентов гидрофобизаторов компании в процессе флотации сульфидной свинцовой руды.

Исследования выполнялись на свинцовой руде одного из месторождений Восточной Сибири. Основными рудными минералами месторождения являются: свинцовые, большей частью в форме галенита и незначительно в форме церуссита, англезита и плюмбоярозита. Из нерудных минералов преобладают кварц, сидерит, анкерит, доломит, кальцит, биотит, мусковит, хлорит, гранат. Руда, поступившая на исследование, характеризуется высоким содержанием в ней свинца ~11,79 %.

Технологическая схема обогащения действующего предприятия предусматривает межцикловую и основную флотацию (тонина помола 60 % и 80 % класса – 0,074 мм соответственно) с получением концентрата, направляемого на три операции перечистной флотации и хвостов, которые являются питанием контрольной флотации. Промпродукты (пенный контрольной и камерный продукт первой перечистки), подвергаются доизмельчению и возвращаются в виде циркуляционного потока в основную операцию флотации. Камерный продукт контрольной операции является отвальными хвостами. Полученный в третьей перечистки свинцовый концентрат подвергается сгущению и фильтрованию (рис. 1).

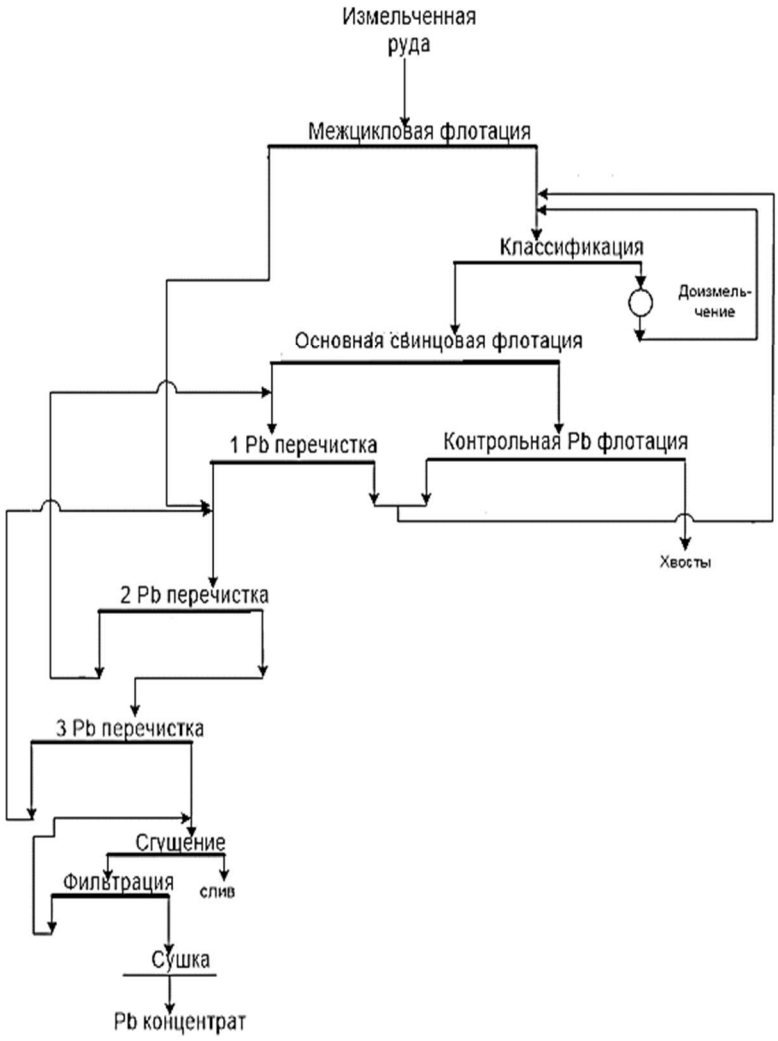


Рисунок 1 – Действующая схема получения свинцового концентрата

При исследовании номенклатура и расход реагентов приняты согласно режимной карте действующего предприятия.

Собиратель, применяемый на действующем предприятии – бутиловый ксантогенат калия производства АО «Волжский Оргсинтез», заменили в ходе исследования на собирателях производства фирмы «Humon».

Исследуемые реагенты-собиратели ксантогенаты, дитиофосфаты и тионокарбаматы. Согласно классической теории флотации, прочность закрепления гетерополярного собирателя на поверхности, определяется энергией связи функциональной группы с минералом, зависящей от её характера и природы минерала, а также энергией дисперсионного взаимодействия углеводородных радикалов в адсорбционном слое, возрастающей с увеличением длины углеводородного радикала [2]. Вследствие чего эффективность действия собирателя, может быть изменена с помощью изменения характера функциональной группы или изменения углеводородного радикала. Как известно, увеличивая длину углеводородного радикала, можно усилить гидрофобные свойства реагента. Однако избыточное увеличение прочности закрепления собирателя обычно приводит к ухудшению селективности его действий при флотации [3].

Если говорить о сравниваемых в работе ксантогенатах и дитиофосфатах, то стоит отметить, что в дитиофосфатах центральный атом фосфора сильнее смещает электронное облако серы по направлению к центру, чем углерод в молекуле ксантогената. Связь фосфора с серой прочнее, а связь серы с металлом слабее, что является причиной повышения растворимости дитиофосфорных солей по сравнению с ксантогенатовыми. Поэтому как собиратели дитиофосфаты слабее ксантогенатов, но тем не менее они более устойчивы в кислых средах и не окисляются кислородом воздуха, содержащимся в пульпе [4].

Китайская компания предлагает ксантогенаты как натриевые, так и калиевые. Из практики флотации, предпочтение отдают калиевым, в связи с большей устойчивостью при хранении. В отличие от производного натрия, ксантогенат калия кристаллизуется в виде безводной соли и является негигроскопичным [5].

Экспериментальная часть

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной базе кафедры «Обогащения полезных ископаемых» ФГАОУ ВО Сибирского федерального университета. При выполнении исследований применялись технологические, математические, флотационные и специальные методы исследований.

Исследование кинетики измельчения проводилось в шаровых мельницах с поворотной осью при соотношении Т : Ж : Ш = 1 : 0,5 : 10. Расчётный класс крупности принят – 0,074 мм.

Технологическая схема обогащения действующего предприятия предусматривает тонину помола 60 % и 80 % класса – 0,074 мм (рис. 2).

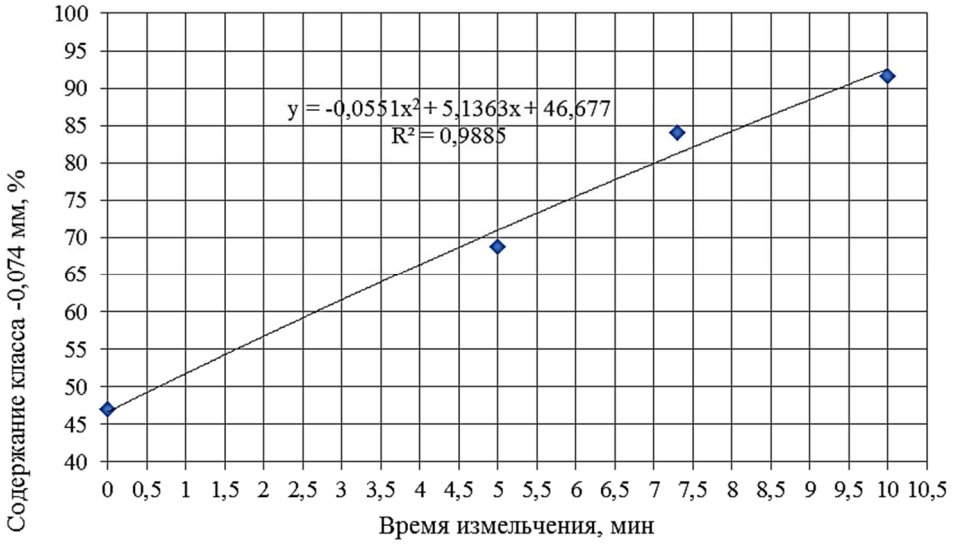


Рисунок 2 – Зависимость содержания класса – 0,074 мм от времени измельчения

На основании кинетики измельчений (рис. 2) были найдены уравнения регрессионной модели, соответствующие полиномам 2 и 3 степени. За y(x) в уравнениях обозначено значение выходов класса – 0,074 мм, а за независимую переменную x – время измельчения в минутах. По данным регрессионного анализа, для описания влияния времени измельчения на тонину помола, был выбран полином 2 степени:

$$y(x) = -0{,}0551x2 + 5{,}1363x + 46{,}677\,. \quad (1)$$

На основании уравнения были рассчитано необходимое время измельчения для получения соответствующей тонины помола.

Технологические исследования выполняли по схеме, представленной на рисунке 3.

Для корректной оценки эффективности собирателей и исключения влияния времени флотации на технологические показатели обогащения, был выполнен базовый опыт с реагентами фабрики, включая собиратель – бутиловый ксантогенат калия. Все остальные реагенты-собиратели (ксантогенаты, аэрофлоты и тионокарбаматы) китайского производства подавались в процесс в те же точки технологической схемы и с такими же расходами, как и в базовом опыте.

Время флотации по операциям было постоянным, во всех опытах и соответствовало времени, указанному на рисунке 3. Данное значение времени флотации принято при реализации опыта с реагентным режимом действующего предприятия. Съём пенного продукта осуществлялся до получения деминерализованной пены: этот момент был зафиксирован и был принят для всех исследуемых образцов.

Анализ на определение массовой доли металлов в продуктах обогащения проводился в химической лаборатории обогатительной фабрики титриметрическим методом.

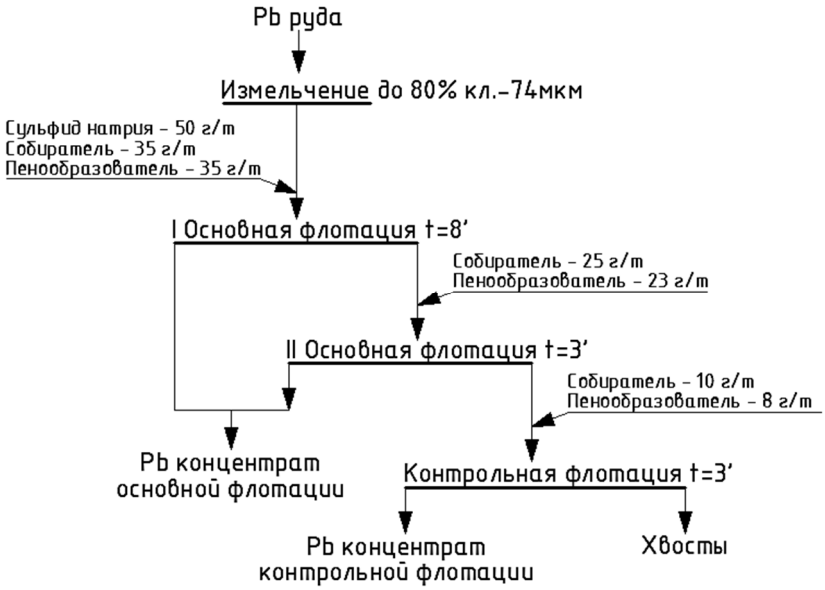


Рисунок 3 – Схема исследования монометаллической руды

Учитывая, что часть исследуемых реагентов кроме гидрофобизирующих обладают и пенообразующими свойствами, помимо извлечения свинца в пенный продукт, для оценки эффективности процесса флотации, принят критерий Ханкока-Луйкена:

$$\mathrm{E} = \frac{\varepsilon - \gamma}{100 - \alpha} \cdot 100, \ \% \qquad (2)$$

где γ – выход концентрата; α – содержание ценного компонента в исходном; ε – извлечение ценного компонента в концентрат.

Обсуждение результатов

Бутиловый ксантогенат калия китайского производителя не показал преимуществ в сравнении с тем, что был предоставлен предприятием: критерий Ханкока-Люйкена при флотации с китайским реагентом составил 66,6 %, с фабричным – 67,8 %. Если оценивать эффективность реагентов по суммарным потерям металлов с хвостами (сумма извлечений свинца, цинка, серебра), то потери при использовании китайского собирателя составили 51,24 %, а с реагентом фабричным – 51,96 %, т.е. реагенты работают одинаково. На рисунке 4 представлена гистограмма зависимости извлечения свинца в пенный продукт основной операции от длины углеводородного радикала и катиона ксантогената.

Как видно из представленных выше данных, с увеличением длины углеводородного радикала у натриевых и у калиевых ксантогенатов наблюдается незначительный рост извлечения свинца в пенный продукт основной операции ~1,5 %. При использовании изопропилового ксантогената извлечение свинца в эту операцию несколько ниже ~92,82 %. Все натриевые ксантогенаты обеспечивают незначительное преимущество в сравнении с калиевыми, но это преимущество соответствует ~1 %.

Гистограмма эффективности использования дитиофосфатов показана на рисунке 5.

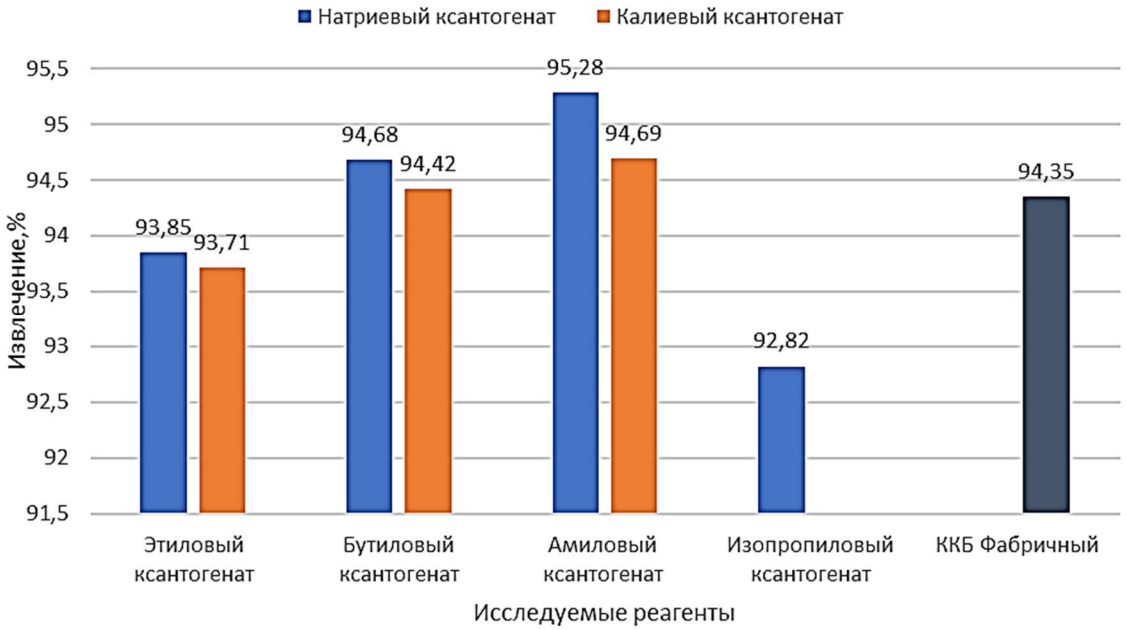


Рисунок 4 – Технологические показатели обогащения Рв-ой руды с различными ксантогенатами

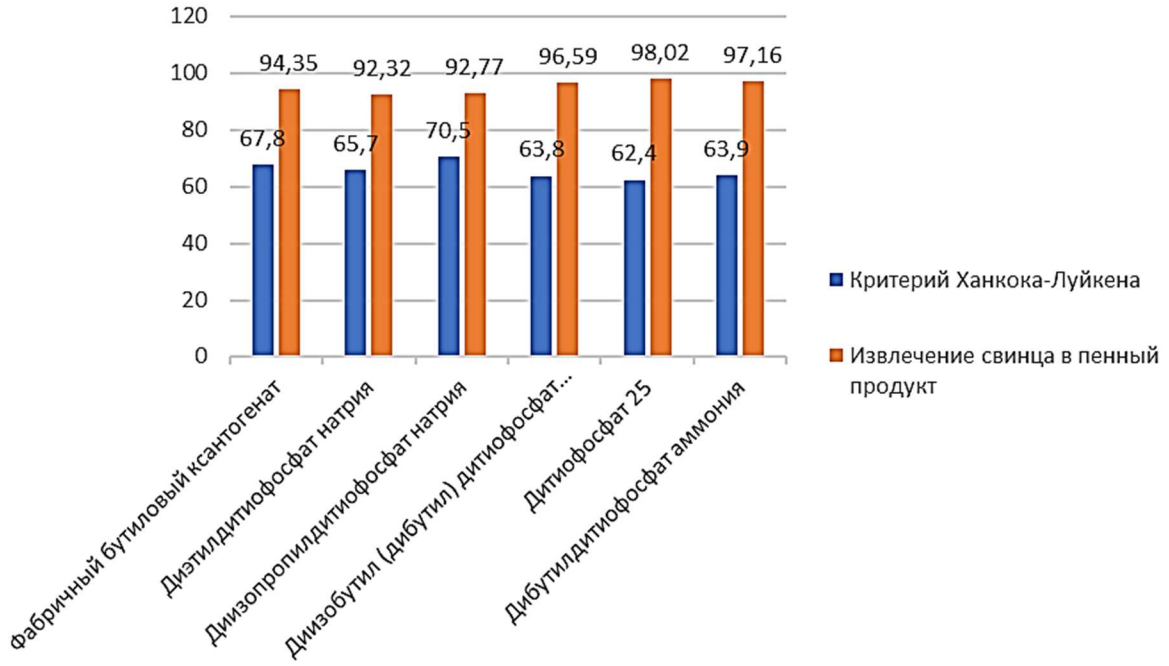


Рисунок 5 – Технологические показатели обогащения при использовании дитиофосфатов

Из полученных результатов можно сделать вывод, что лучшие результаты обеспечивает диизопропилдитиофосфат натрия, если оценивать процесс по критерию Ханкока-Луйкена – 70,5 %, но если оценивать по извлечению свинца в пенный продукт основной операции-то это три реагента: диизобутил(дибутил)дитиофосфат натрия, дитиофосфат 25 и дибутилдитиофосфат аммония со значениями извлечения 96,59 %, 98,02 % и 97,16 % соответственно. Эти реагенты обладают пенообразующими свойствами и за счёт большого выхода продукта достигается высокое значение извлечения свинца.

В (табл. 1) показаны полученные показатели обогащения при использовании тионокарбаматов вместо бутилового ксантогената калия, используемого на фабрике.

При использовании дитиокарбамата Es (Sn-9) получен наиболее высокий критерий оптимизации-71,9 %, хотя извлечение свинца в сравнении с базовым реагентным режимом ниже на 1 %. Следует обратить внимание на запах этого реагента. С этим веществом не рекомендуется работать без анализа органолептических свойств и специальных средств защиты.

Таким образом, наиболее высокий показатель эффективности обогащения достигается при использовании дитиокарбамата Es (Sn-9).

Таблица 1 – Технологические показатели обогащения при использовании тионокарбаматов и бутилового ксантогената калия

Продукты	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %			Критерий Е, %
		Pb	Zn	Ag, г/т	Pb	Zn	Ag, г/т	
Бутиловый ксантогенат калия								
Рв к-т основ. флотации	34,43	32,00	1,32	232,00	94,35	53,26	90,07	67,8
Рв к-т контрольной флотации	4,10	3,18	1,48	46,02	1,12	7,11	2,13	
Хвосты	61,47	0,86	0,55	11,25	4,53	39,63	7,80	
Исходное питание	100,00	11,68	0,85	88,67	100,00	100,00	100,00	
Дитиокарбамат Es (Sn-9)								
Рв к-т основной флотации	29,76	36,17	1,67	271,00	93,35	58,04	89,81	71,9
Рв к-т контрольной флотации	2,38	5,69	2,55	59,39	1,17	7,09	1,57	
Хвосты	67,86	0,93	0,44	11,40	5,47	34,87	8,61	
Исходное питание	100,00	11,53	0,86	89,80	100,00	100,00	100,00	
О-Изопропил-N-этилтионокарбамат (Z-200)								
Рв к-т основной флотации	28,69	33,72	1,39	249,00	83,99	46,31	81,29	62,5
Рв к-т контрольной флотации	1,59	6,73	1,01	52,22	0,93	1,87	0,95	
Хвосты	69,72	2,49	0,64	22,38	15,08	51,82	17,76	
Исходное питание	100,00	11,52	0,86	87,86	100,00	100,00	100,00	

Критерий оптимизации на 4,1 % выше по сравнению с фабричным реагентным режимом. С этим веществом так же не рекомендуется работать без анализа органолептических свойств и специальных средств защиты.

Заключение

Из полученных данных можно заключить, что бутиловый ксантогенат калия, отечественного производства и бутиловый ксантогенат калия китайского производства не сильно отличаются по своим собирательным свойствам, а все натриевые ксантогенаты обеспечивают незначительное преимущество в сравнении с калиевыми.

Диизобутил(дибутил)дитиофосфат натрия, дитиофосфат 25 и дибутилдитиофосфат аммония обладают пенообразующими свойствами в отличие от фабричного ксантогената калия бутилового, с помощью чего за счёт большого выхода продукта достигается высокое извлечения свинца.

Вместе с этим стоит учитывать, что при использовании данного реагента для извлечения свинца, в сравнении с флотационным реагентным режимом предприятия ниже на 1 %, а также присутствует весьма едкий запах данного реагента, целесообразность изменения фабричного реагентного режима весьма сомнительна, учитывая расходы на транспортировку данного реагента.

Сравнивая тионокарбаматы и фабричный ксантогенат, стоит сказать, что выход и извлечение свинца выше у ксантогената, что говорит о высоких собирательных свойствах данного реагента и внедрять в технологическую схему тионокарбаматы нецелесообразно.

Общее заключение таково- бутиловый ксантогенат калия российского производства не уступает своими собирательными свойствами реагентам-собирателям китайского производства.

Литература

1. Современное состояние и место флотации в обогащении полезных ископаемых и перспективы ее развития. – URL : http://fccland.ru/flotaciya/4600-sovremennoe-sostoyanie-i-mesto-flotacii-v-obogaschenii-poleznyh-iskopaemyh-i-perspektivy-ee-razvitiya.html (дата обращения 16.02.2020)

2. Богданов О.С., Максимов И.С., Поднек А.К. [и др.]. Теория и технология флотации руд. – М. : Недра, 1980. – 243 с.

3. Абрамов А.А. Теоретические основы оптимизации селективной флотации сульфидных руд. – М. : Недра, 1978. – 280 с.

4. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотационные методы обогащения. – М. : Недра, 1981. – 304 с.

5. Ксантогенаты. – URL : http://hisupplier.cc/product/1643348-potassium-ethyl-xanthate-cas140-89-6-o-ethyldithiocarbonato-potassium.html (дата обращения 16.02.2020).

References

1. Current state and place of flotation in mineral processing and prospects for its development. – URL : http://fccland.ru/flotaciya/4600-sovremennoe-sostoyanie-i-mesto-flotacii-v-obogaschenii-poleznyh-iskopaemyh-i-perspektivy-ee-razvitiya.html (circulation date 16.02.2020).

2. Bogdanov O.S., Maximov I.S., Podnek A.K. [et al.]. Ore Flotation Theory and Technology. – M. : Nedra, 1980. – 243 p.

3. Abramov A.A. Theoretical bases for optimization of selective flotation of sulphide ores. – M. : Nedra, 1978. – 280 p.

4. Glembotsky V.A., Klassen V.I. Flotation methods of enrichment. – M. : Nedra, 1981. – 304 p.

5. Xantogenates. – URL : http://hisupplier.cc/product/1643348-potassium-ethyl-xanthate-cas140-89-6-o-ethyl-dithiocarbonato-potassium.html (circulation date 16.02.2020).

УДК 622.06

ГИДРОЗАЩИТА ПЭД С УСИЛЕННОЙ ОСЕВОЙ ОПОРОЙ

●●●●●●

HYDRAULIC PROTECTION PAD WITH REINFORCED AXIAL SUPPORT

Костилевский Валерий Анатольевич
кандидат технических наук,
Начальник управления
ПАО «Нефтяная компания Лукойл»

Шайдаков Владимир Владимирович
доктор техническиъх наук, профессор,
профессор кафедры НГПО,
Уфимский государственный
нефтяной технический университет

Аюпова Алла Ринатовна
кандидат технических наук,
ведущий инженер технолог,
ООО «НПП АММА»
ljudvinickaja@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы гидравлической защиты погружного электродвигателя. Представлены виды защиты, приведено краткое описание основных конструктивных решений. Более подробно рассмотрена конструкция с усиленной осевой опорой. Приведены результаты внедрения данной гидрозащиты на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь, рассчитан экономический эффект от внедрения данного конструкторского решения.

Ключевые слова: погружной электродвигатель, гидрозащита, усиленная пята, однокорпусный, двухкорпусный, осевая нагрузка.

Kostilevsky Valery Anatolievich
Candidate of Technical Sciences,
Head of Department,
PJSC «Oil company Lukoil»

Shaydakov Vladimir Vladimirovich
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the NGPO Department,
Ufa State oil technical university

Ayupova Alla Rinatovna
Candidate of Technical Sciences,
Leading Engineer Technologist,
LLC NPP AMA
ljudvinickaja@yandex.ru

Annotation. The article deals with the issues of hydraulic protection of the submersible electric motor. The types of protection are presented, and a brief description of the main design solutions is provided. The construction with a reinforced axial support is considered in more detail. The results of the implementation of this hydro protection at the fields of LLC LUKOIL – Western Siberia are presented, and the economic effect of the implementation of this design solution is calculated.

Keywords: submersible electric motor, hydro protection, reinforced heel, single- hull, double- hull, axial load.

Гидрозащита погружного электродвигателя предназначена для предотвращения проникновения пластовой жидкости во внутреннюю полость электродвигателя, компенсации изменения объема масла во внутренней полости от температуры электродвигателя и передачи крутящего момента от вала электродвигателя к валу насоса.

Конструкция гидрозащиты электродвигателя бывает двух типов- открытого и закрытого. Гидрозащита открытого типа требует применения специальной барьерной жидкости плотностью до 2 г/см³, обладающей физико-химическими свойствами, которые исключают ее перемешивание с пластовой жидкостью скважины и маслом в полости электродвигателя. Верхняя камера заполнена барьерной жидкостью, нижняя – диэлектрическим маслом. Камеры сообщены трубкой. Изменения объемов жидкого диэлектрика в двигателе компенсируются за счет перетока барьерной жидкости в гидрозащите из одной камеры в другую.

В гидрозащитах закрытого типа применяются резиновые диафрагмы, их эластичность компенсирует изменение объема жидкого диэлектрика в двигателе.

В настоящее время погружные электродвигатели комплектуются либо однокорпусной, либо двухкорпусной гидрозащитой.

В двухкорпусной гидрозащите компенсатор располагается в отдельном корпусе ниже электродвигателя, а протектор устанавливается между насосом и двигателем. При спуске установки в скважину, пластовая жидкость, через отверстия в корпусе компенсатора, заполняет полость между корпусом и диафрагмой. Под действием давления столба жидкости в скважине, диафрагма сжимается, и масло из диафрагмы через перепускной клапан попадает в полость электродвигателя. Таким образом, происходит уравнивание давления во внутренней полости двигателя с давлением пластовой жидкости в скважине. При работе электродвигателя масло, нагреваясь, расширяется, при этом растягивает резиновую диафрагму и прижимает ее к внутренней поверхности корпуса компенсатора. Лишний объем масла сбрасывается наружу посредством системы последовательно расположенных газоотводных

обратных клапанов протектора. При остановке и охлаждении двигателя объем масла будет уменьшаться и резиновая диафрагма, воспринимая давление окружающей среды, будет втягиваться внутрь и пополнять маслом полость двигателя. При последующем включении двигателя процесс изменения объема масла повторится, т.е. при любых изменениях давления масла диафрагма компенсатора будет «дышать» и уравновешивать давление в полости двигателя с давлением окружающей среды. Однокорпусная гидрозащита представляет собой протектор, в корпусе которого размещается компенсатор. Протектор устанавливается над электродвигателем. При спуске установки в скважину пластовая жидкость через отверстие в головке гидрозащиты по каналу в верхнем ниппеле поступает в полость за диафрагмой. По мере погружения уртановки, вследствие увеличения гидростатического давления жидкости, диафрагма сжимается, тем самым, уравнивая давление масла в двигателе с давлением окружающей среды [1].

Все крупные производители погружных электродвигателей постоянно совершенствуют свою продукцию. В нефтяной компании «Лукойл» на основе большого опыта и при сотрудничестве с ведущими производителями, специалистами НИИ и университетов совершенствуются типы гидравлической защиты ПЭД.

Под научным руководством Костилевского В.А. была разработана конструкция гидрозащиты с усиленной осевой опорой [2]. Применение данного устройства позволяет увеличить допустимую осевую нагрузку до 800 кг, что влечет снижение потери мощности, увеличение срока эксплуатации и повышение надежности установки электроцентробежного насоса.

Устройство для гидравлической защиты погружного маслозаполненного электродвигателя состоит из корпуса, внутри которого размещены не менее двух эластичных диафрагм, закрепленных на опорах при помощи кольцевых пружин, выполняющих функцию предохранительного клапана для сброса избыточного давлении от температурного расширения масла в эластичных диафрагмах. Осевая опора вала включает в себя подвижную пяту, установленную на валу, и неподвижный подпятник. Пята и подпятник выполнены в виде упорного подшипника скольжения, включающего в себя металлическую обойму с установленной в ней керамической опорой. Рабочая поверхность керамической опоры пяты выполнена гладкой, а на рабочей поверхности керамической опоры подпятника выполнены радиальные канавки.

Устройство гидрозащиты погружного маслозаполненного электродвигателя при монтаже в составе установки электроцентробежного насоса размещается между электродвигателем и электроцентробежным насосом. Крепление гидрозащиты осуществляется специальными гайками через резьбовые шпильки. Крутящий момент от вала электродвигателя передается на вал электроцентробежного насоса через муфты шлицевые и вал гидрозащиты погружного маслозаполненного электродвигателя.

На рисунке 1 представлен общий вид гидрозащиты ПЭД. Она состоит из двух корпусов 1, головки верхней 2, ниппеля верхнего 3, ниппеля нижнего 4 и головки нижней 5, соединенных между собой резьбовыми соединениями, вала 6, двух эластичных диафрагм 7.

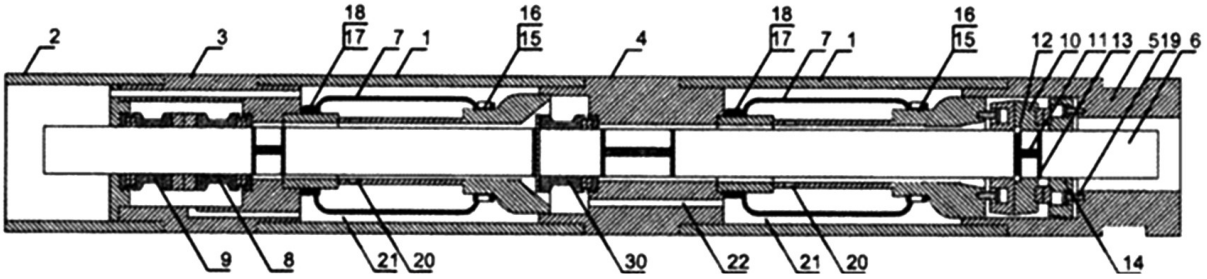


Рисунок 1 – Общий вид гидравлической защиты

Герметичность по валу от проникновения пластовой жидкости и между секциями диафрагм обеспечивается торцовыми уплотнениями 8, 9, 30, при этом смазывание нижнего торцового уплотнения 30 обеспечивается заполненным маслом, а верхних торцевых уплотнений 8, 9 – пластовой жидкостью.

Осевые нагрузки на вал воспринимаются осевой опорой, состоящей из пяты 10, закрепленной на валу.

Эластичные диафрагмы обеспечивают рабочие циклы компенсации масла при тепловом изменении его объема в процессе работы погружного электродвигателя. Герметичность нижних концов диафрагм обеспечивают кольца под бандаж и хомуты, герметичность верхних концов диафрагм обеспечивают кольца под бандаж и кольцевые пружины, выполняющие роль предохранительного клапана, срабатывающего при избыточном давлении от температурного расширения масла в диафрагмах при работе погружного электродвигателя.

В процессе работы маслонаполненного электродвигателя происходит нагрев масла и соответственно его расширение. Увеличенный объем масла проникает во внутреннюю полость нижней

диафрагмы через кольцевые зазоры опоры диафрагмы вдоль вала. С ростом давления и за счет упругости диафрагмы происходит увеличение объема полости диафрагмы до ее соприкосновения с внутренней поверхностью корпуса. При достижении давления 0,05–0,17 МПа (0,5–1,7 кгс/см²) срабатывает кольцевая пружина и излишек масла вытесняется в задиафрагменное пространство. Через продольные отверстия нижнего ниппеля и кольцевые зазоры опоры диафрагмы вдоль вала масло перетекает во внутреннюю полость верхней диафрагмы. При дальнейшем увеличении объема и соответственно давления – цикл повторяется с верхней диафрагмой, где избыточное масло внутренней полости сбрасывается в задиафрагменное пространство и смешивается с пластовой жидкостью.

При этом за счет большой несущей способности осевой опоры осевые нагрузки от вала насоса, воспринимаемые парой пята – подпятник, содержащих керамические опоры, не приводят к нагреву зоны трения осевой опоры, а соответственно и всего устройства гидрозащиты. Кроме того, наличие на верхней торцевой поверхности керамической опоры подпятника радиальных канавок, предназначенных для смазки поверхности трения маслом и вывода через них механических частиц, попадающих в зону трения, позволяет сократить потери мощности, снизить нагрев трущихся деталей и исключить их повреждение.

Таким образом, применение вместо опорных подшипников в устройстве гидрозащиты погружного электродвигателя, осевой опоры в виде упорных подшипников скольжения, позволяет сократить потери мощности на осевой опоре, обеспечив режим жидкостного трения при более высоких нагрузках и упростить конструкцию узла.

Данная гидрозащита ПЭД в период 2012 по 2015 годы была внедрена на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь. Всего было внедрено 11 гидрозащит с усиленной осевой опорой. Средняя наработка на отказ составила 616 суток. Расчет экономической эффективности от внедрения данного устройства показал, что экономия денежных средств от внедрения 11 устройств составила более 90 тыс. рублей без НДС.

Литература

1. URL : https://rengm.ru/rengm/gidrozashhita-pjed.html
2. Костилевский В.А., Кочкуров С.А., Зубарев В.П., Ткач А.В., Хайретдинов Р.Р., Цепилов М.А. Устройство гидравлической защиты погружного электроческого двигателя с усиленной осевой опорой : патент на полезную модель RUS № 193137. Заявка № 2018141993 от 29.11.2018. – Опубл. 16.10.2019.

References

1. URL : https://rengm.ru/rengm/gidrozashhita-pjed.html
2. Kostilevsky V.A., Kochkurov S.A., Zubarev V.P., Tkach A.V., Khayretdinov R.R., Tsepilov M.A. Device for hydraulic protection of a submersible hydraulic motor with a reinforced axial support patent for utility model RUS № 193137. Application № 2018141993 dated 29.11.2018. – Publ. 16.10.2019.

УДК 550, 553

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА УГЛЯ И ХАРАКТЕРИСТИК КРУПНОСТИ

●●●●●●

DETERMINATION OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF COAL AND PARTICLE SIZE CHARACTERISTICS

Курмазова Надежда Александровна
аспирант
кафедры обогащения
полезных ископаемых и вторичного сырья,
Забайкальский государственный университет
KurmazovaNA@mail.ru

Храмов Анатолий Николаевич
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры обогащения
полезных ископаемых и вторичного сырья,
Забайкальский государственный университет

Аннотация. Данная статья описывает лабораторные исследования гранулометрического состава и характеристик проб угля, отобранных на разрезе «Восточном» Забайкальского края. Представлены измерительные и весовые показатели проб. Построены графики характеристик крупности проб угля по частным выходам, а также суммарные характеристики крупности проб. В конечном итоге приведен сравнительный анализ проб угля.

Ключевые слова: гранулометрический состав, крупность, пробы, суммарный выход, ситовой анализ, частный выход.

Kurmazova Nadezhda Aleksandrovna
Graduate student
of the department of mineral processing
and secondary raw materials,
Transbaikal state university
KurmazovaNA@mail.ru

Hramov Anatoly Nikolaevich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor Department
of Mineral Processing
and Secondary Raw Materials,
Transbaikal state university

Annotation. This article describes laboratory studies of the particle size distribution and characteristics of coal samples taken in the Vostochny section of the Transbaikal Territory. Measurement and weight indicators of samples are presented. Plots of the characteristics of the fineness of coal samples by private outputs, as well as the total characteristics of the fineness of the samples are constructed. Ultimately, a comparative analysis of coal samples.

Keywords: particle size distribution, fineness, samples, total yield, sieve analysis, private yield.

Для лабораторных исследований были отобраны пробы угля на угольном складе разреза «Восточный».

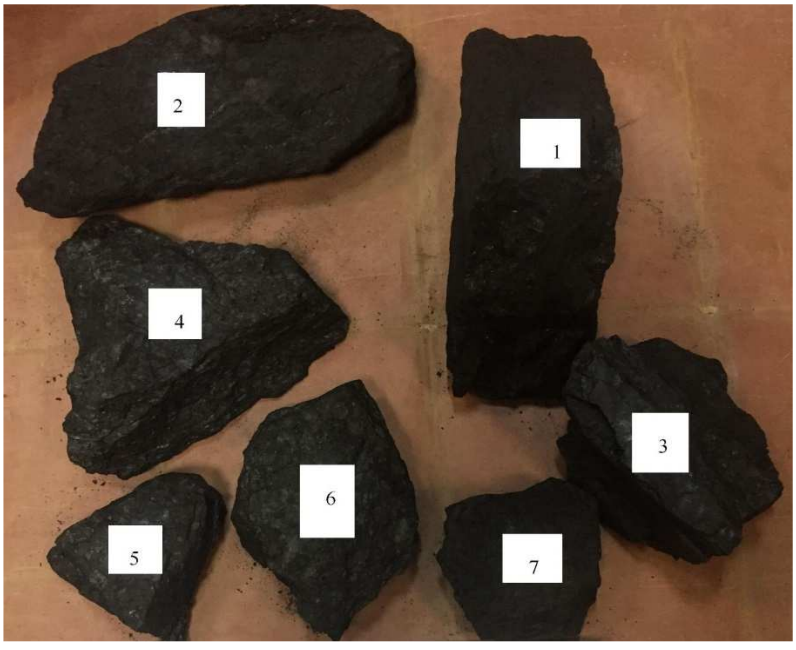


Рисунок 1 – Пробы угля

Перед началом исследования все пробы были измерены и взвешены. Также были произведены расчеты насыпной плотности проб. Расчет относительной плотности проб определялся по вытесненному объему жидкости. Пробы помещались в мерный сосуд с водой и замерялось количество воды до и после погружения пробы. Плотность пробы в вытесненной жидкости может быть найдена из формулы плотности:

$$p = m/V, \quad (1)$$

где m – масса пробы, г; V – объем вытесненной жидкости, мл.

В таблице показаны измерительные и весовые показатели проб.

Таблица 1 – Измерительные и весовые показатели проб

Номер пробы	Размеры, см.			Вес пробы, г	Объем пробы, см³	Объем вытесненной жидкости, мл	Насыпная плотность пробы, г/см³	Плотность пробы, г/см³
	Длина	Высота	Ширина					
1	20,0	13,0	7,5	1631,4	1800,0	1,61	1,08	1,61
2	13,0	6,9	12,0	856,3	1076,4	1,3	0,79	1,3
3	15,3	6,9	12,0	579,3	126б,8	1,31	0,69	1,31
4	15,3	6,5	13,5	659,3	1342,6	1,29	0,59	1,29
5	9,2	4,2	7,3	277,0	282,1	1,3	0,91	1,3
6	15,3	3,5	9,8	405,1	524,8	1,28	0,77	1,28
7	9,5	4,0	9,8	372,3	353,8	1,57	1,05	1,57

Наибольшую плотность составляют пробы № 1 и № 7. При помощи щековой дробилки пробы угля № 1 и № 7 были дроблены и проведен гранулометрический состав ситовым методом анализа.

Все пробы для ситового анализа выбирается в зависимости от размера наибольшего зерна и обычно составляет для материала крупностью 0,1–0,5 мм, для крупности 1–3 мм – 200–500 г [1, 2].

Отобранные пробы угля после дробления, помещается в набор сит с постепенно убывающими размерами отверстий и подвергается рассеву. После рассева, каждый класс, взвешивается. Сумма выходов всех полученных классов не должна расходится более, чем на 1 % с весом исходного угля. Если это условно выдерживается, то сумма весов всех классов принимается за 100 %. Характеристики крупности делят на частные по выходам отдельных классов и суммарные – по суммарным выходам классов [3, 4].

Частный выход – это вес одного класса, выраженный в процентах от общего веса анализируемой пробы.

Суммарный выход – это сумма выходов всех классов мельче или крупнее данного размера (в процентах). Суммарные характеристики рассчитывают по плюсу и по минусу. Суммарный выход по плюсу показывает, процент от всей пробы, который остался на данном сите. Суммарный выход по минусу показывает, процент от всей пробы, который прошел через данное сито [5].

Результаты ситового анализа пробы №1 показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты ситового анализа пробы № 1

Класс крупности, мм	Средний диаметр зерен, мм	Частный выход, Y		Суммарный выход, (ΣY), %	
		г	%	по плюсу	по минусу
+10	8,5	42,4	2,6	2,6	100
–10 +5	5,5	536,3	32,9	35,5	97,4
–5 +2	3,75	399,3	24,5	62,0	64,5
–2,5 +1	1,75	334,1	20,5	80,5	40,0
–1 +0,4	0,7	198,8	12,2	92,7	19,5
–0,5 +0	0,2	118,9	7,3	100	7,3
Итого:		1629,8	100 %	–	–

Потери зерен при дроблении и ситовом анализе пробы №1 составили 1,6 г. – 0,016 %.

На рисунке 2, 3 графически показаны результаты расчетов пробы № 1.

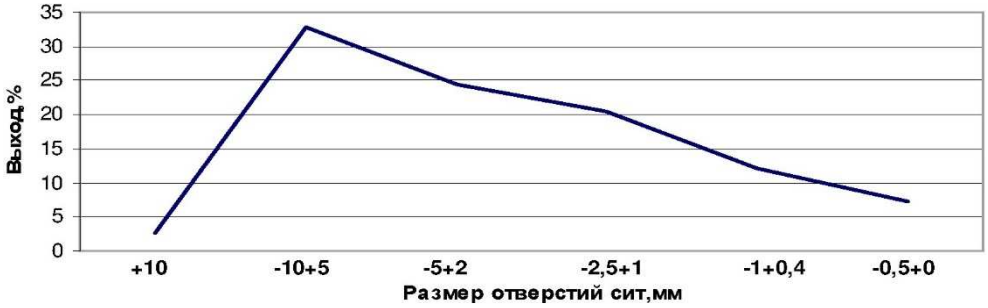


Рисунок 2 – Характеристика крупности по частным выходам проба № 1

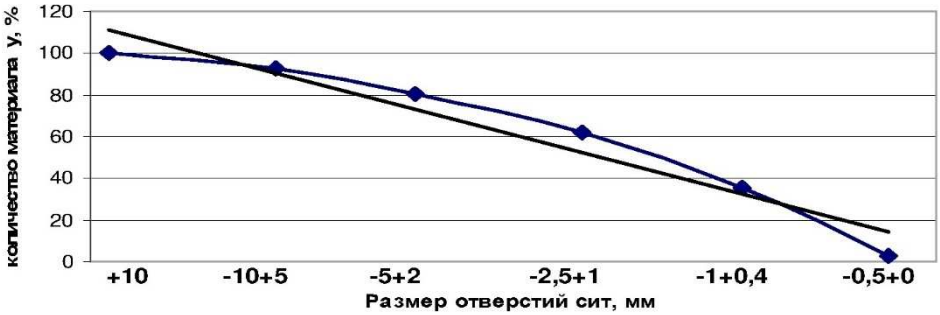


Рисунок 3 – Суммарная характеристика крупности пробы № 1

Дискретные точки на кривых характеризуют количество материала, оставшегося на сите с определенным размером отверстия. За 100 % принято исходное количество материала, поступившего на анализ.

На графике 3 наблюдается выпуклая форма характеристики крупности, что свидетельствует о преобладании в материале крупных зерен.

В таблице 3 представлены результаты ситового анализа пробы № 7.

Таблица 3 – Результаты ситового анализа пробы № 7

Класс крупности, мм	Средний диаметр зерен, мм	Частный выход, Y		Суммарный выход, (ΣY), %	
		г	%	по плюсу	по минусу
+10	8,5	53,1	14,3	14,3	100
–10 +5	5,5	21,2	5,7	20,0	85,7
–5 +2	3,75	29,7	8,0	28,0	80,0
–2,5 +1	1,75	52,7	14,2	43,6	72,0
–1 +0,4	0,7	106,6	28,7	70,9	57,8
–0,5 +0	0,2	108,1	29,1	100	29,1
Итого:		371,4	100 %	–	–

Потери зерен при дроблении и ситовом анализе пробы № 7 составили 0,9 г. – 0,009 %.

На рисунках 4 и 5 графически показаны результаты расчетов пробы № 7.

Рисунок 4 – Характеристика крупности по частным выходам проба № 7

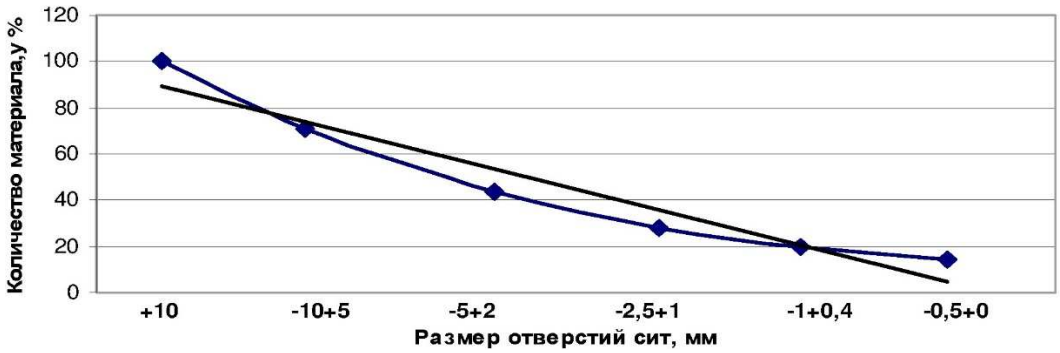


Рисунок 5 – Суммарная характеристика крупности пробы № 7

На графике 5 наблюдается вогнутая форма характеристики крупности, что свидетельствует о преобладании в материале мелких зерен.

Сравнительные характеристики крупности проб по частным выходам представлены на рисунке 6.

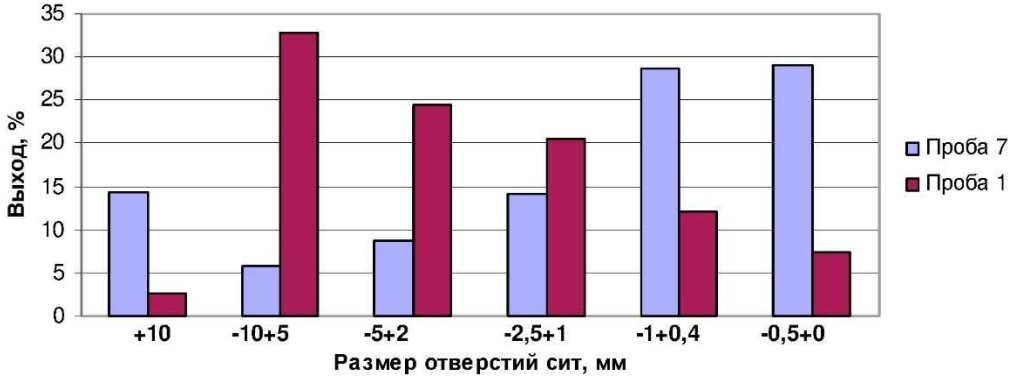


Рисунок 6 – Сравнительные характеристики крупности по частным выходам

Таким образом, в пробе № 1 лидируют частицы от –10 +5 мм, а в пробе № 7 преобладают более мелкие частицы от –1 +0,4 мм, что является показателем рыхлости проб. Проба № 7 более подвержена дроблению, чем проба № 1, значит, содержит меньше влаги и зольности. Дальнейшие исследования проведем на пробе № 1 по определению фракционного анализа и выявлению в пробах количества зольности.

Литература

1. Абрамов, А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых в 3 томах. – М. : МГГУ, 2001. – Т.1: Обогатительные процессы и аппараты. – 423 с.
2. Андреев Е.Е., Зверевич В.В., Петров В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М. : Недра, 1980.
3. Зверевич В.В., Перов В.А. Основы обогащения полезных ископаемых. – М. : Недра, 1985.
4. Перов В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / В.В. Перов, Е.Е. Андреев, Л.Ф. Биленко. – М. : Недра,1990. – 301 с.
5. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М. : Недра, 1985. – 290 с.

References

1. Abramov A.A. Processing, concentration and complex use of solid minerals in 3 volumes. – M. : MGGU, 2001. – Vol. 1: Enrichment processes and apparatuses. – 423 p.
2. Andreev E.E., Zverevich V.V., Petrov V.A. Crushing, crushing and screening of minerals. – M. : Nedra, 1980.
3. Zverevich V.V., Perov V.A., Fundamentals of Enrichment of Minerals. – M. : Nedra, 1985.
4. Perov V.V. Shredding, Grinding and Screening of Minerals / V.V. Perov, E.E. Andreev, L.F. Bilenko. – M. : Nedra, 1990. – 301 p.
5. Sergo E.E. Minerals Shredding, Grinding and Screening. – M. : Nedra, 1985. – 290 p.

УДК 621.891.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТИ ВОССТАНОВЛЕННОЙ КОРОНКИ РЫХЛИТЕЛЯ KOMATSU D375A

●●●●●●

SURFACE CHARACTERISTICS OF THE RESTORED OF THE CROWN OF THE RIPPER KOMATSU D375A

Лебедев Дмитрий Иосифович
кандидат технических наук,
научный сотрудник,
Институт физико-технических
проблем Севера им. В.П. Ларионова
Сибирского Отделения РАН
uranhai@rambler.ru

Аннотация. В работе приведены результаты натурных испытаний на износ и прочность наплавленной коронки рыхлителя бульдозера KOMATSU D375A. Установлено, что восстановленная коронка имеет высокие показатели прочности к излому и износостойкости, по эксплуатационным свойствам практически не отличается от новых заводских аналогов. Представлены результаты аналитических исследований наплавленного слоя и сравнительных профилометрических измерений равновесных поверхностей трения.

Ключевые слова: коронка рыхлителя, наплавка, порошковое покрытие, натурные испытания, износ, профиль, поверхность трения.

Lebedev Dmitry Iosifovich
Candidate of Technical Sciences,
Researcher,
Institute of Physics and Technology problems
of the North named after V.P. Larionov
Siberian Branch of RAS
uranhai@rambler.ru

Annotation. Results of natural tests for wear and durability of the built-up crown of the ripper of the bulldozer KOMATSU D375A are given in work. It is established that the restored crown has high rates of durability to a break and wear resistance, on operational properties practically doesn't differ from new factory analogs. Results of analytical researches of the built-up layer and comparative profilometric measurements of equilibrium surfaces of friction are presented.

Keywords: ripper crown, surfacing, powder covering, natural tests, wear, profile, friction surface.

Введение

Как показывает многолетняя практика, эксплуатация горнодобывающей техники при экстремальных условиях Севера приводит к интенсивному износу, в первую очередь, рабочих элементов. Особенно актуальным является повышение срока службы режущих деталей землеройной техники, работающей при низких климатических температурах. Материалы рабочих элементов землеройной техники являются достаточно дорогостоящими; поэтому для повышения износостойкости режущих деталей целесообразно их восстановление с упрочнением. При этом наиболее перспективным является использование высокоэнергетических технологий порошковой металлургии, которые в настоящее время достаточно разработаны. Поэтому актуальным является анализ характера изнашивания поверхности трения восстановленных рабочих элементов техники при эксплуатации в натурных природно-климатических условиях Севера.

Материалы и методика аналитических исследований

Объектом исследования является материал изношенной коронки рыхлителя землеройной машины, эксплуатирующейся в условиях Крайнего Севера. Коронка итальянского производства (Italricambi) является рабочим элементом бульдозера KOMATSU D375A, принадлежащего ОАО «Алмазы Анабара» (г. Якутск). Коронка изготовлена методом ковки и предназначена для резания скальных и абразивных грунтов. Начальный вес коронки рыхлителя составляет 16 кг; рабочие элементы предоставлены после использования в производстве (рис. 1).

На рисунке 1, б показаны изношенные коронки рыхлителя бульдозера KOMATSU D375A, которые были отработаны на карьере ООО «Монолит» (п. Верхний Бестях Хангаласского района Республики Саха (Якутия)). Как видно из рисунка, износ коронки достаточно большой, практически отсутствует рабочая грань коронки. Перемещение режущей кромки исследуемой коронки рыхлителя в результате изнашивания составило приблизительно ≈100 мм.

Для исследования состава, структуры и свойств были изготовлены поперечные шлифы коронки. Металлографическим анализом выявлено, что металл коронки имеет, как это свойственно кованым изделиям, зонально неоднородное строение. По химическому составу материал коронки рыхлителя наиболее близок к отечественной легированной улучшаемой конструкционной стали 35ХГСА (ГОСТ 4543-71) [6]. Стали этого класса (хромансили) применяются для ответственных сварных конструкций, а также при изготовлении деталей, работающих в условиях износа.

а б

Рисунок 1 – Изношенные коронки рыхлителя:
а) общий вид; б) вид сверху

Для предотвращения обнаруженного катастрофического износа исходного материала коронки при эксплуатации наиболее перспективным способом повышения износостойкости рабочего элемента выбрана технология наплавки его поверхности порошковой проволокой. Восстановление изношенных коронок рыхлителя до первоначальных размеров ввиду большого износа требует больших затрат и технологических трудностей, что является экономически не выгодным. Поэтому по рекомендуемым параметрам наплавки был нанесен дополнительный упрочняющий слой металла порошковой проволокой ПП 70Х4М3Г2ФТР. Микрогеометрия поверхности трения коронки исследована профилометром SJ-201P, строение поверхности трения – на стереоскопическом микроскопе «Stemi 2000C». Обработка экспериментальных результатов проведена в программной среде MathCad и в электронных таблицах Excel.

Для проверки технических характеристик восстановленных коронок рыхлителя проведены испытания на излом (отжим с изменением угла атаки, рис. 2). При этом изгибающая нагрузка на коронку передается с изменением угла атаки под собственным весом бульдозера, в данном испытании коронка выдержала нагрузку 1/3 веса бульдозера (общий вес KOMATSU D375A 69 тонн). Это свидетельствует о том, что восстановленная коронка рыхлителя имеет высокие показатели прочности к излому.

а б

Рисунок 2 – Наплавленная коронка рыхлителя:
а) общий вид; б) испытания на излом при разных углах атаки

Поверхность трения режущей грани имеет градиентную по высоте структуру и характеризуется более высокими значениями параметров Ra, Rq, Rz. Данные характеристики влияют на уровень критических давлений на выступы поверхности трения, когда упругие деформации переходят в пластические. При таких давлениях начинаются необратимые процессы на поверхности рабочего элемента, приводящие к его катастрофическому изнашиванию.

Качественная картина рельефа поверхности трения исходной коронки согласуется с изменением шероховатости: ввиду более значительного разупрочнения режущей грани по сравнению с передней, ее износ идет с образованием преимущественно лунок и борозд, дающих значительные перепады рельефа. Изменение твердости металла передней грани менее значительно, и структурные элементы рельефа представлены в основном царапинами и рисками.

Для сравнения в работе исследованы характеристики Ra, Rz, Rq поверхности трения наплавленной коронки рыхлителя в процессе эксплуатации. Шероховатость при натурных испытаниях возрастает, далее снижается до существенно меньших значений, чем у обеих граней исходной коронки.

Как показывает практика, для износостойких порошковых материалов и покрытий при трении скольжения приработка занимает 1–2 ч испытаний. Если предположить, что через 3 часа работы формируется равновесная поверхность трения упрочненной коронки, это свидетельствует о механизме ударно-абразивного изнашивания наплавленного слоя, отличном от стального материала. Поэтому для исследования изнашивания актуальным является проведение в дальнейшем металлографического анализа поверхности трения наплавленной коронки.

Литература

1. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление. – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.
2. Борисов Ю.С. [и др.]. Газотермические покрытия из порошковых материалов : Справочник. – Киев : Наукова думка, 1987. – 544 с.
3. Шехтер С.Я., Резницкий А.М. Наплавка металлов. – М. : Машиностроение, 1982. – 71 с.
4. Линник В.А., Пекшев П.Ю. Современная техника газотермического нанесения покрытий. – М. : Машиностроение, 1985. – 128 с.
5. Бороненков В.Н., Коробов Ю.С. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2012. – 268 с.
6. Сорокин В.Г. [и др.]. Марочник сталей и сплавов. – М. : Машиностроение, 1089. – 640 с.
7. Лахтин Ю.М. Основы металловедения. – М. : Металлургия, 1988. – 320 с.

References

1. Hasui A., Morigaki O. Hardfacing and spraying. – M. : Mechanical Engineering, 1985. – 240 p.
2. Borisov Yu.S. [et al.]. Gas-thermal Coatings of Powder Materials : A Reference Book. – Kiev : Naukova dumka, 1987. – 544 p.
3. Shechter S.Ya., Reznitsky A.M. Metal Hardfacing. – M. : Mechanical Engineering, 1982. – 71 p.
4. Linnik V.A., Pekshev P.Yu. Modern technique of gas-thermal coating. – M. : Mashinostroyenie, 1985. – 128 p.
5. Boronenkov V.N., Korobov Yu.S. Basics of Arc Metalization. Physical and Chemical Laws. – Yekaterinburg : Ural University Press, 2012. – 268 p.
6. Sorokin V.G. [et al.]. Maroon of Steels and Alloys. – M. : Mechanical Engineering, 1089. – 640 p.
7. Lakhtin Yu.M. Basics of metallurgical science. – M. : Metallurgy, 1988. – 320 p.

УДК 621.182.176; 627.32

АНАЛИЗ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ТРУБОПРОВОДОВ И ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

●●●●●●

ANALYSIS OF CORROSION WEAR OF PIPELINES AND HEAT NETWORKS

Маликов Нурбол Муратович
магистр,
преподаватель кафедры
энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Нешина Елена Геннадьевна
магистр, старший преподаватель
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Альмусин Гали Такимович
кандидат технических наук,
профессор кафедры
энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Амантай Жандос Ержанұлы
магистрант 2 курса
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет
nurbolmalikovxd@mail.ru

Аннотация. В статье выполнено теоретическое исследование коррозионного износа, изменение скорости коррозии, допустимой динамического напряжения в условиях коррозионного износа трубопроводов и теплоэнергетического оборудования. В данной научной статье раскрывается, ряд интересных явлений, происходящих при поражении коррозией, метала. Исследованы основные уязвимые места тепловых сетей, а также участки с наименьшим риском прорыва. За основу исследований взяты данные, полученные от служб местных ЖКХ г.Караганда. Вовремя написание статьи были изучены материалы, полученные в течение одного отопительного периода. Исследовано динамическое напряжение в стенке трубопровода, проблемы, возникающие при проектировании трубопроводов и теплоэнергетического оборудования, предложены ряд решений этих проблем. Выявлены ряд факторов, условий для правильной и надежной работы, рассчитаны реальные сроки эксплуатации тепловых сетей.

Ключевые слова: коррозия, скорость коррозии, трубопроводы и теплоэнергетическое оборудование.

Malikov Nurbol Muratovich
Master's degree, teacher of the Department
of energy systems,
Karaganda state technical university

Neshina Yelena Gennadievna
Master's degree,
Senior lecturer of the Department
of energy systems,
Karaganda state technical university

Almusin Gali Takimovich
Candidate of Engineering Sciences,
Professor of the Department
of energy systems,
Karaganda state technical university

Amantai Zhandos Erzhanuly
2st year master's student
of the Department of energy systems,
Karaganda state technical university
nurbolmalikovxd@mail.ru

Annotation. The article carried out a theoretical study of corrosion wear, a change in the corrosion rate, permissible dynamic stress in the conditions of corrosion wear of pipelines and heat power equipment. This scientific article reveals a number of interesting phenomena that occur when metal is damaged by corrosion. The main vulnerabilities of heating networks, as well as areas with the least risk of a breakthrough, were investigated. The research was based on data obtained from the local utility's services of the city of Karaganda. At the time of writing, the materials obtained during one heating period were studied. The dynamic stress in the wall of the pipeline, the problems that arise during the design of pipelines and heat power equipment, are investigated, and a number of solutions to these problems are proposed. A number of factors, conditions for the correct and reliable operation were identified, the real life of heating networks was calculated.

Keywords: corrosion, corrosion rate, pipelines and heat power equipment.

Трубопроводные системы теплоснабжения работают в условиях, когда транспортируемая по ним горячая вода обладает коррозионной активностью.

По действующим нормам в прочностных расчетах этих трубопроводов учитывается работа под статической нагрузкой при отсутствии коррозии, проектирование же защиты от почвенной коррозии ведут без учета механических напряжений и структурно чувствительных свойств стали. Однако в реальных условиях вышеназванные трубопроводы и их сварные узлы испытывают действия как статических,

так и динамических нагрузок от колебаний давления, температуры и вибрации при одновременном действии коррозионной среды (внутренней и внешней), приводящих в совокупности к коррозионной усталости металла. Раздельный подход к механике и коррозии игнорирует хорошо известный факт, что совместное действие коррозии и переменных механических напряжений неизбежно вызывает механохимические явления, отсутствующие при коррозии ненапряженного металла или при механическом нагружении без воздействия коррозионной среды: значительное увеличение скорости коррозии напряженного и деформированного металла по сравнению с ненапряженным (механохимическая коррозия) и потеря металлом сопротивляемости нагрузкам, намного меньшим стандартных предела прочности или предела усталости.

Влияние напряжений на коррозию многократно усиливается в местах резких изменений геометрической формы поверхности, являющихся концентраторами напряжения (сварные швы, поверхностные дефекты, царапины, задиры и т.п.), что вызывает неравномерность коррозии и ее локализацию. В результате этого возникает коррозионная усталость металла, характеризующаяся развитием коррозионного процесса в вершине коррозионно-механической трещины, приводящей к разрушению. Факты, приведенные в некоторых работах, подтверждают коррозионно-усталостную природу возникновения трещин при разрушениях на ряде теплопроводов.

Для определения скорости коррозии на практике используются испытания на образцах-свидетелях, установленных в действующие трубопроводы. Однако, получаемые при таких испытаниях результаты, не учитывают влияния напряженного состояния, возникающего в стенках, на скорость коррозии.

Изменение скорости коррозии под действием механических напряжений можно определить, используя зависимость:

$$C = C_0 * \exp\ (\frac{V_m \delta_q}{RT}), \quad (1)$$

где C – скорость коррозии металла при действии механических напряжений; C_0 – скорость коррозии ненапряженного металла; VM – мольный объем металла; δ_q – напряжение испытываемое материалом стенок; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура.

Из уравнения видно, что с увеличением величины δ_q повышается скорость коррозии. Таким образом, в зонах концентрации напряжений металл будет корродировать быстрее.

Переменный характер действующей на трубопровод нагрузки и другие факторы могут привести к образованию микротрещин в материале стенок. На концах микротрещин напряжения будут близки к разрушающим, поэтому с течением времени размеры микротрещин будут увеличиваться, расширяя зону коррозии. При этом, максимальная скорость коррозии будет на тех участках, на которых напряжения будут близки к прочности материал δ_{np}. Исходя из этого, наибольшее изменение скорости коррозии можно определить из формулы:

$$\beta = \frac{C}{C_0} * \exp\ (\frac{V_m \delta_{\text{вр}}}{RT}). \quad (2)$$

Расчеты по формуле показывают, что для трубопроводов из низкоуглеродистой стали с $\delta_{\text{вр}}$ = 550 МПа величина β = 4,86, т.е. скорость коррозии увеличивается почти в 5 раз. Этот результат согласуется с результатами натурных наблюдений.

Если исключить различные дефекты, наиболее уязвимым звеном трубопроводов является зона сварного соединения.

Испытания по симметричному циклу показали, что при чистом изгибе образцов из стали 17 ПС, внутренний и наружный шов влияет на долговечность соединений с большей значимостью по сравнению с долговечностью металла трубы. Также испытания показали, что долговечность образцов со сварными швами в четыре с лишним раза меньше образцов без сварных швов, а коррозионно активная среда (3 % хлорид натрия, имитирующий пластовые воды) во всех случаях снижает долговечность более чем на 30 %. И хотя эти экспериментальные данные не полностью подтверждают результаты оценок увеличения скорости коррозии, приведенных выше – это стоит отнести к временному фактору, а именно к тому, что испытания на усталость образцов вырезанных из трубопровода проводились в течение короткого промежутка времени с частотой нагружения чистым изгибом 50 циклов в минуту.

Учитывая, что большинство трубопроводов работает при рабочих давлениях, вызывающих напряжения в материале трубы до 0,4–0,5 от предела текучести – 8 т, реальное уменьшение срока службы трубопровода при воздействии переменных нагрузок можно оценить в восемь-десять раз, т.е. при расчетном сроке эксплуатации 30–40 лет, реальный срок жизни трубопровода до разрыва не превысит 5–6 лет. Для реальной оценки допустимой составляющей от динамической нагрузки на трубопровод можно использовать результаты проведенных ремонтных работ службы ЖКХ Элементы трубопроводов перекачивающих станций, наряду с указанной нагрузкой, испытывают воздействие

высокочастотной составляющей переменных составляющих относительно малой амплитуды. Амплитуда составляет 4–7 МПа при частотах 280–350 Гц на перекачивающих насосных станциях (ПНС).

Исследования многих ученых показали, что в зонах концентрации напряжений в связи с высоким градиентом деформаций, наблюдается нагружение, близкое к жесткому. А также показали, что независимо от типа материала и зон сварного соединения данные по долговечности при этом типе нагружения образуют единую полосу разброса, хорошо описываемую уравнениями Мэнсона при минимальных и максимальных значениях $\delta_{\text{ь}}$ для данного материала:

$$\varepsilon * N^m = \frac{\ln\left(\frac{1}{1-\theta}\right)}{2} . \quad (3)$$

где ε – амплитуда деформации; N – число циклов до разрушения; θ – относительное сужение после статических испытаний на разрыв; m = 0,5 – для коррозионно неактивных сред при нормальной температуре.

Очень важным является вопрос возможности зарождения и распространения усталостных трещин в трубопроводах при переменных напряжениях малой амплитуды. Результаты исследований, приведенные в работе, показывают, что при плоском напряженном состоянии и отношении главных напряжений $\frac{\delta_t}{\delta_m}$ = 0,5 (что характерно для трубопроводов), а также при наличии остаточных напряжений в сварных швах максимальная предельная амплитуда изменения напряжения для низкоуглеродистых сталей не превышает 10 МПа при общем числе циклов нагружения N = 105 и статической составляющей порядка 0,7–0,8 от δ_t .

С учетом изложенного, представляется целесообразным для трубопроводных систем теплоснабжения в условиях коррозионного износа ограничить допустимую динамическую составляющую напряжения в стенке трубопровода из-за воздействия волновых и вибрационных процессов величиной $\Delta\delta_q \leq 2 - 3$ МПа

В процессе эксплуатации трубопроводных систем теплоснабжения, неизбежно возникают достаточно интенсивные волновые (колебания давления, гидроудары и т.п.) и вибрационные процессы из-за включения или отключения дополнительных циркуляционных насосов, подпиточных насосов, аварийных отключений электропитания, ошибочных действий обслуживающего персонала и т.п., которые приводят к возникновению, с течением времени, усталостных и коррозионно-усталостных трещин в местах сварных соединений или каких либо дефектов, являющихся концентраторами напряжений (царапины, задиры, заводские дефекты и пр.).

Все эти факторы, как правило, не учитываются при проектировании трубопроводных систем. В большинстве нормативных документов, в лучшем случае, регламентируются допустимые уровни вибрации трубопроводов, а требования к пульсациям давления в этих документах отсутствуют. В нормативных документах многих отраслей промышленности отсутствуют не только ограничения на колебания (пульсации) давления в трубопроводах, но и ограничения на уровень вибрации. Следствием этого является высокая и постоянно возрастающая аварийность на трубопроводном транспорте (на 7-9 % ежегодно).

Литературы

1. Авторегуляторы горячего водоснабжения конструкции ОРГРЭС.
2. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – М. : Недра, 1970.

References

1. Auto regulators of hot water supply of ORGRES design.
2. Altshul A.D. Hydraulic Resistances. – M. : Nedra, 1970.

УДК 681.518

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕДУКЦИОННО-ОХЛАДИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ ПАРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

●●●●●●

MATHEMATICAL MODEL OF A STEAM REDUCTION AND COOLING UNIT IN STEAM SUPPLY SYSTEMS OF OIL REFINING PRODUCTION

Матвейкин Валерий Григорьевич
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
информационные процессы и управление,
Тамбовский государственный
технический университет

Дмитриевский Борис Сергеевич
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры
информационные процессы и управление,
Тамбовский государственный
технический университет

Василевский Константин Сергеевич
аспирант,
Тамбовский государственный
технический университет
kvasilevskii@yandex.ru

Толстошеин Сергей Серафимович
кандидат технических наук,
генеральный директор,
ООО «Системы моделирования»
stolstoshein@yandex.ru

Аннотация. В статье проанализирована конструкция редукционно-охладительной установки, используемой на нефтеперерабатывающих заводах в системе обеспечения паром технологических объектов. Для уменьшения энергозатрат производства, при реализации современных алгоритмов управления, необходимо математическое описание процессов. С этой целью редукционно-охладительная установка рассмотрена как объект управления, предложена ее математическая модель.

Ключевые слова: редукционно-охладительная установка, пароснабжение, давление пара, температура пара, расход пара, математическая модель.

Matveykin Valery Grigoryevich
Doctor of technical Sciences, Professor,
Head of the Department
Information processes and management,
Tambov state technical university

Dmitrievsky Boris Sergeevich
Doctor of technical Sciences, Professor,
Professor of the Department
Information processes and management,
Tambov state technical university

Vasilevsky Konstantin Sergeevich
Graduate student,
Tambov state technical university
kvasilevskii@yandex.ru

Tolstoshein Sergey Serafimovich
Candidate of technical Sciences,
Manager,
LLC «Modeling systems»
stolstoshein@yandex.ru

Annotation. The article provides an analysis of the steam reduction and cooling unit, which is used in oil refineries in steam supply systems. Mathematical model of the process is required to reduce the energy consumption of production by implementing modern control algorithms.

Keywords: steam reduction and cooling unit, steam pressure, steam temperature, steam flow, mathematical model.

Редукционно-охладительные установки (РОУ) применяются прежде всего на нефтеперерабатывающих предприятиях для снижения (редуцирования) давления и снижения температуры пара до необходимых параметров. РОУ обычно применяются для растопки котлов, резервирования производственных отборов турбин в схемах энергоблоков среднего и низкого давления, отпуска пара в промышленные отборы, на собственные нужды электростанций и при отсутствии других источников пара требуемых параметров. Температура и давление пара на выходе РОУ не зависят от того, насколько стабильно работает источник, и имеют постоянные характеристики. РОУ предназначены для снижения показателей температуры и давления пара до значений, необходимых потребителю.

Конструкция РОУ достаточно проста, в упрощенном варианте РОУ состоит из управляемого клапана подачи пара и клапана подачи воды в камеру смешения.

Алгоритм работы РОУ: по паропроводу острый пар через запорную задвижку поступает к дросселюрегулирующему клапану, в котором осуществляется первая ступень снижения давления (дросселирования) пара.

Снижение температуры острого пара производится впрыском охлаждающей воды в поток пара через специальную трубку в дроссельно-охладительной решетке узла шумоглушителя или через сопло в охладитель пара. Охлаждающая вода, испаряясь, охлаждает его до заданной температуры.

Заданное значение температуры и давления пара на выходе поддерживается регуляторами путем управления дроссельно-регулирующими клапанами паровой и водяной магистрали.

Для ручного регулирования температуры пара предусмотрен клапан, регулирующий игольчатый с ручным приводом [1].

Общая схема РОУ представлена на рисунке 1.

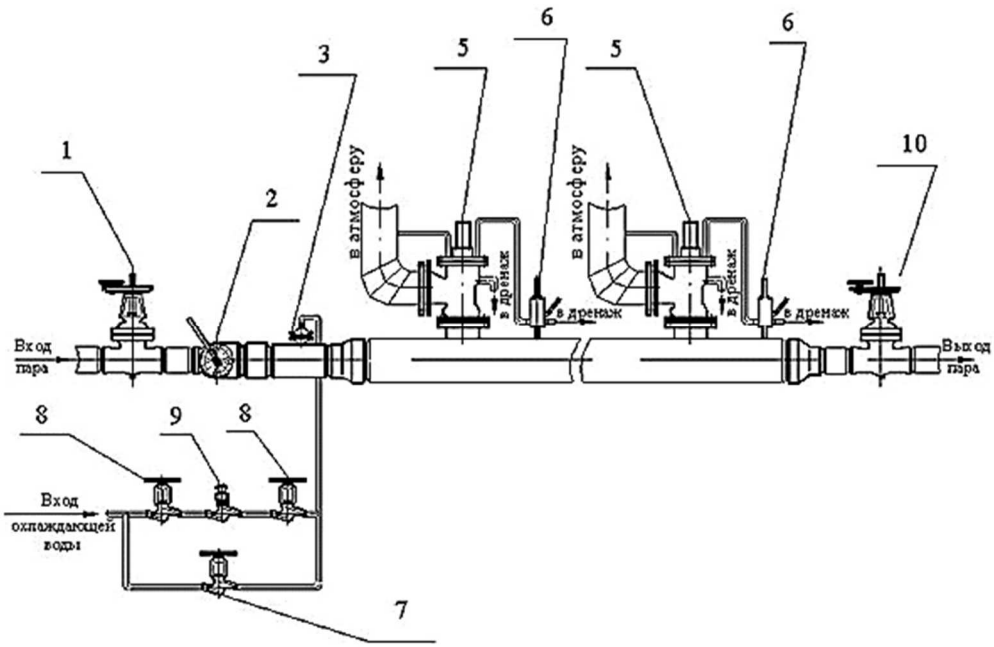


Рисунок 1 – Схема РОУ:
1– задвижка, 2 – клапан регулирующий (пар),
3 – ОП или узел шумоглушителя с дроссельно-охладительной решеткой, 5 – клапан предохранительный,
6 – клапан импульсный, 7 – вентиль игольчатый, 8 – вентиль запорный,
9 – клапан регулирующий (вода), 10 – задвижка

Для анализа установки как объекта управления (ОУ) необходимо составить вектор входных и выходных переменных, а также вектор возмущающих воздействий [2].

Анализа литературных данных и опыт промышленной эксплуатации показывает, что следует в качестве выходных величин выбрать:

1) давление пара на выходе – Рп (МПа);
2) температура пара на выходе – Тп (°С);
3) расход пара после установки – Gп (т/час).

В качестве входных величин выбрать:

1) входной расход пара – $\mathrm{Gп^{вх}}$ $(\mathrm{т/час})$;
2) расход холодной воды – Gв (т/час).

При этом возмущающими воздействиями являются:

1) входная температура пара – $\mathrm{Тп^{вх}}$ $(°\mathrm{C})$;
2) температура воды – Тв (°С).

Схема РОУ как объекта управления представлена на рисунке 2.

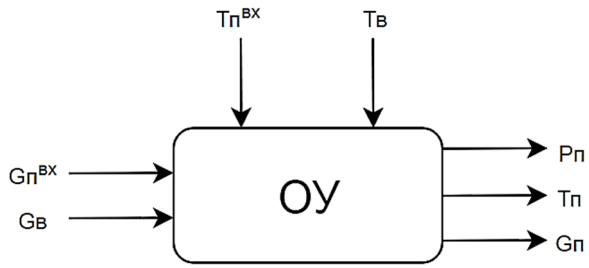


Рисунок 2 – Схема РОУ как объекта управления

Так как РОУ имеет теплоизоляцию, то обмен тепловой энергией с окружающей средой считаем незначительной и не учитываем ее в модели [3]. Обычно для регулирования температуры острого пара в данном аппарате применяется клапан с линейной статической характеристикой.

Опытным путем выяснено:

1. Температура охлаждающей воды поступает в установку из коллектора водопровода. В зависимости от времени года температура воды в коллекторе может принимать значения 15 ±5 °С.

2. В отдаленных участках магистрали подпитки наблюдается просадка температуры пара. Его температура в отдаленных участках равна 420 ±15 °С.

Математическая модель данного объекта состоит из математической системы уравнений, описывающие процессы теплообмена и массопереноса, а также ее решение.

Уравнение материального баланса:

$$\frac{dM_n}{d\tau} = G_n^{вх} + G_в - G_n; \quad (1)$$

Уравнение энергетического баланса:

$$\frac{d(M_n C_n T_n)}{d\tau} = G_n^{вх} i_n^{вх} - G_в C_в (T_в^к - T_в^{вх}) - G_в L - \\ -G_n C_n (T_n - T_в^к) - (G_в + G_n) i_n; \quad (2)$$

$$i_n^{вх} = f_1(P_n^{вх}, T_n^{вх}); \quad (3)$$

$$T_в^к = f_2(P_n); \quad (4)$$

$$i_n = f_1(P_n, T_n); \quad (5)$$

$$G_n^{вх} = \alpha_1 \sqrt{P_n^{вх} - P_n}; \quad (6)$$

$$G_n = \alpha_2 \sqrt{P_n - P_{мас}}; \quad (7)$$

$$Gв = \alpha_3 \sqrt{P_в - P_n}; \quad (8)$$

$$P_n V_n = \frac{M_n}{M_{мол}} R T_n; \quad (9)$$

где $i\text{п}^{\text{вх}}$ – энтальпия входного пара; $i\text{п}$ – энтальпия выходного пара; Мп – масса пара; Ммол – молярная масса пара; Сп – удельная теплоемкость пара; Св – удельная теплоемкость воды; Тп – температура пара на выходе из установки; $\text{Тв}^{\text{кип}}$- температура кипения воды; $\text{Тв}^{\text{вх}}$ – температура водопроводной воды; $\text{Тп}^{\text{вх}}$ – температура входного пара; $G\text{п}^{\text{вх}}$ – расход входного пара; Gп – расход охлажденного пара; Gв-расход водопроводной воды; L – удельная теплота парообразования воды.

Предложенная математическая модель может быть использована для поиска оптимальных параметров в технических и технологических разработках.

Литература

1. Иванец К.Я. Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация / К.Я. Иванец, А.Н. Лейбо. – СПб. : Химия, 1966. – 343 с.

2. Дворецкий С.И. Проектирование автоматизированных систем управления химико-технологическими процессами : Учебное пособие / С.И. Дворецкий, Т.Я. Лазарева. – Тамбов : Издательство ТГТУ, 1993. – 206 с.

3. Грачев Ю.П. Моделирование и оптимизация тепло – и массообменных процессов / Ю.П. Грачев, А.К. Тубольцев, В.К. Тубольцев. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 216 с.

References

1. Ivanets K.Ya. Equipment of oil-refineries and its operation / K.Ya. Ivanets, A.N. Leibo. – St. Petersburg : Chemistry, 1966. – 343 p.

2. Dvoretsky S.I. Design of Automated Control Systems for Chemical and Technological Processes : Textbook / S.I. Dvoretsky, T.Ya. Lazareva. – Tambov : TSTU Publishing House, 1993. – 206 p.

3. Grachev Yu.P. Modeling and Optimization of Heat – and Mass Exchange Processes / Yu.P. Grachev, A.K. Tuboltsev, V.K. Tuboltsev. – M. : Light and Food Industry, 1984. – 216 p.

УДК 621.3

ПЕРВИЧНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОЛЯРОГРАФИЧЕСКОГО ТИПА

●●●●●●

POLAROGRAPHIC TYPE PRIMARY TRANSMITTER

Меликов Эльчин Адиль оглы
кандидат технических наук,
доцент кафедры
управление и инженерия систем,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
elchin03@mail.ru

Сеидов Тофик Сеидага оглы
магистр,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
tofiqseyidov23@gmail.com

Melikov Elchin Adil
Candidate of technical Sciences,
Associate Professor of Control
and engineering systems,
Azerbaijan state university
of oil and industry
elchin03@mail.ru

Seidov Tofig Seidaga
Master,
Azerbaijan state university
of oil and industry
tofiqseyidov23@gmail.com

Аннотация. Исследованы механизмы действия топливных элементов и основные концепции разработки первичного измерительного преобразователя полярографического типа. Выделены отличительные особенности и преимущества данного типа первичного преобразователя.

Ключевые слова: электрохимический процесс, топливный элемент, холодное горение, ионообменная мембрана, полярографический тип.

Annotation. The mechanisms of fuel cells action and the basic concepts of the development for the polarographic type primary measuring transducer are investigated. Distinguishing features and advantages for this type of primary converter are highlighted.

Keywords: electrochemical process, fuel cell, cold combustion, ion-exchange membrane, polarographic type.

Использование на современных нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах многостадийных и каталитических процессов, отличающихся высоким уровнем сложности, а также разработка наиболее оптимальных методов управления протеканием данных технологических процессов определяет необходимость измерения и контролирования как их косвенных показателей, таких как уровень, давление, температура и т.д., так и качественных показателей, среди которых: состав вещества, его плотность и вязкость, характеризующих в полной мере режим функционирования рассматриваемого технологического объекта и протекание на нем процессов.

Одним из наиболее существенных показателей, влияющих на технологические процессы, является состав веществ участвующих в них. Исходя из этого следует, что эффективность автоматической системы управления напрямую зависит от точного измерения датчиками состава и физико-химических показателей как исходного сырья, так и промежуточных и конечных продуктов функционирующей технологической установки.

Следует отметить, что в подавляющем большинстве технологических процессов наибольшая роль отводится на долю газов и паров и в силу специфичности методов их анализа, вопрос их исследования, а также разработки различных газоанализаторов, использующих новые методы, является важным и актуальным [1].

Исходя из того, что протекание всех электрохимических процессов в топливном элементе соответствует общепринятым законам термодинамики, следует вывод, что в них можно конвертировать в электрическую энергию даже самую низкую теплотворную способность, подводимого к нему топлива [2, 3]. Следует отметить, что для подавляющего большинства электрохимических реакций, протекающих в топливном элементе, возникающая э.д.с. составляет примерно 1 вольт. Данная особенность характеризуется тем, что для большинства топлив, подводимых к топливному элементу, отнесенных к 1 грамм эквивалента, теплотворная способность составляет примерно одинаковые значения. Основной необходимостью при проведении расчетов является принятие во внимание второго закона термодинамики, согласно которому лишь часть теплотворной способности может быть конвертирована в электроэнергию из химической энергии.

Известно, что термин «холодное горение» носят протекающие в топливном элементе процессы. Отличительной особенностью электрохимического процесса, называемого «холодным горением», от обычного горения является отсутствие непосредственного контакта между компонентами реакции, что

обуславливается ее протеканием на двух отдельных электродах. Для использования в области контрольно-измерительных приборов и автоматики наибольший интерес представляют низкотемпературные топливные элементы, в которых в качестве реагирующих компонентов используются водород и кислород [4].

При детальном исследовании электрохимических процессов, протекающих в топливном элементе с ионообменными мембранами в качестве электролита выявлено, что их характеристики и поведение идентичны жидким растворам электролитов. Однако, ионообменные мембраны имеют несравненное преимущество перед остальными. В число их преимуществ входят, прежде всего, простота конструкции, высокая работоспособность и стабильные характеристики показателей, хороший выходной сигнал, а также независимость от его местоположения и рабочих условий.

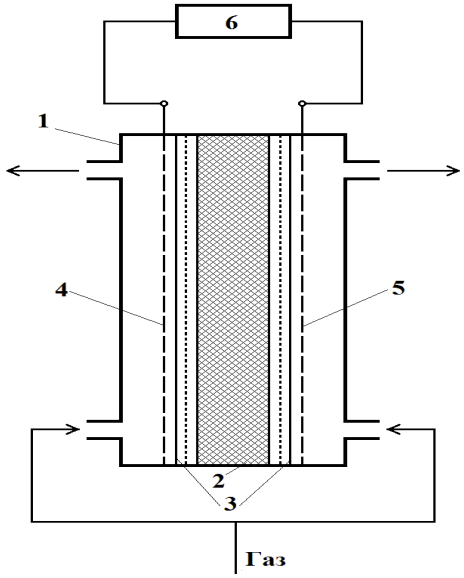
Рассмотрим вариант преобразователя, изображенный на рисунке 1, что представляет собой измерительную схему полярографического типа. Ее отличительными особенностями являются: два электрода, выполненные из идентичного материала, разделенные иононосителем, а также поляризация этих электродов внешним носителем. Материалом электродов для этого первичного преобразователя служит высокоактивная платина, а ионообменная мембрана может находиться как в H^+, так и в OH^- активной форме.

Схема функционирования элемента выглядит следующим образом: Рабочий электрод (Pt) → Иононоситель (H^+ (OH^-)) → Вспомогательный электрод (Pt) → Анализируемая газовая смесь.

Для обеспечения инвариантности системы к изменению концентрации кислорода необходимым условием является исключение его восстановления на рабочем электроде, что обеспечивается включением во внешнюю цепь внешнего источника напряжения, значение величины которого обеспечивает на рабочем электроде потенциал, равный стационарному кислородному электроду в разомкнутом состоянии цепи.

Преобразователь концентрации водорода полярографического типа, представленный на рисунке 1 состоит из корпуса (1), разделенного на две равные камеры электродо-мембранным блоком. Вышеуказанный блок включает в себя увлажненную ионную смолу (2) (H^+ форма) и находится в контакте с ионообменными мембранами (3) (H^+ форма). На мембраны (3) напрессованы рабочий (4) и вспомогательный (5) электроды, выполненные из платины. Электроды подключены к измерительной системе (6), включенной во внешнюю цепь. Электрохимическое окисление водорода протекает на рабочем электроде и вызывает возникновение тока во внешней цепи, который регистрируется в измерительной системе (6).

По результатам экспериментов представленный первичный измерительный преобразователь способен эффективно решать задачу газоанализа в диапазоне 0–6 % об. H_2 и погрешность измерения при этом составляет менее 3 %.



Рисунке 1 – Измерительная система полярографического типа

Данный диапазон определен линейностью статической характеристики преобразователя в этом интервале. Однако, в ряде случаев возникает необходимость измерения концентрации водорода в более широком диапазоне. Исследования показали необходимость уменьшения концентрации водорода в активной зоне реакции в случае, если существует потребность в расширении линейного диапазона первичного преобразователя.

Для достижения этой цели анализируемая смесь подается не непосредственно на электродо-мембранную систему, а через диффузионный барьер. В качестве диффузионного барьера возможно применение тонких полупроницаемых полимерных пленок. Материалом для этих пленок служат: полистирол, полипропилен, поликарбонат, фторопласт, а их толщина составляет порядка 6–20 мкм.

Данное решение позволяет существенно расширить диапазон измерения, вплоть до 100 % об. H_2 и способствует возможности внедрения этих первичных преобразователей на современные технологические объекты для осуществления автоматического аналитического контроля концентрации водорода в различных газовых смесях.

Литература/ References

1. R Thomas Wright. Manufacturing and Automation Technology. – U.S.A. : Goodheart-Wilcox Publisher, 2006. – 520 p.

2. Shripad T. Revankar, Pradip Majumdar. Fuel Cells: Principles, Design, and Analysis. – U.K. : Taylor & Francis Group, 2014. – 748 p.

3. James Larminie, Andrew Dicks. Fuel Cell Systems Explained. – England : John Wiley & Sons Ltd. 2003. – 433 p.

4. Johannes Töpler, Jochen Lehmann. Hydrogen and Fuel Cell: Technologies and Market Perspectives. – Germany : Springer, Berlin, Heidelberg, 2016. – 281 p.

УДК 665.642

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

●●●●●●

FEATURES OF AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS AT ENTERPRISES

Мехтиева Алмаз Мобил
доктор философии по технике, доцент,
доцент кафедры
управления и системной инженерии,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности

Аллахвердиева Нурана Махяддин
докторант кафедры
управления и системной инженерии,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
almazmehdiyeva@yahoo.com

Аннотация. На большинстве предприятий технологического процесса автоматизация происходит стихийно, проекты финансируются из разных источников, разработка ведется несвязанными группами разработчиков. И это приводит к недостаточной совместимости операционных систем, коммуникаций, приложений, форматов хранения и управления данными.

Ключевые слова: автоматизация, технологические процессы, промышленный интеллект, автоматизированные системы, обработка информации.

Mehdiyeva Almaz Mobil
Doctor of Philosophy in Technology,
Associate Professor,
Associate Professor of department Control and System Engineering,
Azerbaijan state oil and industry university

Allahverdiyeva Nurana Mahyaddin
Doctorated study of Department Control and System Engineering,
Azerbaijan state oil and industry university
almazmehdiyeva@yahoo.com

Annotation. At most enterprises of the technological process, automation occurs spontaneously, projects are financed from various sources, and development is carried out by unrelated development teams. And this leads to insufficient compatibility of operating systems, communications, applications, storage formats and data management.

Keywords: automation, technological processes, industrial intelligence, automated systems, information processing.

При установке новой системы нам часто нужно принимать или отправлять данные в долго работающую систему. При обновлении существующих систем зачастую невозможно (или технически нецелесообразно) заменить все устаревшее оборудование. Есть также задачи стыковки с новейшим оборудованием по автоматизации новых, строящихся объектов. Собранную комплексом информацию часто требуется передавать в существующую автоматизированную систему управления предприятием. Возникают следующие проблемы:

– Каждая диспетчерская программа должна иметь драйвер для определенного устройства.

– Существуют конфликты между драйверами разных разработчиков, что приводит к тому, что некоторые режимы или параметры аппаратного обеспечения поддерживаются не всеми разработчиками программного обеспечения.

– Модификации оборудования могут привести к потере функциональности драйвера.

– Конфликты при доступе к устройству – разные диспетчерские программы не могут получить доступ к одному устройству одновременно из-за использования разных драйверов.

Некоторые производители оборудования пытаются решить эту проблему путем разработки дополнительных драйверов. Однако эти попытки встречают сильное сопротивление разработчиков диспетчерских систем, что должно, в этом случае, усложнять их клиентские протоколы. Чтобы эффективно решить эти проблемы, используется понятие «промышленный интеллект». Основой для разработки инструментов, позволяющих создавать системы с «промышленным интеллектом», является новая, которая позволяет быстро и эффективно создавать программные продукты и обеспечивать согласованное функционирование всех приложений, производственных систем и подсистем автоматизации на всех уровнях. Понятие «промышленный интеллект» включает в себя следующее:

В настоящее время в технологических процессах существует большое количество разнородных и слабосвязанных автоматизированных систем, которые выполняют свои локальные задачи. Это связано, прежде всего, со значительным удалением технологических объектов друг от друга. В результате один технологический процесс контролируется несколькими несвязанными системами. Воздействуя на некоторую часть технологического процесса, мы влияем на весь процесс в целом. Чтобы определить

полную картину технологического процесса, необходимо вручную собирать и обрабатывать данные из десятков различных автоматизированных систем [1, 2]. Там не может быть реального времени и речи. Это приводит к ошибкам в управлении, увеличению аварийности и увеличению затрат. Выходом из сложившейся ситуации является целенаправленное и тщательно спланированное построение единого информационного пространства предприятия. Инструментом для решения этой проблемы является база данных в реальном времени. Такой, например, как IndustrialSQL [3]. Этот продукт становится все более популярным и обладает расширенными возможностями для создания клиентских приложений для обработки, анализа и отображения производственной информации для диспетчеров, технологов, геологов и механиков. Экономический эффект от интеграции разнородных автоматизированных систем заключается в снижении потерь за счет принятия более правильных и своевременных решений. Своевременное получение информации об авариях в любом месте снижает потери.

Современная автоматизированная система управления процессами представляет собой многоуровневую систему управления человеком и машиной. Создание автоматизированных систем управления сложными технологическими процессами осуществляется с использованием автоматических информационных систем сбора данных и компьютерных систем, которые постоянно совершенствуются по мере развития технологий и программного обеспечения [4]. Одной из причин отставания в области информационных технологий от развитых стран является отсутствие знаний в этой области среди производственного персонала и руководителей предприятий. Зачастую информационные технологии рассматриваются как что-то модное, необязательное перед лицом дефицита инвестиций и создающее ненужные проблемы, над которыми они, похоже, работают. Особенно это касается услуг механиков и технологов. Вместо того чтобы быть инициаторами внедрения новых информационных технологий, которые могут значительно облегчить их деятельность, они в лучшем случае пассивны. В результате их проблемы остаются в стороне и не учитываются при выборе приоритетов автоматизации, постановке наиболее актуальных и экономически эффективных задач. Чтобы исправить ситуацию, очень важно организовать обучение специалистов этих категорий новым современным методам работы, основанным на информационных технологиях. В этом отношении могут помочь современные методы дистанционного обучения, которые позволяют получать дополнительное образование без остановки производства.

Уровень производства информационных технологий, разработанный лидерами в области промышленной автоматизации, сейчас очень высок, но потенциал, заложенный в программные продукты, по-прежнему используется с низкой эффективностью. На этапе выбора информационных технологий и конкретных средств автоматизации в нефтегазовой отрасли важно не только управлять размером необходимых капитальных затрат, но и учитывать стоимость владения этими информационными технологиями. Используя спецификацию OPC, производитель оборудования может разработать серверную программу, которая предоставляет доступ к этим клиентским программам от различных поставщиков программного обеспечения.

Литература/References

1. Boresdonko N.I. Pros and cons of an integrated approach to the automation of production // Automation in Industry. – 2005. – № 3.

2. Kuznetsov A. Genesis for Windows – graphic SCADA-system for the development of process control systems // Modern technologies of automation. – 1997.

3. PC Data Access Automation Interface Specification. Version 2.02. 2004.

4. Sergienko A.B. Digital signal processing. – SPb. : Peter, 2005. – 604 p.

УДК 665.642.2

ПЛАНИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ ЛОГИКИ ТИПА II

●●●●●●

PLANNING THE BEHAVIOR OF AN INTELLECTUAL AGENT WITH APPLICATİON OF TYPE II UNCERTAIN LOGIC

Мурадли Вугар Ариф
магистрант кафедры
управления и системной инжинерии,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
vuqar.muradli.96@list.ru

Аннотация. Совершенствование нечеткой логики процесса разработки для планирования поведения интеллектуального агента в современную эпоху, а также исследования и исследования, направленные на решение проблем, возникших в это время, были одной из наиболее актуальных и важных проблем все время.

Ключевые слова: логика, интеллектуальный агент, нечеткая логика.

Muradli Vuqar Arif
Master of Department
Control and System Engineering,
Azerbaijan state university
of oil and industry
vuqar.muradli.96@list.ru

Annotation. Improvement of fuzzy logic for the development process for the planning of the behavior of the intellectual agent in the modern era, and the research and research to address the problems that have arisen at this time, has been one of the most pressing and important issues of all time.

Keywords: logic, intellectual agent, fuzzy logic.

Improvement of fuzzy logic for the development process for the planning of the behavior of the intellectual agent in the modern era, and the research and research to address the problems that have arisen at this time, has been one of the most pressing and important issues of all time.

The theory of fuzzy logic is an important part of mathematics and combines classical logic and concepts. The notion of fuzzy logic was put forward in 1965, and its founder is Asgarzadeh, the Lutfulli Rahim oglu of Azerbaijan (Lutfi Zade). In the broadest sense of fuzzy logic theory is the notion of a fuzzy set defined by the function of belonging. It then includes the combination, intersection, and complementation of clusters, the concept of fuzzy proportions, and one of the most basic concepts is the linguistic variable [2].

First of all, I would like to give some real examples to clarify my point. In everyday life, for example, people make different decisions by choosing one of many solutions. Some of these decisions occur either intuitively or automatically, based on the repressive practice of the decision-making process. Sometimes there are situations when a person cannot make an immediate decision. In this case, the person analyzes the pros and cons of alternatives, evaluates the possible consequences of the choice, consults with more experienced people, and finally makes the decision. This is most often the case in economic systems when making decisions in the management of an enterprise or company. For this reason, it is necessary to study the relevant theory separately in information systems because of the critical role of decision-making in governance:

First and foremost, decision-making is carried out at all stages of management, incorporating technology into its implementation as a necessary element.

Secondly, decision-making is an integral part of the activities of any senior manager. In this regard, knowledge of decision-making methods and technologies is the most important element of a leader's professional level.

Third, decision-making systems are a modern model of economic systems. The purpose of decision-making for information systems is that the decision-maker relates only to the field of action.

At the same time, it should be noted that decision-making as a psychological process is influenced by many factors, including social status, lifestyle and work experience. And the process is directly related to the intellectual logic of intellectual aggression. Mistakes made during the decision-making process, however, often lead to serious consequences when the enterprise is at the highest level of management. Even the slightest mistake and neglect can lead to big problems. It should be noted that for poorly structured issues, the «wrong decision» is fuzzy. Thus, the existence of many criteria for alternative evaluation, the subjective nature of the evaluation of alternatives for some criteria, and the difficulty in obtaining the best information, to some extent, undermine the ability to select the optimum criterion of objectivity.

In conclusion, I would like to note that in the modern era when new forms of farming have been established, it is necessary to study the subject in light of the current problems and theoretical gaps in decision-making processes in the Azerbaijani economy [1].

Литература/ References

1. Mübariz Sevdimalı oğlu Xəlilov «İnformatika» Dərslik Səhifə 43–56.
2. Bakı Biznes və Kooperasiya Kolleci.

УДК: 621.56

ПОПУТНЫЙ НЕФТЯНОЙ ГАЗ КАК ТОПЛИВО ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

●●●●●●

ASSOCIATED FUEL GAS AS A FUEL FOR SOFCS

Мусави Саида Арифовна
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
musavisaida@mail.ru

Аннотация. Современным электроэнергетическим системам предъявляются ряд требований, определяющих перспективность их применения в различных отраслях промышленности, включая и нефтегазовую. Эти требования направлены на повышение потребительского качества применяемых систем и сводятся в основном к степени их коммерциализованности (определяет доступность), много функциональности (определяет способность), лояльности к окружающей среде (определяет взаимодействие с окружающей средой), соответствию условиям местности функционирования (определяет требования местности), готовности и наличия по качеству и объемам потребляемого топлива (определяет гибкость в использовании топлива).

Ключевые слова: топливных элемент, твердооксидных топливных элементов, водорода, альтернативных ресурсов, топливную установку, метаноловых топливных элементов, бензиновых топливных элементов.

Musavi Saida Arifovna
Azerbaijan state oil
and industry university
musavisaida@mail.ru

Annotation. Modern electric power systems have a number of requirements that determine the prospects of their application in various industries, including oil and gas. These requirements are aimed at improving the consumer quality of the systems used and are reduced mainly to the degree of their commercialization (determines accessibility), a lot of functionality (determines ability), environmental loyalty (determines interaction with the environment), compliance with the conditions of the functioning area (determines the requirements of the area) availability and availability in terms of quality and volume of fuel consumed (determines the flexibility in the use of fuel).

Keywords: fuel cell, solid oxide fuel cells, hydrogen, alternative resources, fuel installation, methanol fuel cells, gasoline fuel cells.

Водород может подаваться непосредственно или путем выделения его из внешнего источника топлива, такого как природный газ, бензин или метанол. В случае внешнего источника его необходимо химически преобразовать, чтобы извлечь водород. Этот процесс называется «реформингом». Водород можно также получить из аммиака, альтернативных ресурсов, таких как газ из городских свалок и от станций очистки сточных вод, а также путем электролиза воды, при котором для разложения воды на водород и кислород используется электричество. В настоящее время большинство технологий топливных элементов, применяемых на транспорте, используют метанол. Для реформинга топлива с целью получения водорода для топливных элементов были разработаны разные средства. Министерство энергетики США разработало топливную установку внутри машины для реформинга бензина с тем, чтобы обеспечивать подачу водорода на автономный топливный элемент. Исследователи из Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории в США продемонстрировали компактную топливную установку по реформингу величиной в одну десятую размеров блока питания. Американская энергокомпания, Northwest Power Systems, и Национальная лаборатория Сандия продемонстрировали топливную реформинговую установку, которая преобразует дизельное топливо в водород для топливных элементов.

Хотя водородный газ является наилучшим топливом, инфраструктуры или транспортной базы для него еще не существует. В ближайшей перспективе для обеспечения энергоустановок источниками водорода в виде бензина, метанола или природного газа могли бы использоваться существующие системы снабжения ископаемым топливом (газовые станции и т.д.). Это исключило бы необходимость создания специальных водородозаправочных станций, но потребовало бы, чтобы на каждом транспортном средстве был установлен преобразователь («реформатор») ископаемого топлива в водород. Недостаток этого подхода состоит в том, что он использует ископаемое топливо и, таким образом, приводит к выбросам двуокиси углерода. Метанол, являющийся в настоящее время ведущим кандидатом, создает меньше выбросов, чем бензин, но он бы потребовал установки на автомобиле емкости большего объема, поскольку он занимает в два раза больше места при одинаковом энергосодержании. В отличие от систем снабжения ископаемым топливом, солнечные и ветровые системы (использующие электричество для создания водорода и кислорода из воды) и системы прямого фотопреобразования энергии (использующие полупроводниковые материалы или ферменты для производства водорода) могли бы обеспечивать снабжение водородом без этапа реформинга, таким образом, можно было бы избежать выбросов вредных веществ, что наблюдается при использовании метаноловых или бензиновых топливных элементов. Водород мог бы накапливаться и преобразовываться в электричество в топливном элементе по мере необходимости. В перспективе соединение топливных элементов с такого

рода возобновляемыми источниками энергии, скорее всего, будет эффективной стратегией обеспечения продуктивным, экологически продуманным и универсальным источником энергии.

Список возможного применяемого топлива длинен и включает:

– чистый водород;

– газообразные или газифицированные углеводороды (природный газ, биогаз, газ сточных вод, газ угольной шахты, метан, содержащий газовые смеси, и.т.д.);

– синтез газа (смеси водорода и углекислого газа), в качестве окислителя используются чистый кислород и воздух.

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – это углеводородный газ, сопутствующий нефти и выделяющийся из нее при сепарации. Количество газов в м³ может изменяться от 1–2 до нескольких тыс. м³/т нефти. В отличие от природных горючих газов, состоящих в основном из метана, нефтяные попутные газы содержат значительные количества этана, пропана, бутана и др. предельных углеводородов.

Проблема рационального использования ПНГ существует во всем мире давно. В мире ежегодно сжигается около 100 млрд м³, что составляет примерно 3 % мировой валовой добычи. Согласно данным НПР РФ [1] в 2005 г. в России из 55 млрд м³ извлеченного ПНГ в переработку было направлено лишь 26 %, 27 % газа было сожжено на факелах и 47 % было использовано компаниями-недропользователями.

Согласно Киотского протокола, подписанного 160 странами в декабре 1997 года в дополнение рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК) промышленно развитые страны и страны с переходной экономикой призываются сократить или стабилизировать вопросы парниковых газов, способствующих парниковому эффекту (в т.ч. окислов азота, метана, углекислого газа и т.п.) в 2008–2015 годах по сравнению с уровнем 1990 г. в среднем на 5,2 % [1–3].

Поступающие в окружающую среду продукты сгорания попутного нефтяного газа (ПНГ) представляют собой потенциальную угрозу нормальному функционированию человеческого организма на физиологическом уровне. Его сжиганием наносится огромный экологический ущерб и уничтожается невосполнимый ценнейший продукт, содержащий в основном этан, пропан, бутан и др. предельные углеводороды. ПНГ-это ценнейшее химическое сырье и высокоэффективное органическое топливо.

В основном–это ПНГ нефтяных месторождений, утилизацию которого многие нефтяные компании считают нерентабельной. Больше всего (в количественном и процентном отношениях) теряется газа в Нигерии, Иране, Мексике, Венесуэле, Алжире и Индонезии.

Надо отметить, что на морских месторождениях Азербайджана ежегодно на факелах сжигается около 350 млн м³ газа. Утилизация этого объема является важным направлением в энергоснабжении морских коммуникаций и гидротехнических сооружений, а также реализуемых на них технологических процессов. На современном уровне развития техники и технологии в мире предлагаются следующие комплексные решения по утилизации углеводородных газов:

- Основные решения по утилизации ПНГ, которыми сегодня могут воспользоваться нефтедобывающие компании: закачка ПНГ и смесей на его основе в пласт для повышения нефтеотдачи, установка энергоблоков, переработка ПНГ на синтетическое топливо, строительство котельных на базе ПНГ. Из представленных направлений в России развиваются [4] лишь два: потребление ПНГ в качестве топлива с целью выработки электроэнергии, горячей воды и как сырья для нефтехимии.
- Технологии по утилизации ПНГ предоставляют возможность полностью переработать газ с месторождения, получать дополнительную электроэнергию и тепло. Мини-ТЭС проектируются на базе газотурбинных (ГТУ) и газопоршневых (ГПА) агрегатов от 1до 50 Мвт, в том числе работающих на попутном газе. ГТУ целесообразно применять при больших единиц мощностей (от 3МВт) и достаточно равномерном энергопотреблении, в остальных случаях целесообразнее применять ГПА. Утилизация попутного нефтяного газа путем переработки в электроэнергию и обеспечение приоритетного доступа на оптовый рынок электроэнергии, произведенной газотурбинными и газопоршневыми тепловыми электростанциями, использующими в качестве основного топлива попутный нефтяной газ или продукты его переработки, приведет к значительному экономическому эффекту.
- Предлагается для утилизации ПНГ с учетом существующих ресурсов и большой экономии–экологической выгоде использовать в качестве электрогенерирующих устройств в сочетании ГТУ или ГПА электрохимические генераторы типа SOFC. Следовательно, ПНГ это один из важнейших видов топлив для использования в топливной системе твердооксидных топливных элементов. В зависимости от интенсивности физико-химических процессов на анодно-катодно поверхностях могут генерироваться различные тепловые мощности, которые определяют требования, предъявляемые к материалам и свойствам твердых электролитов.

Выводы

Проведен анализ существующего класса топлив и подтверждена возможность эффективной утилизации ряда углеводородных соединений, в том числе, попутного газа, газогидратов и водорода в топливной системе низко и высоко температурных топливных элементов.

Разработана и решена математическая модель механического поведения топливных элементов с различной формой конструктивного исполнения и даны рекомендации по выбору рационального сочетания их геометрических характеристик с учетом формы исполнения и режимов эксплуатации.

Литература

1. Алексин Е.Н. Хранение газообразного водорода в баллонах в баллонах под давлением. Определение потерь водорода вследствие диффузии через стенки баллона // Перспективы наук. – 2010. – С. 63–70.

2. Алексин Е.Н. Хранение водорода в гидрате интерметаллического соединения $LaNi_5$ / Е.Н. Алексин, А.А. Фокин // Морской Вестник. – СПб., 2010. – № 3 (46). – С. 45–47.

3. Мусави С.А. Влияние температурного фактора на показатели работоспособности SOFC пакетного исполнения // Журнал Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – № 11. – С. 35–42.

4. Achenbach E. Three-dimensional and time dependent simulation of a planar solid oxide fuel cell stack // Journal of Power Sources. – 1999. – P. 333–348.

References

1. Alexin E.N. Storage of hydrogen gas in cylinders under pressure. Determination of Hydrogen Losses Due to Diffusion through Cylinder Walls // Prospects of Sciences. – 2010. – P. 63–70.

2. Alexin E.N. Storage of Hydrogen in Hydrate of LaNi5 Intermetallic Connection / E.N. Alexin, A.A. Fokin // Marine Herald. – St. Petersburg, 2010. – № 3 (46). – P. 45–47.

3. Musavi S.A. Influence of the temperature factor on performance indicators of SOFC of packet execution // Journal of Oil Refining and Petrochemistry. – 2016. – № 11. – P. 35–42.

4. Achenbach E. Three-dimensional and time dependent simulation of a planar solid oxide fuel cell stack // Journal of Power Sources. – 1999. – P. 333–348.

УДК 621.791.754.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ОРБИТАЛЬНОЙ СВАРКИ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

●●●●●●

STUDY OF THE PECULIARITIES OF THE TECHNOLOGY OF ORBITAL WELDING WITH A NON-COMBUSTIBLE ELECTRODE

Назыров Радмир Радикович
магистр,
Уфимский государственный
нефтяной технический университет
nazyrov.radmir@yandex.ru

Кинев Сергей Анатольевич
кандидат технических наук, доцент,
Уфимский государственный
нефтяной технический университет

Аннотация. Данная статья посвящена обеспечению качества сварных соединений и высокой производительности применяемых процессов орбитальной сварки технологических трубопроводов — актуальная задача. Эффективным решением этой задачи является уменьшение объема наплавляемого металла при сварке по узкому зазору. Однако данный метод сварки имеет высокую вероятность возникновения характерных дефектов в виде глубоких подрезов (полостей) и непроваров, а также межслойных несплавлений. Для исключения подобных дефектов необходимо проведение комплексных исследований, основанных на физико-математическом моделировании характерных возмущений процесса сварки, в том числе блуждания дуги в разделке.

Ключевые слова: автоматическая орбитальная сварка, присадочная проволока, узкий зазор, компьютерное моделирование, вольфрам.

Nazirov Radmir Radikovich
Master's degree,
Ufa state oil technical university
nazyrov.radmir@yandex.ru

Kinev Sergey Anatolievich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Ufa state oil technical university

Annotation. This article is devoted to ensuring the quality of welded joints and high productivity of applied processes of orbital welding of technological pipelines - an urgent task. The effective solution of this problem is to reduce the volume of molten metal at welding over a narrow gap. However, this welding method has a high probability of occurrence of typical defects in the form of deep undercuts (cavities) and nonproducts, as well as interlayer non-alloys. In order to exclude such defects it is necessary to carry out complex research based on physical and mathematical modeling of welding process characteristic disturbances, including rambling of the arc in cutting.

Keywords: automatic orbital welding, filler wire, narrow gap, computer simulation, tungsten.

Орбитальная сварка – одно из самых передовых изобретений в области автоматизации сварочных процессов. Автоматизация процесса орбитальной сварки позволило сократить трудозатраты, но самое главное повысить качество сварного шва, что крайне важно для трубопроводного транспорта.

В настоящее время орбитальная сварка широко используются практически в каждой отрасли, где есть необходимость в сварке труб или трубопроводов. Несмотря на ее широкое применение и опыт эксплуатации на большом количестве предприятий, многие компании из-за отсутствия опыта работы с орбитальной сваркой, рассматривают целесообразность её применения для их конкретных задач.

Решение о целесообразности применения орбитальной сварки связано:

– с нехваткой операторов для установки орбитальной сварки;

– повышением требований стандартов качества;

– необходимостью повышения производительности, расширением производства и увеличения повторяемости качества сварного шва на 99,9 %, что позволит сократить наличие дефектов и соответственно затраты на ремонт [1].

При проведении исследований было установлено, что при орбитальной сварке, для труб, имеющих толщину стенки до 3–4 мм, нет необходимости применять разделку кромок можно не применять, при сварке труб большей толщине стенок, целесообразно использование U-образную разделки кромок, с выполнением сварки в несколько проходов [1].

Значительное количество параметров процессов орбитальной сварки влияет на ее технологическую гибкость, но также затрудняет взаимосвязь между качественными и количественными характеристиками сварных соединений [2].

Поэтому при формировании технических требований к условиям воспроизводимости стабильно высокого качества сварных соединений использовались методы физико-математического моделирования

особенностей орбитальной сварки. Было выявлено, что качественное формирование корня шва можно получить только при использовании импульсных технологий сварки с шаговым, а не непрерывным перемещением горелки вдоль стыка.

Заполнение разделки в зависимости от толщины стенки трубопровода может выполняться по двум вариантам – без колебаний и с колебаниями электрода в разделке. Установлено, что процесс сварки без колебаний во многом сходен со сваркой корневого прохода, за исключением шагового перемещения горелки, так как донная часть шва после сварки корневого прохода уже сформирована [3]. Для определения параметров сварки при заполнении разделки выполнили моделирование формирования валика наплавочного прохода при различных параметрах сварки и поперечных колебаний электрода.

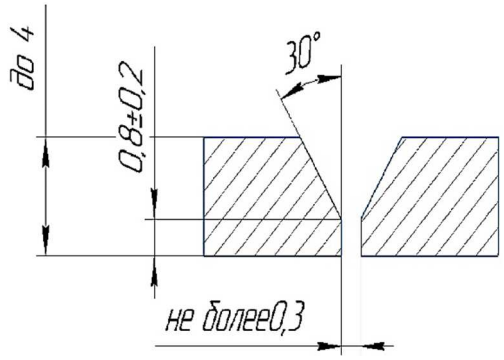


Рисунок 1 – V-образная разделка кромок

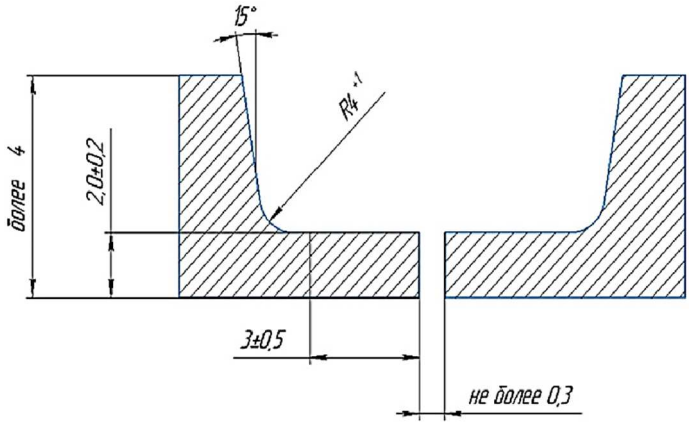


Рисунок 2 – U-образная разделка кромок

Моделирование особенностей перемещения горелки поперек разделки показало, что при использовании поперечных колебаний характерной пилообразной формы невозможно получить равномерное проплавление и хорошее формирование поверхности наплавляемого валика. Синусоидальная форма поперечных колебаний позволяет получить приемлемую форму поверхности валика, но неравномерность глубины проплавления остается значительной. Наилучшие результаты позволяет получить трапецеидальная форма со значительными (35–40 % периода) остановками горелки в крайних положениях, что объясняется существенно большей мощностью теплоотвода в кромки разделки по сравнению с мощностью теплового потока в шов [3]. Моделирование сварки с поперечными колебаниями горелки разной частоты показало, что уменьшение частоты колебаний приводит к периодическомунепровару стенки разделки.

Анализ оптимальной длительности остановки в крайнем положении показал, что увеличение длительности задержки горелки на кромках способствует повышению качества сварного шва за счет гарантированного формирования плавного перехода от расплавак нерасплавленному металлу. Большое значение имеет амплитудапоперечных колебаний горелки. При недостаточной амплитуде колебаний наплавочный валик формируется с большой выпуклостью и глубоким проплавлением, а при избыточной формируется вогнутая поверхность, но глубина проплавления существенно уменьшается [4].

Следует отметить, что швы, выполненные в различных пространственных положениях, характеризуются большой разницей геометрических параметров сварного шва. Установка для орбитальной сварки дает возможность сохранения заданных геометрических параметров шва при различных пространственных положениях.

Литература

1. Определение напряженно-деформированного состояния сварных соединений / А.Г. Чиркова, С.А. Кинев, А.С. Симарчук // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2003. – Т. 9. – № 2. – С. 250–255.

2. Повышение стойкости к коррозии металла сварных соединении корпусов нефтеперерабатывающих и нефтехимических аппаратов / А.М. Файрушин [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2011. – Т. 18. – № 2. – С. 124–127.

3. Физико-математическая модель орбитальной сварки неплавящимся электродом в инертных газах: концепция и возможности / А.В. Шипилов [и др.] // Сварка и диагностика. – 2011. – № 2. – С. 3–9.

4. Шипилов А.В. Особенности автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом трубопроводов обвязки компрессорных станций // Сварка и Диагностика. – 2010. – № 5. – С. 42–47.

References

1. Definition of the stress-strain state of the welded joints / A.G. Chirkova, S.A. Kinev, A.S. Simarchuk // Mechanics of composite materials and structures. – 2003. – Vol. 9. – № 2. – P. 250–255.

2. The Increase of Metal Corrosion Resistance of Welded Joints for RPVs of Oil Refining and Petrochemical Machines / A.M. Fairushin [et al.] // Bashkir Chemical Journal. – 2011. – Vol. 18. – № 2. – P. 124–127.

3. Physico-mathematical model of orbital welding by nonmelting electrode in inert gases: concept and possibilities / A.V. Shipilov [et al.] // Welding and diagnostics. – 2011. – № 2. – P. 3–9.

4. Shipilov A.V. Features of Automatic Orbital Welding by Non-Molten Electrode of Pipe-Wire Bundling of Compressor Stations // Welding and Diagnostics. – 2010. – № 5. – P. 42–47.

УДК: 621.95/96.04 (035)

МОДУЛЬ ОПИСАНИЯ ПРОЕКТНЫХ ЗАДАЧ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

●●●●●●

MODULE FOR DESCRIBING PROJECT TASKS IN TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION IN A SPECIALIZED PROGRAMMING LANGUAGE

Новиков Олег Александрович
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры стандартизация,
сертификация и управление
качеством производства
нефтегазового оборудования,
РГУ нефти и газа (РИУ) имени И.М. Губкина;
ведущий научный сотрудник,
Институт машиноведения
имени А.А. Благонравова РАН
NovikTexnolog@Yandex.ru

Гололобов Денис Владимирович
старший преподаватель кафедры
стандартизация, сертификация
и управление качеством производства
нефтегазового оборудования»,
РГУ нефти и газа (РИУ) имени И.М. Губкина
dgololobov@mail.ru

Аннотация. В статье предлагается модульный подход к созданию системы комплексной автоматизации технологической подготовки машиностроительного производства. Модуль в системе – инструментальные средства, которые позволяют их пользователю (технолог технологического бюро в отделе главного технолога предприятия) самостоятельно (в режиме диалога) проводить описание частной технологической проектной задачи на специализированном языке программирования системы, создавать базы проектных задач для их запуска в технологическом редакторе системы. Результат запуска проектной задачи в работу – строка/строки технологической операции, соответствующие формату строк в технологическом документе. В статье приведен пример создания проектной задачи для формирования строки Р – описание режимов резания в технологическом процессе механической обработки.

Ключевые слова: система комплексной автоматизации технологической подготовки машиностроительного производства, модульный подход, модуль, инструментальные средства, технологическая проектная задача, базы проектных задач, технологический редактор системы.

Novikov Oleg Alexandrovich
Doctor of technical Sciences, Professor,
Professor of the Department
Standardization, certification
and quality management of production
of oil and gas equipment,
Gubkin Russian state University
of oil and gas (RIU);
Leading researcher,
A.A. Blagonravov Institute
of machine science
of the Russian Academy of Sciences
NovikTexnolog@Yandex.ru

Gololobov Dennis Vladimirovich
Senior lecturer of the Department
Standardization, certification
and quality management of production
of oil and gas equipment,
Gubkin Russian state University of oil and gas
(RIU)
dgololobov@mail.ru

Annotation. The article offers a modular approach to creating a system for complex automation of technological preparation of machine-building production. Module in the system – tools that allow the user (technologist of technological Bureau of the Department of the main technologist of the enterprise) on their own (in dialogue mode) for description private technological design tasks in a specialized programming language system to create a database design task to run in the process editor system. The result of starting the project task is the line/lines of the process operation that correspond to the format of the lines in the process document. The article provides an example of creating a design task for forming a string P-a description of cutting modes in the technological process of mechanical processing.

Keywords: system of complex automation of technological preparation of machine-building production, modular approach, module, tools, technological project task, databases of project tasks, technological editor of the system.

Введение

Производству любого изделия в машиностроении предшествует этап технической подготовки, который включает конструкторскую подготовку и технологическую подготовку производства (ТПП).

В настоящее время в техническую подготовку производства и производство машиностроительной продукции интенсивно внедряются информационные технологии, позволяющие существенно повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции. Необходимо отметить, что производительность труда в ТПП ниже, чем в конструкторской подготовке производства из-за отсутствия

в ТПП универсальной системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП). Причина отсутствия универсальной САПР ТП объясняется трудностями в создании универсального программного обеспечения (ПО) для решения задач проектирования ТП. Трудности в создании универсального ПО обусловлены различиями как в методах проектирования различных ТП (литье, ковка, штамповка, механическая обработка, сварка, химико-термическая и термическая обработка, сборка и т.п.), так и в подходах к созданию ПО для проектирования ТП.

Анализ затрат времени на проектирование ТП в ТПП показал, что наибольшие затраты времени приходятся на работы, связанные с проектированием ТП механической обработки, которые обусловлены как объемами работ, так и затратами времени на выбор необходимой для проектирования ТП информации.

В САПР ТП, применяемых на производстве, вся необходимая для проектирования ТП информация хранится в базах данных (БД) системы управления базами данных (СУБД). За сопровождение СУБД отвечает администратор сети предприятия, либо администратор САПР ТП в отделе главного технолога (ОГТ) предприятия. Заполнение БД для проектирования ТП осуществляется на основе информации, поступающей из технологических бюро (ТБ) ОГТ в формате, который принят для описания БД в СУБД. В итоге, вся необходимая для проектирования ТП информация структурирована. В связи с этим методика проектирования ТП на основе фрагментов исходных данных, выбираемых из БД, аналогична методике проектирования ТП на основе поиска информации в различной справочно-нормативной литературе. Выбор информации из БД позволяет существенно сократить затраты времени на проектирование ТП, но не обеспечивает автоматического формирования строк технологической операции, описание которых должно соответствовать общепринятому языку общения в рекомендуемом при оформлении технологической документации [1] формате.

Структура системы комплексной автоматизации проектирования технологических процессов, определение и назначение модуля системы

Для решения задачи автоматического формирования строк технологических операций при проектировании ТП предлагается применить модульный подход к созданию структуры Системы Комплексной Автоматизации Технологической (СКАТ) подготовки производства (рис. 1).

Рисунок 1 – Окно Системы Комплексной Автоматизации Технической (СКАТ) подготовке производства

На внешнем уровне описание СКАТ представляет много уровневую блочно – иерархическую структуру, на уровнях которой решаются следующие задачи:

- Первый уровень – адаптация системы к организационно – технической структуре ОГТ конкретного предприятия;
- Второй уровень – выполнение комплекса работ по созданию баз проектных задач, на основе модулей включенных в состав СКАТ, проектирования различных ТП, архивации и тиражированию результатов проектирования.

Модуль СКАТ – функционально законченный программный продукт, ориентированный на решение множества технологических проектных задач одного класса, выполняемых как в автономном режиме работы, так и в составе СКАТ, ПО которого позволяет:

- проводить адаптацию модуля к выполнению работ в организационной структуре ОГТ предприятия;
- технологу ТБ ОГТ предприятия (далее пользователю) с помощью инструментальных средств (ИС) модуля на основании информации, представленной в справочно-нормативной литературе, в режиме диалога с ИС проводить формализованное описание частных проектных задач, которые технолог решает при проектировании ТП;
- результаты формализованного описания частной проектной задачи, по мере выполнения диалога пользователя с ИС, автоматически трансформировать в операторы специализированного языка программирования;
- программу на специализированном языке программирования [6], результат работы которой при проектировании ТП представляет строку описания элемента технологической операции на общепринятом языке общения в формате, соответствующем требованиям оформления технологической документации [1], автоматически записывать в базы проектных задач ОГТ предприятия.

В создании различных программных продуктов для формализованного описания применяется принцип декомпозиции в описании объектов [2]. В соответствии с принципом декомпозиции в формализованном описании объектов выделяются внешний, концептуальный и внутренний уровни. Очевидно, что и при создании модулей целесообразно применять принципы и подходы, которые апробированы при создании различных программных продуктов в предыдущих версиях СКАТ [3–6].

Инструментальные средства модуля описания проектных задач на специализированном языке программирования СКАТ

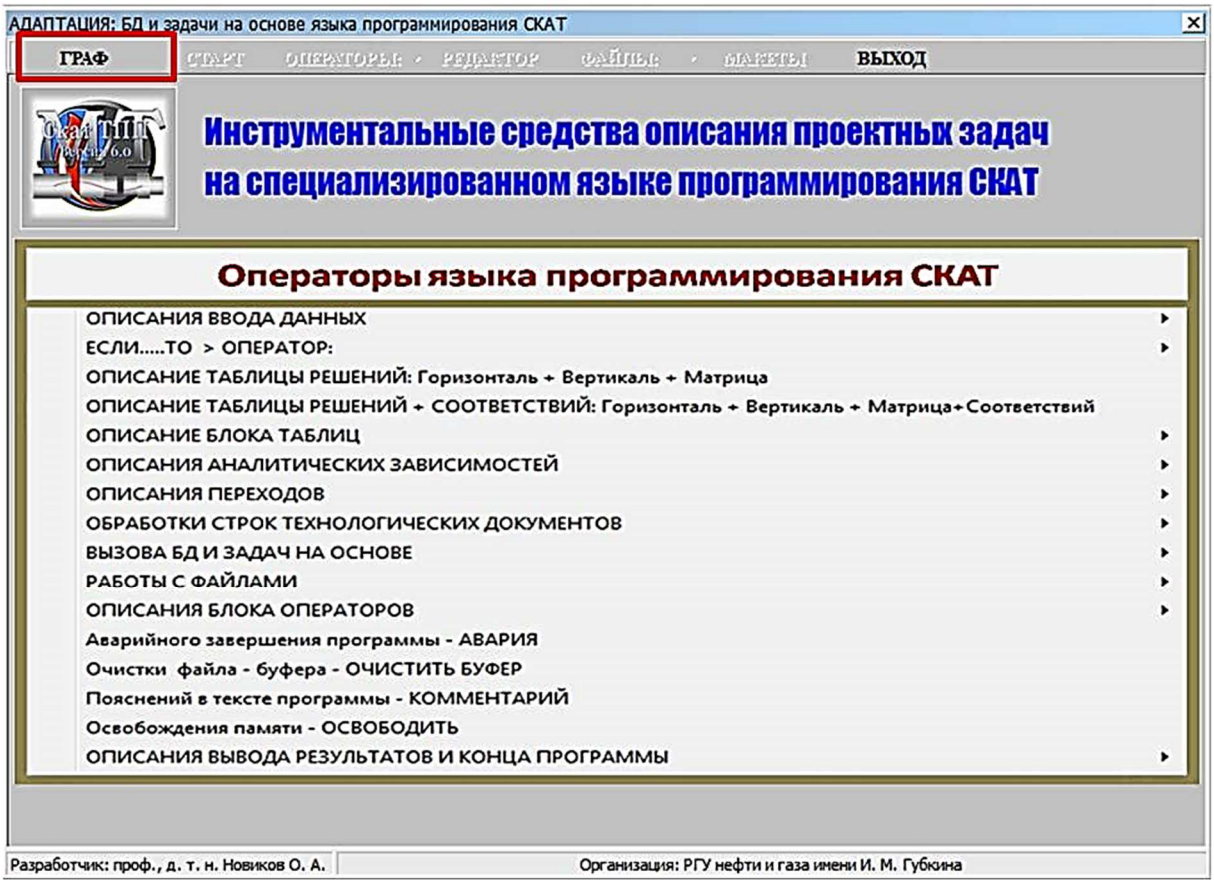


Рисунок 2 – Вход в модуль описания проектных задач
на специализированном языке программирования СКАТ

Положительный опыт применения СКАТ предыдущих версий для проектирования ТП на этапе ТПП различных машиностроительных предприятий стал основанием для создания в СКАТ модуля (рис. 2) описания проектных задач на специализированном языке программирования [6].

Цель создания модуля – повышение производительности работ на этапе ТПП за счет разработки для каждого оператора специализированного языка программирования СКАТ [6] таких ИС, которые позволят любому технологу ТБ ОГТ предприятия создавать в режиме диалога проектные задачи для формирования отдельной технологической операции в ТП, содержащей множество строк заданного формата [1] в операции.

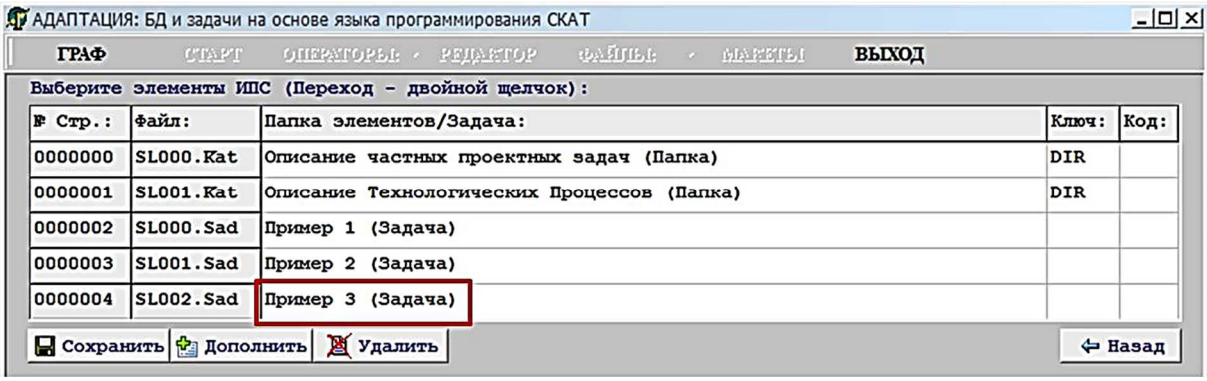


Рисунок 3 – Выбор элемента в ИПС СКАТ

Выбор в строчном меню экранной сцены (рис. 2) раздела «Граф» открывает экранную сцену (рис. 3) ИПС модуля. Работа с ИС ИПС позволяет пользователю модуля:

- выбрать элементарный путь (двойной «клик») в строке таблицы к проектной задаче – ….(Папка) или имя проектной задачи – ……(Задача);
- дополнить пустую строку в таблицу (кнопка «Дополнить»), заполнить пустые поля в строке с названием «Папка элементов/задача:» и названием «Ключ» – «DIR» – для папки, «Пусто» – для задачи;
- записать новую папку/задачу в ИПС – кнопка «Сохранить»;
- исключить папку/задачу из ИПС – кнопка «Удалить».

Пример описания проектной задачи инструментальными средствами модуля

Цель примера описания проектной задачи – показать методику выполнения работы с ИС модуля при решении задач автоматизированного формирования строк технологической операции, формат которых соответствует требованиям оформления технологической документации [1].

Выбор в ИПС названия проектной задачи (рис. 3) – «Пример 3 (Задача)» позволяет перейти, если проектная задача не описана, к формализованному описанию проектной задачи на основании операторов специализированного языка программирования СКАТ. В падающем меню (рис. 4) раздела строчного меню «ОПЕРАТОРЫ» приведён перечень блоков операторов (отмечены символом ►) и операторов специализированного языка программирования СКАТ. Описание каждого оператора языка проводится в режиме диалога с пользователем под управлением соответствующих оператору ИС на основе упорядоченного множества экранных сцен.

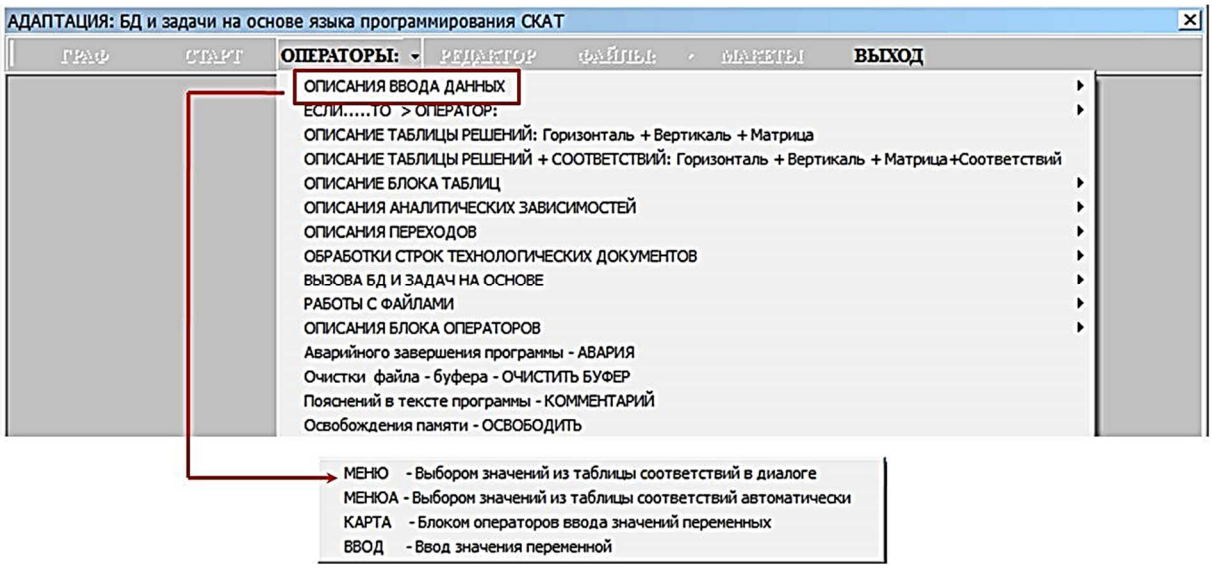


Рисунок 4 – Опеаторы специализированного языка СКАТ

В структурном плане программа на любом языке программирования включает следующие разделы: описание исходных данных, решение стоящей проектной задачи и вывод результатов решения проектной задачи.

Для описания исходных данных в специализированном языке программирования СКАТ создан блок операторов «Описание ввода данных» (рисунок 4), в состав которого включены 4 оператора. Исходные данные в операторах блока формируются на основе таблиц соответствий, которые заполняются в диалоге с пользователем модуля (операторы МЕНЮ, КАРТА, ВВОД), либо автоматически в процессе решения проектной задачи (операторы МЕНЮА). При описании проектных задач формирования строк операций в ТП применяется оператор МЕНЮ (рис. 5).

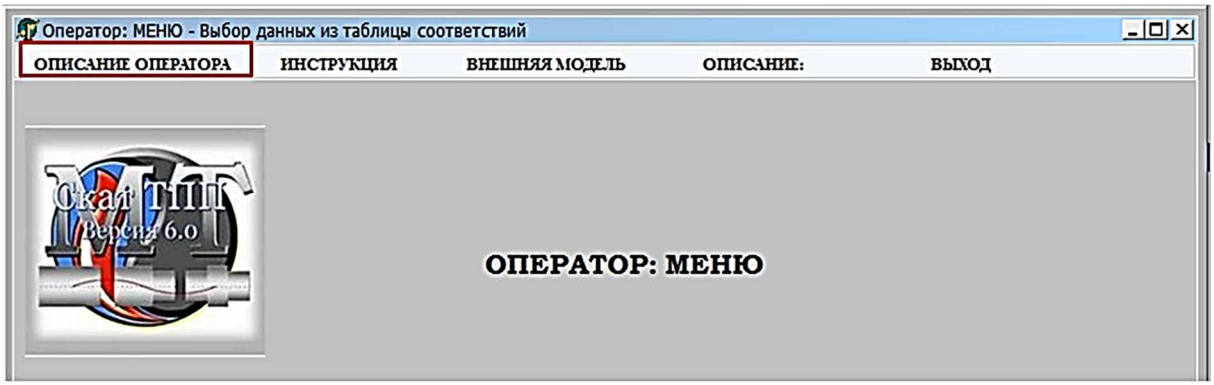


Рисунок 5 – Переход к описанию оператора МЕНЮ на специализированном языке СКАТ

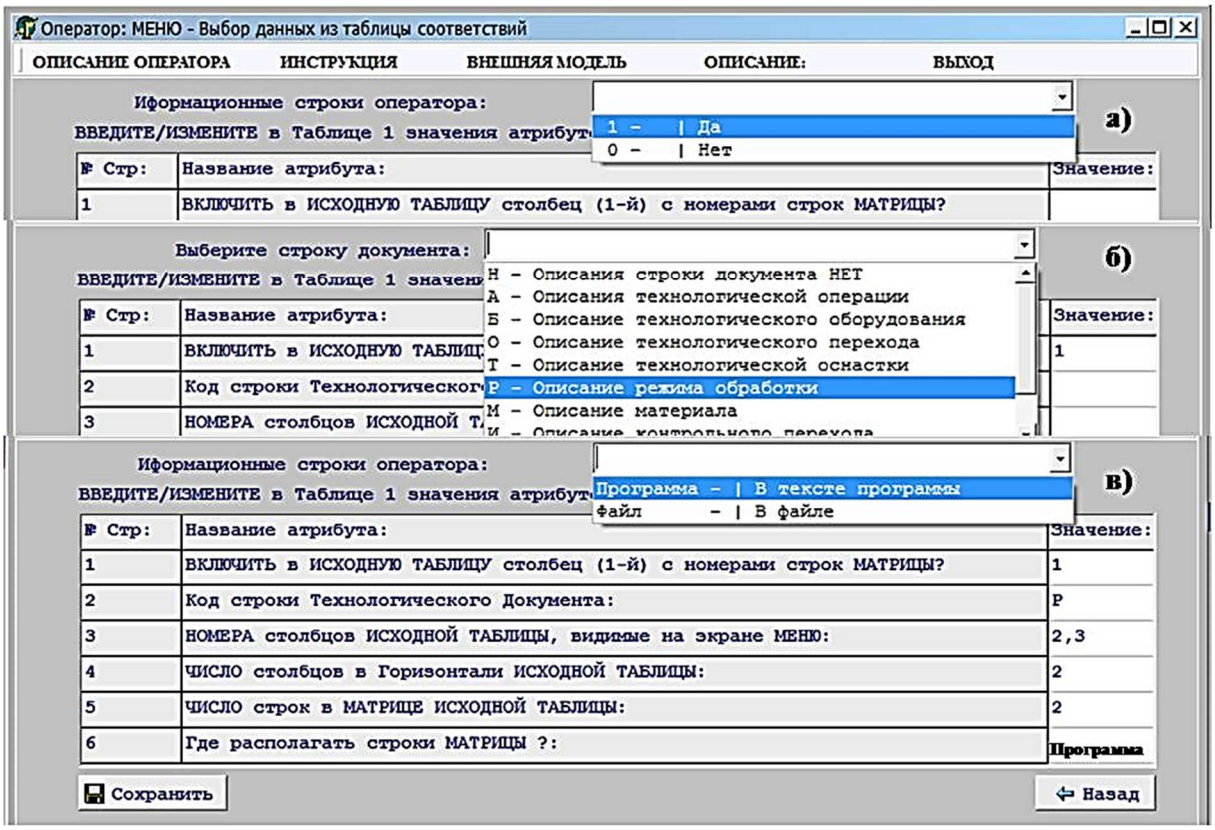


Рисунок 6 – Описание атрибутов оператора МЕНЮ на специализированном языке СКАТ

Вход в раздел строчного меню «ОПИСАНИЕ ОПЕРАТОРА» (рис. 5) позволяет ИС модуля сформировать экранную сцену для описания оператора МЕНЮ. Экранная сцена включает таблицу с пустыми строками столбца «Значение», кнопки «Сохранить» и «Назад» (рис. 6в).

Пустые строки столбца «Значение» в таблице заполняются пользователем на основании:

- Строка 1 – выбора значений из падающего меню рисунок 6а;
- Строка 2 – выбора значений из падающего меню рисунок 6б;
- Строка 6 – выбора значений из падающего меню рисунок 6в;
- Строки 3, 4, 5 – ввода значений с клавиатуры компьютера.

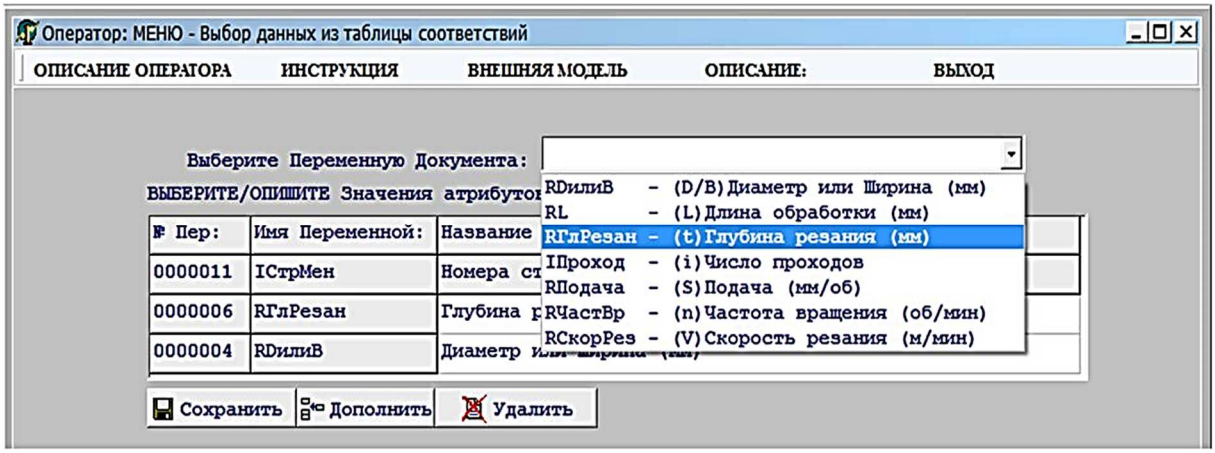


Рисунок 7 – Выбор переменных для описания строки в операции технологического документа

Активация кнопки «Назад» позволяет осуществить переход к предыдущей экранной сцене (рис. 5), а кнопки «Сохранить» – к следующей экранной сцене (рис. 7) описания оператора МЕНЮ, которая включает таблицу, сформированную на основании информации полученной из заполненной таблицы в предыдущей экранной сцене (рис. 6).

Первая строка таблицы в сформированной экранной сцене заполняется автоматически, а следующие строки таблицы – пользователем модуля путем выбора из падающего меню строки (рис. 7) с именем переменной. Имена переменных в строках падающего меню фиксированы, а их обозначения и названия соответствуют той строке в технологическом документе, которая формируется в проектной задаче, на основании кода строки представленного в строке 2 таблицы (рис. 6в) предыдущей экранной сцены.

Разработчиками модуля созданы ИС («Генератор строк и документов»), которые позволили им сформировать как состав строк (падающее меню рис. 6б в предыдущей экранной сцене), так и их структуры (падающее меню – рис. 7) в операциях технологических документов на основании требований [1], предъявляемых к технологической документации.

Активация кнопки «Сохранить» позволяет осуществить переход к следующей экранной сцене (рис. 8) описания оператора МЕНЮ, которая включает таблицу, сформированную на основании информации полученной из заполненной таблицы (рис. 7) в предыдущей экранной сцене.

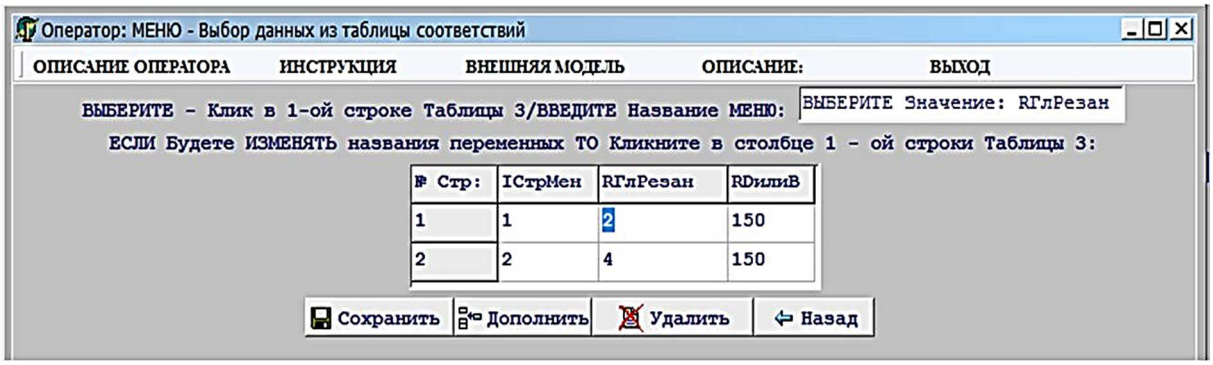


Рисунок 8 – Ввод значений переменных для описания строки в операции технологического документа

Экранная сцена (рис. 8) включает строку ввода с текстом – ВЫБЕРИТЕ значение: и таблицу строки, в столбцах которой заполнены значениями. Пользователю ИС необходимо:

- Выбрать имя переменной, по значению которой будет осуществляться поиск информации – «Клик» в поле первой строки под именем переменной. Выбранное имя переменной автоматически будет перенесено в конец текста строки ввода.
- Заполнить пустые поля таблицы значениями, соответствующими именам переменных таблицы.

Функции кнопок экранной сцены (рис. 8) определяются их названиями.

Активация кнопки «Сохранить» позволяет перейти к следующей экранной сцене, в которой представлен текст проектной задачи на специализированном языке программирования СКАТ (рис. 9).

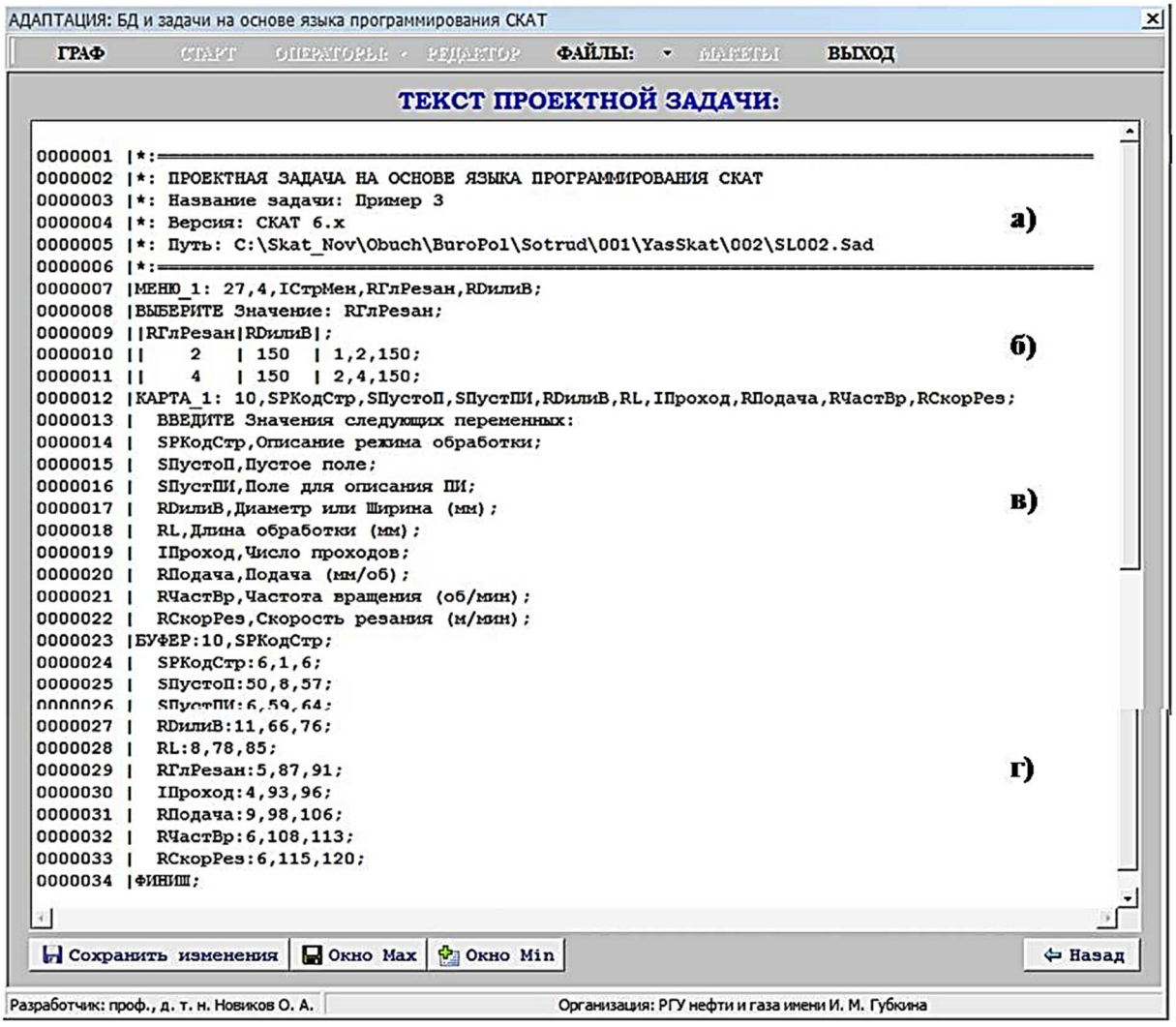


Рисунок 9 – Текст проектной задачи

Текст проектной задачи включает следующие разделы:

- а – Характеристики текста проектной задачи;
- б – Блок описания оператора МЕНЮ. Формируется пользователем ИС описания оператора на основе экранных сцен (рис. 6, 7, 8). Блок оператора включает:

– Управляющую строку, в состав которой входит: имя оператора блока, количество информационных строк и множество имен переменных в операторе;

– Множество информационных строк. В первой строке множества описана информация пользователю для выбора строки из падающего меню, которое формируется при старте проектной задачи на основании информации, представленной в следующих информационных строках оператора.

- в – Блок описания оператора КАРТА. Формируется автоматически. Блок оператора включает:

– Управляющую строку, в состав которой входит: имя оператора блока, количество информационных строк и множество имен переменных в операторе;

– Множество информационных строк. В первой строке множества описана информация пользователю для ввода значений переменных в таблицу, которая создается при старте проектной задачи на основании информации, представленной в следующих информационных строках оператора.

- г – Блок описания оператора БУФЕР. Формируется автоматически.

Блок оператора включает:

– Управляющую строку, в состав которой входит: имя оператора блока, количество информационных строк и имя переменной в операторе, значение которой соответствует коду строки в технологическом документе [1];

– Множество информационных строк. В первой строке множества описана информация пользователю для ввода значений переменных в таблицу, которая создается при старте проектной задачи на основании информации, представленной в следующих информационных строках оператора.

Функции кнопок экранной сцены (рис. 9) определяются их названиями. Пользователь ИС имеет возможность проводить изменения в тексте проектной задачи. При активации кнопки «Сохранить

изменения» формируется файл проектной задачи, который записывается в базу проектных задач модуля и осуществляется переход к следующей экранной сцене.

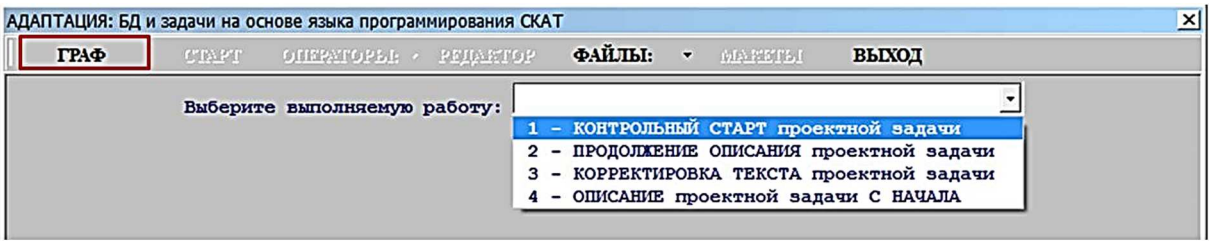


Рисунок 10 – Выбор выполняемой работы с проектной задачей в СКАТ

В падающем меню экранной сцены пользователь может выбрать и запустить в работу инструментальные средства модуля (рис. 10) для решения следующих задач:

1. КОНТРОЛЬНЫЙ СТАРТ проектной задачи – проверка правильности работы операторов в проектной задаче;
2. ПРОДОЛЖЕНИЕ ОПИСАНИЯ проектной задачи – удаление из текста проектной задачи оператора «ФИНИШ» и продолжение её описания путем дополнения операторов специализированного языка программирования в конец текста программы;
3. КОРРЕКТИРОВКА ТЕКСТА проектной задачи – удаление или дополнение в программу операторов специализированного языка программирования;
4. ОПИСАНИЕ проектной задачи СНАЧАЛА – удаление из текста всех операторов для описания в существующем файле новой проектной задачи.

Выбор из падающего меню (рис. 10–1 КОНТРОЛЬНЫЙ СТАРТ проектной задачи) позволяет сформировать экранную сцену (рис. 11) запуска в работу созданной проектной задачи для формирования строки описания режимов обработки.

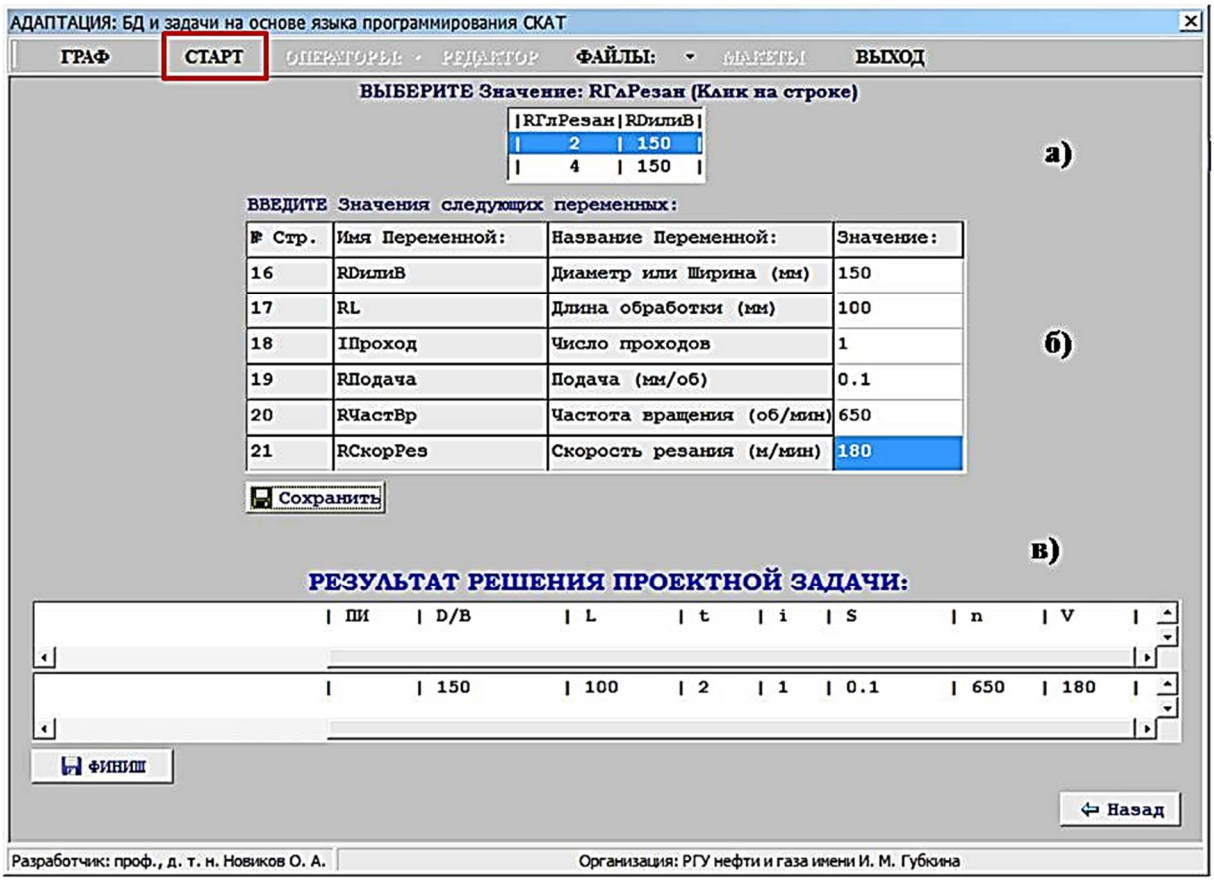


Рисунок 11 – Контрольный старт проектной задачи

При входе в раздел «СТАРТ» ИС описания оператора МЕНЮ формируют падающее меню, которое содержит видимые столбцы (табл. 11а) значений переменных из таблицы оператора.

Выбор строки из падающего меню («Клик на строке») позволяет присвоить значения из строки таблицы всем переменным оператора, имена которых включены в первую строку (Горизонталь) таблицы и перейти к вводу значений переменных оператора КАРТА (рис. 11б).

В таблицу (рис. 11б) включены те переменные, имена которых не заданы в предыдущем операторе проектной задачи. Активация кнопки «Сохранить» позволяет:

- Присвоить значения переменных (столбец 2 таблицы), имена которых приведены в таблице (столбец 2);
- Представить результат решения проектной задачи [1] (рис. 11в):

– строкой, поля в которой включают обозначения переменных;
– строкой, поля в которой включают значения переменных;

Активация кнопки «Финиш» позволяет окончить работу с модулем, а кнопки «Назад» – перейти к предыдущей экранной сцене (рис. 10).

Выводы

1. СКАТ лояльна к пользователю, так как включает модули, ИС которых позволяют технологам ТБ ОГТ самостоятельно создавать базы проектных задач описания конкретных технологических задач, результат решения которых – строка на общепринятом языке общения в формате принятом при оформлении технологической документации.
2. Участие сотрудников ТБ ОГТ в создании баз проектных задач системы позволяет существенно сократить сроки адаптации СКАТ на выполнение проектных работ.
3. Проектирование ТП выполняется в технологическом редакторе системы на основе запуска в работу соответствующей проектной задачи из базы проектной задачи, что позволяет значительно сократить затраты времени на проектирование ТП. Повышение производительности работ при проектировании ТП объясняется тем, что время на проектирование ТП затрачивается только на выбор проектной задачи из базы проектных задач, ввод исходных данных при старте проектной задачи и корректировку результатов в технологическом редакторе СКАТ.

Литература

1. Виноградская И.В. Единая система технологической подготовки производства // Государственный комитет по стандартам. – М., 1984. – 131 с.
2. Цикритзис Д., Лоховски Ф. Модели данных / пер. с англ. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 344 с.
3. Новиков О.А., Тянтов А.Я., Базанов А.В. [и др.]. Система комплексной автоматизации технологии «СКАТ». Описание информационно-поисковой системы : методическое пособие. – М. : ГАНГ им. И.М. Губкина, 1996. – 119 с.
4. Новиков О.А., Комаров Ю.Ю., Байбаков С.В. Автоматизация проектных работ в технологической подготовке машиностроительного производства. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 260 с. – ISBN 978-5-7035-1893-9
5. Проектирование технологий машиностроения на ЭВМ : учебник для вузов / О.В. Таратынов, Б.М. Базров, В.В. Клепиков [и др.]; под ред. О.В. Таратынова. – М. : МГГИУ, 2006. – 519 с. – ISBN 5-276-00877-9
6. Новиков О.А. Основы автоматизированного проектирования : учебно-методическое пособие. – М. : Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. – 57 с.

References

1. Vinogradskaya I.V. Unified system of technological preparation of production // State committee for standards. – M., 1984. – 131 p.
2. Cikritzis D., Lohovski F. Data Models / per. engl. – M. : Finance and Statistics, 1985. – 344 p.
3. Novikov O.A., Tiants A.Ya. Bazanova A.B. [et al.]. System of complex automation of «SCAT» technology. Description of the information retrieval system : a methodical manual. – M. : GANG im. I.M. Gubkin GANG, 1996. – 119 p.
4. Novikov O.A., Komarov Yu.Yu., Baibakov S.V. Automation of design works in technological preparation of machine-building production. – M. : MAI Publishing House, 2007. – 260 p. – ISBN 978-5-7035-1893-9
5. Engineering Technologies Design on Computer : a textbook for HEIs / O.V. Taratynov, B.M. Bazrov, V.V. Klepikov [et al.]; under edition of O.V. Taratynov. – M. : MGGIU, 2006. – 519 p. – ISBN 5-276-00877-9
6. Novikov O.A. Basics of CAD design : educational and methodical manual. – M. : Publishing center of Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NIU), 2016. – 57 p.

УДК 622

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В РАБОЧЕЙ КАМЕРЕ КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ

●●●●●●

SIMULATION OF FLOW IN THE WORKING CHAMBER OF A CAVITATION DISPERSER-MIXER

Пахлян Ирина Альбертовна
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры МОНГП,
Кубанский государственный
технологический университет
pachlyan@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена трехмерному CFD моделированию течения в рабочей камере диспергатора – смесителя – устройства, применяемого для смешивания многофазных потоков, в том числе для приготовления буровых, промывочных и тампонажных растворов при строительстве и капитальном ремонте скважин. Освещены вопросы построения гидродинамической модели потока.

Ключевые слова: диспергирование; гидродинамика; кавитация; многофазное течение; моделирование в STAR-CCM+.

Pakhlyan Irina Albertovna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor Department of MONGP,
Kuban state technological university
pachlyan@mail.ru

Annotation. The Article is devoted to three-dimensional CFD modeling of the flow in the working chamber of a disperser-mixer-a device used for mixing multiphase flows, including for the preparation of drilling, flushing and grouting solutions during the construction and overhaul of wells. The issues of constructing a hydrodynamic flow model are highlighted.

Keywords: dispersion; hydrodynamics; cavitation; multiphase flow; modeling in STAR-CCM+.

Сервисные компании и буровые предприятия уделяют повышенное внимание технологии приготовления и параметрам применяемых буровых и тампонажных растворов, от которых, в-первую очередь, зависит качество выполняемых работ по строительству и капитальному ремонту скважин [1].

Перспективным для интенсификации процессов диспергирования и смешивания в многофазных средах является использование эффекта кавитации, который оказывает значительное влияние на тиксотропные и фильтрационные свойства глинистых растворов, прочность цементного камня за счет очень высокой локальной концентрации энергии при небольших средних затратах мощности.

Для эффективной реализации механизма интенсификации процессов смешивания, диспергирования, эмульгирования, гомогенизации при приготовлении буровых и тампонажных растворов с целью повышения их качества был разработан кавитационный диспергатор-смеситель [2] (рисунок 1).

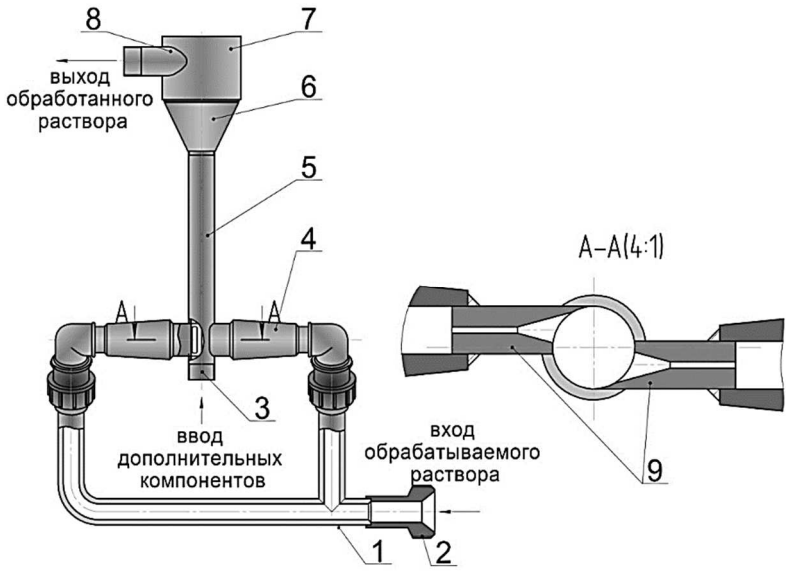


Рисунок 1 – Кавитационный диспергатор-смеситель:
1 – линия подвода раствора; 2 – входной штуцер; 3 – линия подвода раствора; 4 – корпус; 5 – рабочая камера; 6 – диффузор; 7- цилиндр; 8 – патрубок выхода раствора; 9 – генераторы кавитации

В абсолютном большинстве случаев, при проектировании новых гидроустройств используются расчеты в CFD пакетах, например STAR-CCM+. С их помощью моделируются процессы течения в проточных частях и оптимизируется геометрия рабочих камер.

Поскольку в разработанном диспергаторе основные процессы кавитации и смешивания происходят в кавитаторах и рабочей камере для предварительного расчета будем рассматривать трехмерные области обозначенные цифрами 5 и 9.

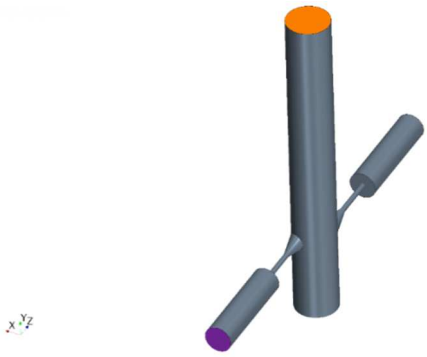


Рисунок 2 – Трехмерная модель исследуемой области

Разбиение данных областей на контрольные объемы выполнено с параметрами представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры сетки

Базовый размер, мм	1
Базовый размер в области кавитаторов, мм	0,32
Толщина призматического слоя, мм	0,6
Растяжение призматического слоя	1,3
Число призматических слоев	5

Для правильного расчета профиля скорости струи размер сеточной ячейки, в каждой из исследуемых областей, выбран из условия:

$$a = 0{,}1 \cdot d,$$

где a – базовый размер сетки; d – эквивалентный диаметр исследуемой области.

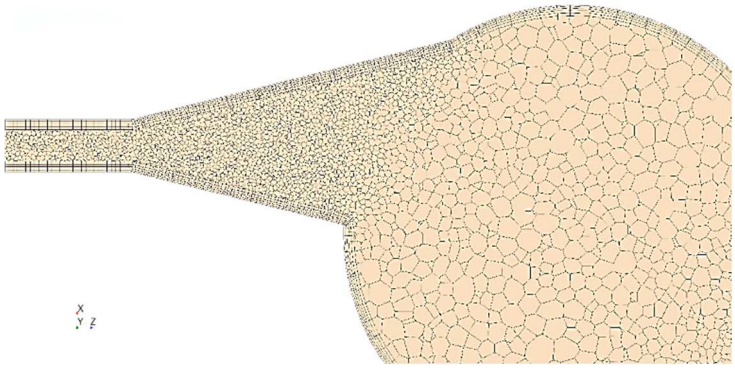


Рисунок 3 – Расчётная сетка в горизонтальном сечении кавитаторов

Предварительный расчет предполагает построение поля давлений в исследуемой области для определения возникновения кавитации. Для этого необходимо математическое описание поведения текучей среды. В случае несжимаемой жидкости необходимо решение дискретных аналогов уравнения сохранения количества движения (уравнение Навье – Стокса):

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla)\vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \vec{f}; \quad (1)$$

и уравнения сохранения массы (уравнение неразрывности):

$$div\ v = 0; \tag{2}$$

где $\vec{v}$ – векторное поле скоростей; t – время; ν – кинематическая вязкость; ρ – плотность жидкости; p – давление; $\vec{f}$ – векторное поле массовых сил.

При работе диспергатора образуется турбулентный поток. CFD пакеты для моделирования турбулентности мгновенные уравнения Навье-Стокса усредняют по времени. Осредненные по времени уравнения Навье-Стокса являются уравнениями Рейнольдца и для трехмерного случая представляются в виде:

$$\begin{cases} X - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \nu\nabla^2\bar{u}_x - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial x}\cdot\overline{(\rho\acute{u}_x\acute{u}_x)} - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial y}\overline{(\rho\acute{u}_x\acute{u}_y)} - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial z}\overline{(\rho\acute{u}_x\acute{u}_z)} = \\ = \frac{\partial\bar{u}_x}{\partial x}\cdot\bar{u}_x + \frac{\partial\bar{u}_x}{\partial y}\cdot\bar{u}_y + \frac{\partial\bar{u}_x}{\partial z}\cdot\bar{u}_z \\ Y - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \nu\nabla^2\bar{u}_y - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial x}\cdot\overline{(\rho\acute{u}_y\acute{u}_x)} - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial y}\overline{(\rho\acute{u}_y\acute{u}_y)} - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial z}\overline{(\rho\acute{u}_y\acute{u}_z)} = \\ = \frac{\partial\bar{u}_y}{\partial x}\cdot\bar{u}_x + \frac{\partial\bar{u}_y}{\partial y}\cdot\bar{u}_y + \frac{\partial\bar{u}_y}{\partial z}\cdot\bar{u}_z \\ Z - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \nu\nabla^2\bar{u}_z - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial x}\cdot\overline{(\rho\acute{u}_z\acute{u}_x)} - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial y}\overline{(\rho\acute{u}_z\acute{u}_y)} - \frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial}{\partial z}\overline{(\rho\acute{u}_z\acute{u}_z)} = \\ = \frac{\partial\bar{u}_z}{\partial x}\cdot\bar{u}_x + \frac{\partial\bar{u}_z}{\partial y}\cdot\bar{u}_y + \frac{\partial\bar{u}_z}{\partial z}\cdot\bar{u}_z \end{cases} \tag{3}$$

Для определения напряжений Рейнольдца $\overline{(\rho\acute{u}_\iota\acute{u}_\jmath)}$, используется SST K-ω модель турбулентности, использующая два дифференциальных уравнения в частных производных для двух переменных [3]:

k – кинетическая энергия турбулентности, определяемая как:

$$\frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{t}} + \mathrm{U_j}\frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{x_j}} = \mathrm{P_k} - \beta * \mathrm{k}\omega + \frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\cdot[(\mathrm{v} + \sigma_\mathrm{k}\mathrm{v_T})]\frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{x_j}} \tag{4}$$

и ω – удельная скорость диссипации, определяемая как:

$$\frac{\partial \omega}{\partial \mathrm{t}} + \mathrm{U_j}\frac{\partial \omega}{\partial \mathrm{x_j}} = \alpha\mathrm{S}^2 - \beta\omega^2 + \frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\cdot\left[(\mathrm{v} + \sigma_\omega\mathrm{v_T})\frac{\partial \omega}{\partial \mathrm{x_j}}\right] + 2(1-\mathrm{F_1})\sigma_{\omega 2}\frac{1}{\omega}\cdot\frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{x_j}}\cdot\frac{\partial \omega}{\partial \mathrm{x_j}}. \tag{5}$$

Коэффициенты замыкания и вспомогательные соотношения [3]:

$$\mathrm{F_2} = \tanh\cdot\left[\left[\max\left(\frac{2\sqrt{\mathrm{k}}}{\beta*\omega\mathrm{y}}, \frac{500\mathrm{v}}{\mathrm{y}^2\omega}\right)\right]^2\right]. \tag{6}$$

$$\mathrm{P_k} = \min\left(\tau_{\mathrm{ij}}\frac{\partial \mathrm{U_j}}{\partial \mathrm{x_j}}, 10\beta * \mathrm{k}\omega\right). \tag{7}$$

$$\mathrm{F_1} = \tanh\left\{\left\{\min\left[\max\left(\frac{\sqrt{\mathrm{k}}}{\beta*\omega\mathrm{y}}, \frac{500\mathrm{v}}{\mathrm{y}^2\omega}\right), \frac{4\sigma_{\omega 2}\mathrm{k}}{\mathrm{CD_{k\omega}y^2}}\right]\right\}^4\right\}. \tag{8}$$

$$\mathrm{CD_{k\omega}} = \max\left(2\rho\sigma_{\omega 2}\frac{1}{\omega}\cdot\frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{x_j}}\cdot\frac{\partial \omega}{\partial \mathrm{x_j}}, 10^{-10}\right). \tag{9}$$

$$\emptyset = \emptyset_1\mathrm{F_1} + \emptyset_2(1-\mathrm{F_1}). \tag{10}$$

$$\alpha_1 = \frac{5}{9}, \alpha_2 = 0{,}44;$$

$$\beta_1 = \frac{3}{40}, \beta_2 = 0{,}0828;$$

$$\beta * = \frac{9}{100};$$

$$\sigma_{\mathrm{k1}} = 0{,}85, \sigma_{\mathrm{k2}} = 1;$$

$$\sigma_{\omega 1} = 0{,}5, \sigma_{\omega 2} = 0{,}856.$$

Другие параметры физической модели представлены на рисунке 4.

Свойства текучей среды были заданы близкими к свойствам воды. Для задания давления на входе использовалась граница обозначенные фиолетовым цветом (рис. 2). Граница с давлением на выходе обозначена оранжевым цветом. Остальные границы заданы в качестве абсолютно твердых стенок. Для построения поля давлений выбрана стационарная постановка задачи.

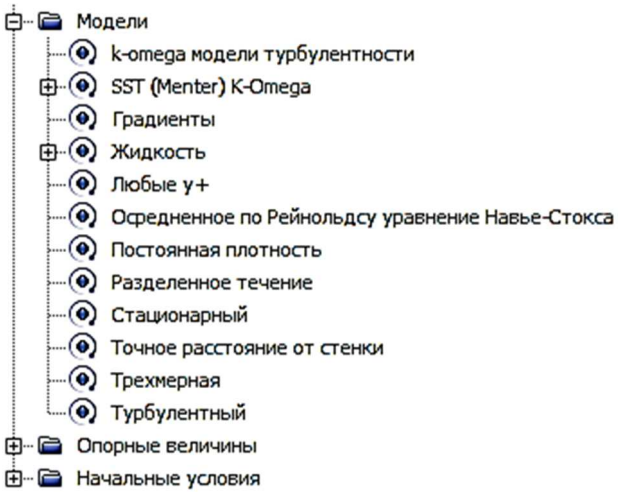


Рисунок 4 – Задание физической модели

При давлении на входе $p_{\text{вх}} = 1{,}15\ \text{Мпа}$ и расходе $Q = 16\,\frac{\text{л}}{\text{с}}$ расчёт показал следующие поля давлений и скоростей:

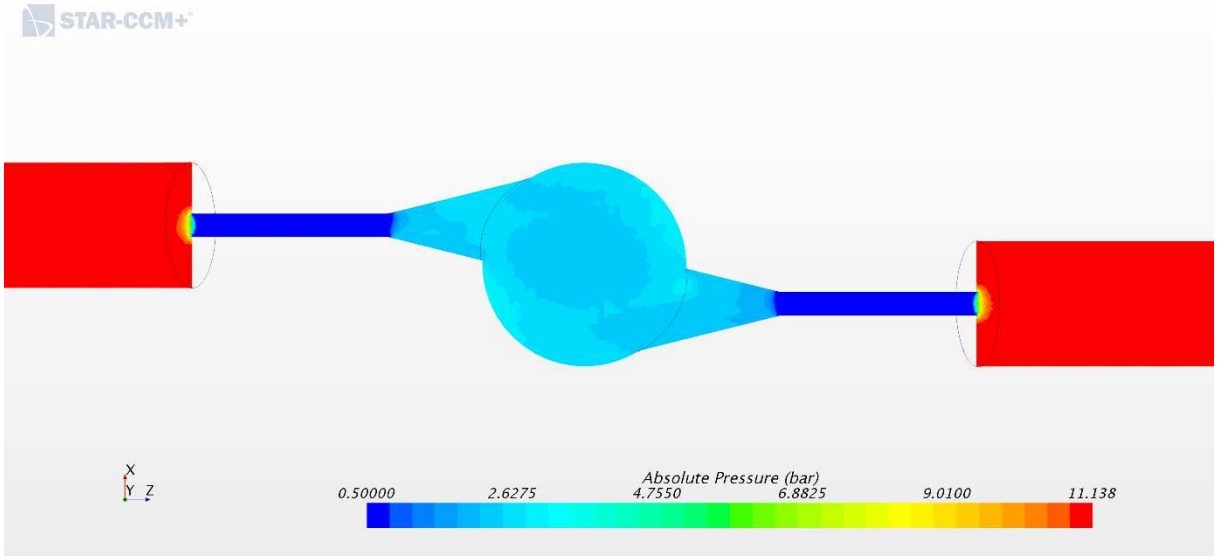


Рисунок 5 – Поле давления в горизонтальном сечении кавитаторов

Можно наблюдать падение давления в соплах кавитаторов ниже давления насыщенных паров, таким образом создаются условия для возникновения кавитации [4]. Анализ картины векторов скоростей (рис. 6) показывает, как образуется большой вихрь на оси рабочей камеры, что способствует наиболее эффективному перемещиванию:

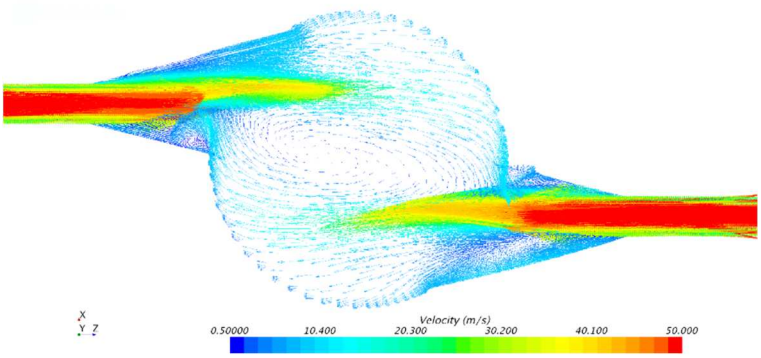


Рисунок 6 – Векторы скоростей в горизонтальном сечении кавитаторов

Выводы

Путем изменения геометрических размеров данных кавитаторов (ширины и длины щели), а также изменением параметров насоса можно гибко регулировать пропускную способность диспергатора-смесителя. В рабочей камере 5 происходит процесс образования, роста, схлопывания кавитационных каверн, что способствует интенсивному перемешиванию, диспергированию твердых частиц раствора.

Выполнение генераторов кавитации 9 в виде плоских щелевых насадок, позволяет генерировать кавитацию в любых сложных многофазных растворах для получения стабильных коллоидно-монодисперсных систем.

Результаты проведенных исследований показывают, что приготовление тампонажных растворов кавитационным диспергатором-смесителем позволило практически до 4 раз снизить водоотделение тампонажных растворов, повысить предел прочности цементного камня в среднем в 1,2 раза.

Ускорить процесс формирования цементного камня (сроки начала схватывания сократились на 9–12 %, конца схватывания на 6-8 %, время загустевания на 6–9 %).

Литература

1. Пахлян И.А. Исследование гидроэжекторных смесителей, модернизация их конструкций и совершенствование технологии приготовления буровых промывочных и тампонажных растворов : дисс. … канд. – Краснодар, 2010.

2. Патент РФ № 116068. Кавитационный диспергатор-смеситель. Авт. Омельянюк М.В., Пахлян И.А. – Заявка № 2011143283. – Дата 20.05.2012.

3. Wilcox D.C. (2008), Formulation of the k–ω Turbulence Model Revisited, 46, AIAA Journal, pp. 2823–2838, doi: 10.2514 / 1.36541

4. Омельянюк М.В., Пахлян И.А. Разработка устройства для интенсификации процессов смешивания и диспергирования при приготовлении буровых и тампонажных растворов // Инженер-нефтяник. – М., 2014. – № 4. – С. 20–23.

References

1. Pakhlyan I.A. Research of the hydro-jet mixers, modernization of their constructions and improvement of the technology of the drilling flushing and plugging mud preparation : dissertation ... Cand. – Krasnodar, 2010.

2. RF Patent № 116068. Cavitation dispersant-mixer. Avt. Omelyanyuk M.V., Pakhlyan I.A. – Application № 2011143283. – Date 20.05.2012.

3. Wilcox D.C. (2008), Formulation of the k-ω Turbulence Model Revisited, 46, AIAA Journal, pp. 2823-2838, doi: 10.2514 / 1.36541

4. Omelyanyuk M.V., Pakhlyan I.A. Development of a device for intensification of the mixing and dispersion processes at preparation of drilling and plugging solutions // Petroleum engineer. – M., 2014. – № 4. – P. 20–23.

УДК 628.54

БУРОВОЙ ШЛАМ КАК ИСТОЧНИК СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ШНЕКОВОГО ФОРМОВАНИЯ

●●●●●●

DRILL CUTTINGS AS A SOURCE OF RAW MATERIALS IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS BY WORM MOLDING

Пискунова Софья Владимировна
аспирант кафедры экологии
промышленных зон и акваторий,
Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет
piskunova.sv@gmail.com

Нифонтов Юрий Аркадьевич
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой экологии
промышленных зон и акваторий,
Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет
nifontov@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность утилизации техногенного продукта, получаемого в процессе бурения нефтегазовых скважин, при производстве строительных материалов методом шнекового формования. Исследованы физико-химические свойства исходного сырья – бурового шлама Калининградского региона Российской Федерации. Исследование направлено на утилизацию, обезвреживание и вторичное использование бурового шлама, что в значительной степени улучшит экологическую обстановку и позволит создать резерв дешевого сырья для производства строительных и отделочных материалов.

Ключевые слова: буровой шлам, утилизация и переработка, промышленные отходы, экология, вторичные строительные материалы.

Piskunova Sofia Vladimirovna
Graduate student
of the department of Ecology
industrial areas and water areas,
St. Petersburg state
maritime technical university
piskunova.sv@gmail.com

Nifontov Yuri Arkadievich
Doctor of Technical Sciences, Professor,
head of the environmental department
industrial areas and water areas,
St. Petersburg state
maritime technical university
nifontov@yandex.ru

Annotation. The possibility of utilization of the technogenic product obtained during the drilling of oil and gas wells in the production of building materials by the method of worm molding is considered. The physical and chemical properties of the feedstock – drill cuttings of the Kaliningrad region of the Russian Federation are investigated. The study is aimed at the utilization and recycling of drill cuttings, which is to significantly improve the environmental situation and to create a reserve of cheap raw materials for the production of building and finish materials.

Keywords: drill cuttings, utilization and processing, industrial waste, ecology, secondary building materials.

Недостаточная обеспеченность ряда крупнейших стран мира запасами нефти обуславливает необходимость стремительного наращивания геологоразведочных работ. Широкомасштабная эксплуатация недр и увеличение объемов производств нефтегазовой индустрии – одной из самых экологически опасных отраслей промышленности, сопровождается соответствующим увеличением объемов нефтяных загрязнений и отходов, ростом количества аварийных ситуаций.

Производственная деятельность предприятий нефтегазового сектора промышленности, начиная с этапа разведки и добычи углеводородов, заканчивая использованием нефтепродуктов и ликвидацией (консервацией) скважин, в значительной степени способствует негативному воздействию на окружающую среду [1].

Одним из основных и масштабных видов технологических отходов, образующихся при бурении, является буровой шлам, который необходимо подвергать переработке и утилизации. При этом в отличие от других видов отходов, буровые шламы являются характерными и неизбежными многотоннажными отходами, образующимися при всех видах буровых работ. Для их размещения отчуждаются территории предприятий с целью создания амбаров и полигонов, требующих регулярных капиталовложений, сопровождающихся систематическим ростом экологических платежей.

Хранение отходов таким способом неминуемо ведет к загрязнению недр, атмосферы, поверхностных и подземных водных объектов, почвы, а также негативным воздействию на растительный и животный мир.

При этом на сегодняшний день не разработан универсальный способ утилизации и вторичного применения данного вида отходов не смотря на практическую возможность их использования при

производстве строительных материалов после обезвреживания и соответствующей предварительной подготовки.

Вместе с тем большое разнообразие состава и свойств буровых шламов, недостаточная изученность их характеристик, в том числе токсичности и способов ее снижения, не позволили в настоящее время этому направлению утилизации получить широкое распространение в промышленности.

Исходя из химического анализа бурового шлама Калининградского региона Российской Федерации, было установлено, что он относится к четвертому классу опасности – малоопасные вещества. В экспериментальной части использован буровой шлам с минимальным процентным содержанием нефтепродукта.

В соответствии с методикой эксперимента разработка составов трехкомпонентной рецептуры проводилась по различным соотношениям в системе: «буровой шлам – цемент – вода».

Для применения бурового шлама в качестве источника вторичной сырьевой базы при производстве строительных материалов важным аспектом является подготовка шихты по гранулометрическому составу и управление адгезионными свойствами компонентов.

Это обусловлено необходимостью создания условий для максимального сближения и уплотнения частиц при формовании. По качеству упаковки частиц наиболее плотной считается смесь Фуллера-Томпсона, ситовая характеристика которой, при заданных классах, отвечает соотношению: 0–3 мм: более 3 мм – 5–10 %; 1–3 мм – 45–50 %; 0–1 мм – 40–45 % [2, 3].

На данном этапе исследований результаты экспериментальной проверки уплотняемости частиц шихты с предложенными размерностями объединенных фракций классов крупности полусухим формованием подтверждают правомерность данного решения – полученные брикеты имели прочность на сжатие в пределах 247,3–282,3 кг/см^2.

Таким образом, результатами проведенной оценки прочностных свойств брикетов подтверждается соответствие гранулометрического состава смеси оптимальному ситовому составу, пригодному для практического использования при формовании.

В качестве связующего материала для формования изделий из данного вида буровых шламов предлагается использовать тампонажный цемент марки М-600, имеющийся на морских буровых платформах и стационарных буровых установках на суше в достаточном для этого количестве.

Процесс формования исследуемого сырья с целью получения строительных материалов происходит с помощью специальных станков (прессов) различной мощности.

В практике формования (брикетирования) твердых отходов используются различные технологические решения с применением соответствующих прессовые механизмы. Наибольшее распространение получили штемпельные (давление прессования 10–12 МПа), вальцовые и кольцевые (~20 МПа), гидравлические (>25 МПа) и экструдерные прессы различных конструкций. Для последних характерен самый низкий удельный уровень энергоемкости брикетирования, следовательно, наиболее эффективным способом формования (брикетирования) является экструдерный. Это, как правило, компактное оборудование при производительности до 5–10 т/час имеет габаритные размеры ~2000×1000×700 мм. Вес – 200–250 кг. Потребляемая мощность (Q) не превышает 5 кВт [2].

Все указанные преимущества экструдерного (шнекового) прессования обеспечивают перспективы и высокую эффективность развития подобной технологии утилизации мелкодисперсных отходов.

В результате выполненных исследований была разработана рецептура сырьевой смеси и технология ее приготовления на основе бурового шлама для получения строительного кирпича посредством применения методов проходного прессования высококонцентрированных полидисперсных композиций, которая включает следующие ингредиенты (табл. 1).

Таблица 1 – Рецептура сырьевой смеси

Ингредиент	Доля в составе композиции, % (масс.)
Шлам	90–92
Цемент М-500	10–8
Вода	0,1 кг/кг шлама

Технологическая схема производства образца включала следующие основные операции:

– дробление шлама в щековой дробилке;

– грохочение шлама для разделения по размерам фракций в замкнутой системе измельчения с цикличным применением грохотов;

– дозировку полученной массы и части цемента в соотношении шлам: цемент, равном 9:1;

– дозировку компонентов шихты (шлама, цемента и воды);

– перемешивание компонентов шихты в смесителе;

– прессование массы;

– подсушивание готовых изделий естественным путем.

После окончательного отвердевания, при предварительных испытаниях для определения предела прочности при сжатии, прочность полученных образцов составила 247,3–282,3 кг/см², что соответствует аналогичным характеристикам бетонных кирпичей марки М200.

Определенная величина водопоглощения находится в пределах нормативных требований для строительного кирпича.

Значение насыпной плотности составило 1,27 г/см³, из чего следует вывод, что данный материал, имея достаточно низкую плотность, при транспортировании будет занимать большой объем, что в свою очередь, увеличивает общий объем и стоимость транспортирования. Значение плотности готового образца достаточно высоко (ρ = 2,06 г/см³), и оно превышает величину насыпной плотности материала (ρн = 1,27 г/см³), из которого были изготовлены образцы почти в 2 раза, что обуславливает сокращение занимаемой буровыми шламами площади, а равно снижает затраты на транспортировку. Не учтены условия – форма брикета для компактного формирования транспортируемых комплектов?

В качестве примера эффективности использования способа формования буровых шламов для сокращения их объема, предложено рассмотрение ближайшего шельфового объекта – российского сектора Балтийского моря (Калининградский регион РФ). Регион в значительной степени отдален от основной территории России, характеризуется отсутствием необходимой степени обустройства полигонов промышленных отходов, а также сложной логистической схемой трансграничного перемещения отходов.

Отсутствие в регионе полигонов, в достаточной степени обустроенных к приему промышленных отходов III-IV классов опасности и изолированность региона в целом, позволяют считать целесообразным применение данного способа формования буровых шламов для более эффективной их утилизации.

Уменьшение платы за размещение отходов, получение прибыли от реализации продуктов утилизации, расширение инфраструктуры рабочих профессий предприятия, создание дополнительных рабочих мест – все приведенные положительные стороны в комплексе обеспечивают, несомненно, положительный эколого-экономический эффект.

Проведенный анализ возможных преимуществ утилизации бурового шлама, путем предложенного решения, показывает, что предотвращение загрязнения среды, путем сокращения площадей захоронения или использования буровых шламов при производстве строительных материалов, является необходимой мерой на пути достижения баланса между окружающей природной средой и деятельностью человека.

Литература

1. Панов В.П. Теоретические основы защиты окружающей среды : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.П. Панов, Ю.А. Нифонтов, А.В. Панин; под ред. В.П. Панова. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 320 с.

2. Нифонтов Ю.А. Рациональное использование отходов обогащения угля и снижение экологической напряженности при разработке месторождений Севера России : монография. – СПб. : Санкт-Петербургский горный институт, 2000. – 138 с.

3. Шувалов Ю.В. К вопросу о механизме брикетирования «жестких» углей / Ю.В. Шувалов, Ю.А. Нифонтов, О.В. Ковалев, А.А. Бенин // Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-технический журнал. – 2004. – № 2. – С. 127–129.

References

1. Panov V.P. Theoretical foundations of environmental protection: tutorial for students of higher education institutions / V.P. Panov, Y.A. Nifontov, A.V. Panin; under the editorship of V.P. Panova. – M. : Publishing Center «Academy», 2008. – 320 p.

2. Nifontov Y.A. Rational use of coal enrichment waste and reduction of environmental tension in the development of deposits in the North of Russia : Monograph. – St. Petersburg : St. Petersburg Mining Institute, 2000. – 138 p.

3. Shuvalov Y.V. On the issue of the briquetting mechanism of «hard» coals / Y.V. Shuvalov, Y.A. Nifontov, O.V. Kovalev, A.A. Benin // Mining Information and Analytical Bulletin: scientific and technical journal. – 2004. – № 2. – P. 127–129.

УДК 629.124

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ТАНКЕРНОГО ФЛОТА

●●●●●●

ANALYSIS AND PROSPECTS OF THE USE OF LIQUEFIED NATURAL GAS AS FUEL FOR THE TANKER FLEET

Попов Сергей Анатольевич
кандидат технических наук, доцент,
Кубанский государственный
технологический университет
sa_popov@inbox.ru

Ивашкин Илья Ильич
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
warmuru@mail.ru

Елфимов Михаил Александрович
аспирант,
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
elfimovma@mail.ru

Асташов Максим Александрович
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
i.am.jlaku@gmail.com

Попова Светлана Валентиновна
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
s.sv23@mail.ru

Восоров Георгий Юрьевич
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
g.vosorov2013@yandex.ru

Аннотация. В статье описаны причины, по которым необходимо отказаться от использования мазута и перейти на сжиженный природный газ, приведены основные преимущества и недостатки использования его в качестве основного топлива на танкерном флоте. Проведена оценка количества выбросов при сгорании различных видов топлива в окружающую среду.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, сжиженный природный газ, танкерный флот, количество выбросов, скрубберы.

Popov Sergey Anatolyevich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Kuban state technological university
sa_popov@inbox.ru

Ivashkin Ilya Ilich
Graduate student,
Kuban state technological university
warmuru@mail.ru

Elfimov Mikhail Alexandrovich
Graduate student,
Kuban state technological university
elfimovma@mail.ru

Astashov Maksim Aleksandrovich
Graduate student,
Kuban state technological university
i.am.jlaku@gmail.com

Popova Svetlana Valentinovna
Graduate student,
Kuban state technological university
s.sv23@mail.ru

Vosorov Georgy Yurievich
Graduate student,
Kuban state technological university
g.vosorov2013@yandex.ru

Annotation. This article describes the reasons why it is necessary to abandon the use of common fuel oil and switch to liquefied natural gas, the main advantages and disadvantages of using it as the main fuel in the tanker fleet are presented. Estimation of the amount of emissions from the combustion of various types of fuel into the environment.

Keywords: alternative energy, liquefied natural gas, tanker fleet, emissions, scrubbers.

Новые экологические требования Международной морской организации (IMO или ММО) приняты в январе 2020 года и предполагают снижение содержания серы в топливе с 3,5 % до 0,5 % [1]. Это делается в первую очередь для снижения выбросов в одном из самых «загрязненных»

секторов мировой экономики – судоходном. Участники этого рынка – судоходные компании, нефтяные трейдеры, переработчики и энергетические компании уже претерпевают глобальные изменения. Большинство из них переходят на закупку мазута с низким содержанием серы, что ведет к большим капиталозатратам. Но все эти изменения – это лишь начало большой и неизбежной экологической реформы в судовой отрасли. Начиная с 2020 года, судовладельцы обязаны действовать в рамках масштабного плана по снижению выбросов парниковых газов как минимум на 50 % к 2050 году (в сравнении с уровнем 2008 года). В таблице 1 приведено количество выбросов в окружающую среду при сгорании основных видов судоходного топлива.

Таблица 1 – Количество выбросов при сгорании топлива

Тип топлива	Количество выбросов г/кВт·ч			
	SO_x	NO_x	CO_2	Твердые частицы
Мазут (3,5 % серы)	13	9–12	580–630	1,5
Морское дизельное топливо (0,5 % серы)	2	8–11	580–630	0,25–0,5
Очищенное дизельное топливо (0,1 % серы)	0,4	8–11	580–630	0,15–0,25
Природный газ (сжатый или сжиженный)	0	2	430–480	0

Одним из решений является применение скрубберов – устройств, используемых для очистки твёрдых или газообразных сред от примесей в различных химико-технологических процессах. Скрубберы лидируют в подготовительной гонке технологий, так, например, к октябрю 2019 года 3 023 судна были оборудованы скрубберами или заказали их установку. Однако в лиге альтернативных видов топлива на первом месте находится сжиженный природный газ (СПГ). По состоянию на февраль 2019 года в мире эксплуатировалось 143 судна, работающих на СПГ, и еще 135 находилось в стадии постройки. На рисунке 1 видно, что количество судов на СПГ растет с каждый годом.

Для использования сжиженного природного газа в судовом двигателе необходимо умеренное количество модификаций. Несмотря на это, существует целый ряд преимуществ и недостатков двигательной установки на СПГ.

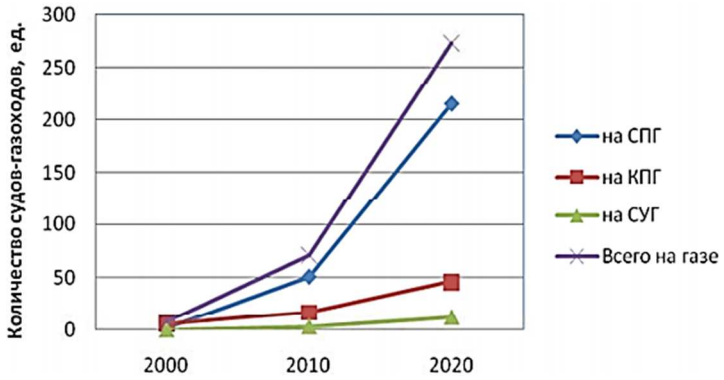


Рисунок 1 – Количество судов на СПГ в мире

Плюсами СПГ в качестве топлива являются: сжиженный природный газ – самое чистое топливо, поскольку производит наименьшее количество парниковых газов; он используется в качестве топлива для судов с начала 2000-х годов, поэтому технология уже достаточно отработана, и на рынке существует множество поставщиков; кроме того, стоимость СПГ сопоставима с ценой традиционного горючего. Сжиженный природный газ пока не может конкурировать с мазутом, но, в отличие от других альтернативных видов топлива, СПГ станет полноценной заменой нефти в ближайшем будущем. По оценкам экспертов, доля СПГ достигнет 23 % в общем объеме судового топлива к 2050 году (сейчас она около 0,3 %).

Поршневые двигатели, газовые турбины и расходные материалы к ним, а также специальные криогенные топливные системы для СПГ производятся в промышленных масштабах, что делает их доступными для потребителя.

Сжиженный природный газ имеет и недостатки: он имеет более высокую удельную энергоемкость по сравнению с мазутом, его энергоемкость на единицу объема составляет всего 43 % от высокосернистого мазута, поэтому топливные баки занимают в 3–4 раза больше места по сравнению с судами, работающими на традиционном горючем [2]; длительное нежелание внедрять двигатели на СПГ

топливе в судоходную отрасль было частично связано с логистическими трудностям; сжиженный природный газ для судовых двигателей по-прежнему можно найти лишь в ограниченном количестве портов по всему миру, что не устраивает большинство игроков. Зачастую суда имеют длинные маршруты, в которых следующий пункт не определен заранее, а значит, топливо должно быть доступно в любом порту. Поэтому часто компании занимают выжидательную позицию относительно новых технологий.

Сжиженный природный газ становится все более популярным видом топлива в судоходстве, особенно в зонах особого контроля за выбросами серы с судов. Россия также имеет планы по созданию собственного флота на СПГ и соответствующей береговой инфраструктуры.

В России пионером в деле эксплуатации танкерного флота на СПГ является ПАО «Совкомфлот», которое в течение трех последних лет ведет работу по переводу судов на газомоторное топливо. В сентябре 2015 года «Совкомфлот» и «Shell» приступили к реализации сложного проекта с целью внедрения СПГ в качестве топлива для крупнотоннажных танкеров. В апреле 2017 года эти компании подписали соглашение об обеспечении крупнотоннажных танкеров нового поколения сжиженным природным газом в качестве судового топлива, а уже в феврале 2018 года заключили долгосрочные тайм-чартерные соглашения на эксплуатацию двух танкеров типоразмера Aframax (дедвейтом 114 000 тонн) с двухтопливными двигателями.

Опыт эксплуатации танкеров на основе СПГ, полученный ПАО «Совкомфлот», также востребован и российскими судостроителями. В 2018 году ПАО «Совкомфлот» подписал пакет соглашений с компанией «Роснефть» о размещении заказа на строительство серии из двух судов нового поколения на газомоторном топливе на ССК «Звезда» с последующим отфрахтованием этих судов «Роснефти».

DAMEN Shipyards приступила к строительству танкеров-бункеровщиков на основе СПГ в октябре 2018 года. Предполагается использовать их на Балтике. Бункеровщик данного проекта LGC 6000 LNG. Вместимость двух танков до 6 тыс. куб. м и длиной 100 м. Готовое судно планируется передать заказчику «Eesti Gaas» в эксплуатацию к сентябрю 2020 года.

Данная концепция использования СПГ на танкерном флоте дает широкие перспективы внедрения гибридных систем энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии, которые могут комплексно работать с СПГ и сокращать количество дозаправок. Применение альтернативных мероприятий положительно отразятся как на энергетической, так и на экологической безопасности российского танкерного флота и энергетики в целом [3–11].

Литература

1. Межународный кодекс постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженные газы наливом (Кодекс МКГ). С изм. 2016.

2. Костылев И.И., Овсяников М.К. Морская транспортировка сжиженного газа : учеб-теорит. изд. – СПБ. : Изд-во ГМА им. адм С.О. Макарова, 2009. – 304 с.

3. Попов С.А. [и др.]. Электромашинный ветро-солнечный преобразователь : Технические и технологические системы // Материалы десятой международной научной конференции «ТТС-17» (22–24 ноября 2017 года); ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – С. 78–82.

4. Попов С.А. [и др.]. Обоснование применения гибридных ветро-солнечных энергоустановок на основе электромеханических преобразователей // Современные электротехнические и информационные комплексы и системы. – Армавир : АМТИ, 2019. – С. 76–79.

5. Черкасский П.А., Попова С.В., Асташов М.А. Повышение эффективности работы распределительной сети путём применения альтернативных подходов // Современные электротехнические и информационные комплексы и системы. – Армавир : АМТИ, 2019. – С. 115–117.

6. Патент № 171597 (РФ) Электромашинный ветро-солнечный преобразователь / С.А. Попов. – Опубл. 07.06.2017 г. – Бюл. № 16.

7. Патент № 2629017 (РФ) Гибридная аксиальная электрическая машина-генератор / С.А. Попов, М.С. Попов. – Опубл. 24.08.2017 г. – Бюл. № 24.

8. Патент № 2633376 (РФ) Гибридный аксиальный ветро-солнечный генератор / С.А. Попов, М.С. Попов. – Опубл. 12.10.2017 г. – Бюл. № 29.

9. Патент № 2633377 (РФ) Гибридная электрическая машина – генератор / С.А. Попов, М.С. Попов, А.И. Михед. – Опубл. 12.10.2017 г. – Бюл. № 29.

10. Патент № 2639714 (РФ) Ветро – солнечный генератор со сдвоенным ротором / С.А. Попов. – Опубл. 22.12.2017 г. – Бюл. № 36.

11. Патент № 2643522 Гибридный ветро-солнечный генератор / С.А. Попов, М.С. Попов – Опубл. 02.02.2018 г. – Бюл. № 4.

References

1. International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (ICG Codex). Rev. 2016.

2. Kostylev I.I., Ovsianikov M.K. Marine Transportation of Liquefied Gas : study-theory. ed. – SPb. : S.O. Makarov GMA Publishing House, 2009. – 304 p.

3. Popov S.A. [et al.]. Electromechanical wind-solar converter : Technical and technological systems // Materials of the Tenth International Scientific Conference «TTS-17» (November 22–24, 2017); FSBOU VO «KubGTU», A.K. Serov KVWAUL. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – P. 78–82.

4. Popov S.A. [et al.]. Justification of hybrid wind-solar power installations based on the electromechanical converters // Modern electrotechnical and information complexes and systems. – Armavir : AMTI, 2019. – P. 76–79.

5. Cherkasskiy P.A., Popova S.V., Astashov M.A. Distribution network operation efficiency increase by means of the alternative approaches application // Modern electrotechnical and information complexes and systems. – Armavir : AMTI, 2019. – P. 115–117.

6. Patent № 171597 (RF) Electromechanical wind-solar converter / S.A. Popov. – Publication 07.06.2017. – Bulletin № 16.

7. Patent № 2629017 (RF) Hybrid axial electric machine generator / S.A. Popov, M.S. Popov. – Publication 24.08.2017. – Bulletin № 24.

8. Patent № 2633376 (RF) Hybrid axial wind-solar generator / S.A. Popov, M.S. Popov. – Publication 12.10.2017. – Bulletin № 29.

9. Patent № 2633377 (RF) Hybrid electric machine – generator / S.A. Popov, M.S. Popov, A.I. Mikhed. – Publication 12.10.2017. – Bulletin № 29.

10. Patent No. 2639714 (RF) Wind – solar generator with twin rotor / S.A. Popov. – Publication 22.12.2017. – Bulletin № 36.

11. Patent № 2643522 Hybrid wind-solar generator / S.A. Popov, M.S. Popov – Publication 02.02.2018. – Bulletin № 4.

УДК 666.941 + 666.972 + 693.55

ТВЕРДЕНИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА: МИФЫ И ФАКТЫ

●●●●●●

HARDENING OF PORTLAND CEMENT: MYTHS AND FACTS

Пшеничный Геннадий Никифорович
кандидат технических наук, доцент
института строительства
и транспортной инфраструктуры,
Кубанский государственный
технологический университет
pgn46@mail.ru

Аннотация. Производство бетонной и железобетонной продукции с требуемыми свойствами и надежностью должно базироваться на объективной теоретической основе. Только согласовывая технологические приемы и воздействия с кинетикой преобразования пластичной цементной массы в камень достижим желаемый результат. В этом отношении существующие отечественная и западная «теории твердения» портландцемента и материалов на его основе вызывают серьезное опасение. Подтверждением сложившейся теоретической неопределенности является масса до сих пор не выясненных аспектов: природы индукционной стадии, начальной скачкообразности и поздней пилообразности процесса, морфологии цементного камня, причины ухудшения контактной зоны бетонов и мн. др. Эти (ставшие уже хроническими) научные проблемы делают сомнительным организацию направленного (активированного) производства сборных и монолитных конструкций и сооружений. Корень зла заключается в недостаточно полном учете электроповерхностных процессов, неизбежно имеющих место при соприкосновении энергетически ненасыщенной твердой клинкерной фазы и высокоорганизованной полярной жидкой среды.

Ключевые слова: Портландцемент, теории твердения, индукционный период, скачкообразность и пилообразность процесса, поверхностные явления.

Pshenichnyi Gennady Nikiforovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor building institute
and transport infrastructure,
Kuban state technological university
pgn46@mail.ru

Annotation. The production of concrete and reinforced concrete products with the required properties and reliability must be based on an objective theoretical basis. Only by coordinating technological techniques and actions with the kinetics of converting plastic cement mass into stone can the desired result be achieved. In this regard, the existing domestic and Western «theory of hardening» of Portland cement and materials based on it cause serious concern. Confirmation of the current theoretical uncertainty is the mass of still unexplained aspects: the nature of the induction stage, the initial jump and late sawtooth process, the morphology of the cement stone, the causes of deterioration of the contact zone of concrete and mn. These (already chronic) gaps make it questionable to organize directed (activated) production of prefabricated and monolithic structures and structures. The root of the evil lies in the insufficiently complete accounting of electro-surface processes that inevitably occur when an energetically unsaturated solid clinker phase and a highly organized polar liquid medium come into contact.

Keywords: Portland cement, hardening theory, induction period, spasmodic and sawtooth process, surface phenomena.

Актуальность проблемы

Казалось бы, в теории бетоноведения и строительной практике все исследовано, изучено, открыто и дальнейшее движение – обогащение, развитие и совершенствование достигнутых результатов. Реальность же свидетельствует о несколько ином состоянии дел. Бурно развивающееся многоэтажное жилищное строительство, к примеру, осуществляется «на глазок», преследуя преимущественно как можно более выгодные ценовой и временной аргументы в ущерб элементарному технологическому регламенту, качеству и надежности готовой продукции. Примеров сложившейся негативной ситуации более чем достаточно. Широко рекламируются к использованию в строительстве высокопрочных самоуплотняющихся бетонов, получаемых снижением до 40–45 % расхода воды затворения и использованием гиперпластификаторов, что входит в откровенное противоречие с предостережением непререкаемых авторитетов [1]: «необходима осторожность при использовании бетонов высоких классов прочности в несущих конструкциях в том случае, если эта прочность достигается сочетанием низких В/Ц и добавок суперпластификаторов» (при этом у здравомыслящего специалиста сразу же возникнет вопрос, что же следует ожидать от такого бетона, если крайне необходимый химически активный реагент – вода преднамеренно заменяется структурно несовместимым полимером?). Вряд ли станете свидетелем того, что распалубленный несущий элемент (колонна, стена, шахта лифтов и т.п.) предохраняется от обезвоживания и обеспечивается крайне необходимыми влажностными условиями твердения. Стало привычным сюжетом предотвращение надвигающейся угрозы обрушения путем усиления растрескивающихся железобетонных колон высотных зданий обоймами из композитных материалов, спиральным армированием или чаще обоймами из силового проката [2] (рис. 1), хотя более

профессиональный подход – представление механизма развития периодически возникающих в твердеющем цементном камне внутренних структурных напряжений и обоснование нагружения конструкций (путем удаления поддерживающих опор плит перекрытий) в рациональные сроки. В последние годы проявляется интерес к 3D бетонированию конструкций и сооружений, однако и здесь возникла непредвиденность – снижение межслоевой прочности, однородности и несущей способности цементного композита [3, 4].

Рисунок 1 – Усиление железобетонных колонн высотных зданий обоймами из силового проката

Отмеченные и масса иных на протяжении десятилетий не решенных проблем (скачкообразность начального твердения [5], периодичность сбросов прочности на поздних этапах [5-7], сущность ухудшения контактной зоны бетона (железобетона) [8, 9], сцепления старого бетона с новым и др.) приобрели статус хронических. Стоит ли, в связи с этим удивляться тому обстоятельству, что аварии, происшествия, травматизм (и того хуже), связанные с обрушением на строительных объектах и в процессе эксплуатации железобетонных конструкций и сооружений (рис. 2) не случайность, а система. Причем официальные сведения в этом разрезе – видимая «вершина айсберга … ставшая известной широкой общественности … существует и другая, скрытая и значительно более весомая часть из общего числа аварий и происшествий» [10]. Разумеется, причиной этих катастроф могут быть различные обстоятельства (просчеты изыскателей, проектировщиков, строителей), однако не исключена «виновность» самого бетона, точнее, наша повсеместная дремучесть относительно пилообразности развития прочности безальтернативного строительного материала.

Рисунок 2 – Обрушение железобетонных сооружений

Отсюда очевиден отрицательный ответ на вопрос: возможна ли в сложившейся обстановке организация направленного и осмысленного производства бетонной и железобетонной продукции с повышенной эксплуатационной надежностью? Основополагающая проблема сложившейся ситуации – отсутствие логичной и работоспособной схемы твердения портландцемента и материалов на его основе. Отвердевание цементных систем сопровождается рядом одновременно протекающих и накладывающихся друг на друга свойств и явлений (адсорбционных, диффузионных, термохимических, электрофизических и др.), что затрудняет их индивидуализацию, расшифровку и оценку роли в процессе отвердевания. Одно из таких неотъемлемых явлений, так называемая, «индукционная стадия» – начальный период твердения, характеризующийся длительным сохранением цементным тестом, растворной или бетонной смесью пластичности, завершающийся внезапным лавинным ростом пластической прочности и загустеванием составов. Ясность в природе и закономерностях этого временного этапа позволит понять логику всего процесса и поставить точку в десятилетия не прекращающуюся

дискуссию относительно правомерности кристаллизационного, топохимического (или некоего симбиоза) механизма превращения пластичной цементной массы в камень и организовать действительно научное сопровождение технологии бетона и железобетона.

Отечественная схема твердения портландцемента

В отечественном строительном бетоноведении сущность индукционной стадии (рис. 3, «I») поясняется гидролизно-растворительным действием при смешивании цемента с водой, насыщением жидкой среды известью и кислыми оксидами, появлением мелкого гидросиликата кальция (CSH) [11] или гидроксида кальция и эттрингита [12], их осаждением на поверхности цементных зерен и созданием экранирующей оболочки. Сформировавшаяся оболочка мало препятствует проникновению молекул воды к минералам цемента, но усложняет вынос новообразований в поровое пространство, в результате чего под экранным слоем возникает и увеличивается осмотическое давление, разрушающее в итоге этот слой («II»). Частичное обнажение клинкерных частиц интенсифицирует взаимодействие реагентов, определяет резкий переход от пластической прочности бетонной смеси к хрупкой прочности отвердевающего бетона («III»).

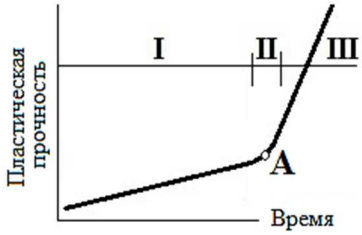


Рисунок 3 – Нарастание структурной прочности бетонной смеси

Незамедлительные же растворительно-гидролизные процессы вызывают недоверие в условиях несопоставимой энергии молекулярной связи реагентов и абсолютного отсутствия на данном этапе твердения экзотермического эффекта, если не считать начального маловыразительного выделения тепла, связанного с гашением свободной извести (присутствующей в количестве до 1 %). Следовательно, в индукционной стадии говорить о массовом появлении гидратированного материала (эттрингита, гидросиликата кальция и пр.) и их экранирующей функции безосновательно, поскольку в данной временной стадии «не могут проходить химические реакции, которые можно обнаружить по выделению тепла» [13].

Западная модель твердения портландцемента

Западная схема, предусматривающая химический процесс спустя полутора-двухчасовой временной интервал (рис. 4, «$S_I + S_{II}$»), выглядит более предпочтительно. При этом для описания природы индукционной стадии предлагаются следующие точки зрения: «теория увлажненной поверхности» [14], «геохимическая схема» растворения цементных зерен [15], первоочередное формирование «внутреннего гидросиликата кальция» [16] и образование «равновесного состояния» цементной системы между замедлением растворения C_3S и повышением роста кристаллов гидрата силиката кальция [17].

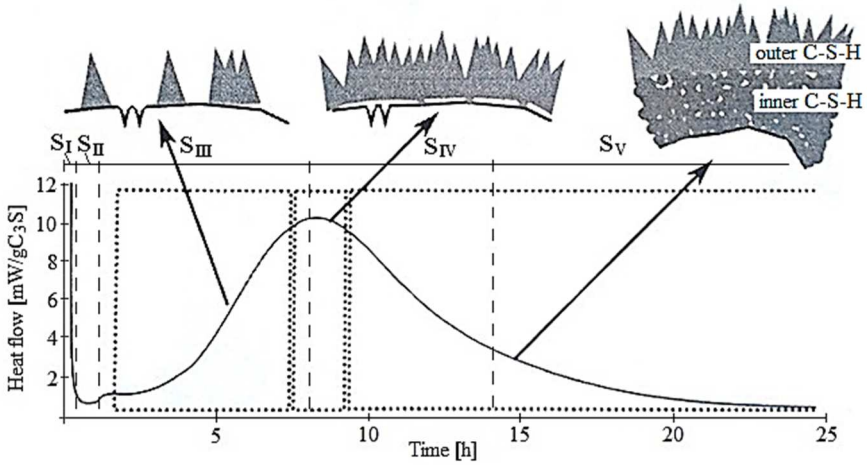


Рисунок 4 – Схема взаимосвязи основного пика тепловыделения с ростом C-S-H «игл» [14]

Согласно теории увлажненного слоя, замедление процесса связано с воздействием влаги окружающей среды и появлением в процессе хранения на цементных зернах гидратированного экранирующего слоя толщиной 10–100 нм. Однако вопрос о важности и даже о существовании этого слоя поставлен под сомнение, поскольку он не обнаруживается в подавляющем большинстве экспериментов [15]. К тому же, индукционная стадия свойственна не только лежалому, но и абсолютно свежему, не отягощенному гидратным слоем портландцементу (например, путем испытания вяжущего вещества незамедлительно после помола клинкера). Причем, индукционный период свежего цемента значительно продолжительнее лежалого.

«Геохимический» путь растворения цементных зерен, предусматривающий перед ускорением процесса предварительную достаточно продолжительную подготовку своеобразных растворительных «ямок» (рис. 5), наряду с первоочередным заполнением этих «ямок травления» внутренним гидросиликатом кальция (рис. 6) носят, скорее, декларативный вид и вряд ли отражают реальный процесс. Во всяком случае, авторы этих схем не скрывают гипотетического характера своих воззрений, требующих непременной экспериментально-теоретической проверки и уточнения. Следует отметить явное противоречие рассматриваемых схем с опытными данными, свидетельствующими о неизменности исходных размеров цементных зерен, косвенно подтверждаемых постоянством толщины гидратной оболочки («гидратного обода») различных (крупных, средних, мелких) частиц вяжущего вещества, составляющей около 1,3 мкм [18]. В этом отношении и вероятность появления равновесного состояния между растворительными и кристаллизационными действиями [17] также выглядит малоубедительным.

Рисунок 5 – Схема геохимического растворения цемента [15]

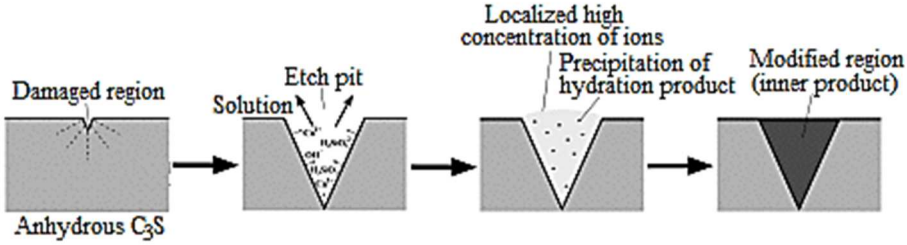


Рисунок 6 – Схема формирования внутреннего гидрата [16]

«Резюме» существующих теорий твердения портландцемента

Рассмотренные гипотезы относительно природы индукционного периода, вряд ли, можно признать исчерпывающими. Заметим, химически активными реагентами являются вода и безводные цементные минералы (преимущественно силикаты кальция), характеризующиеся мало сопоставимой энергией межмолекулярных связей. Для разрушения водородных связей ассоциатов (кластеров) воды, ее молекул или гидроксильных групп необходима затрата энергии порядка, соответственно, 25–45, 495 и 435 кДж/моль. Энергия адсорбции воды, зависящая от поверхностных особенностей подложки, может достигать 160 кДж/моль, которой, как видно, вполне по силам разрыхление ассоциированных комплексов и перераспределение диполей на границе раздела фаз, но явно недостаточно для разрушения молекул воды (гидроксильных групп) и появления высокореакционных частиц (OH^-, H_3O^+ и др.). О гидролизе же силикатов кальция (с энергией связи 2300–3400 кДж/моль) в результате адсорбционного процесса и речи не может быть. Следовательно, традиционный отечественный подход, предусматривающий незамедлительное растворение (гидролиз) цементных минералов, образование гидросиликатов кальция (эттрингита и др.), при смешивании цемента с водой (также, как и по западной схеме – мгновенное появление «внутреннего гидросиликата кальция»), лишен достаточных на то оснований.

Отечественная и западная модели индукционной стадии и твердения портландцемента традиционно иллюстрируются, соответственно, кинетическими кривыми структурной прочности (рис. 3) и скорости тепловыделения (рис. 4), поскольку именно данные свойства «хорошо дополняют друг друга» [19] и наглядно отражают процесс. В то же время, эти кривые имеют далеко не сглаженный и лекальный (как изображено на рисунках 3 и 4), а явно выраженный ступенчатый (рис. 7) и волнообразный (рис. 8) вид. Подобный немонотонный характер отражен в ряде исследований, посвященных изучению динамики развития совершенно иных показателей (щелочности и химического состава поровой жидкости, влажностного состояния, электрофизических, акустических параметров и др.).

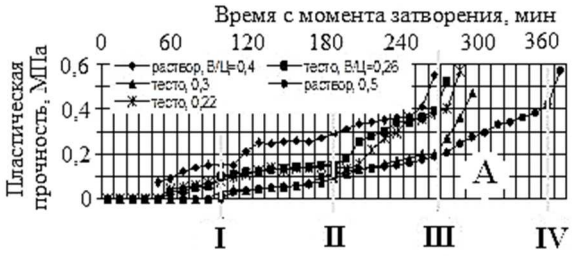


Рисунок 7 – Кинетика пластической прочности нормально твердеющих цементных составов [20]

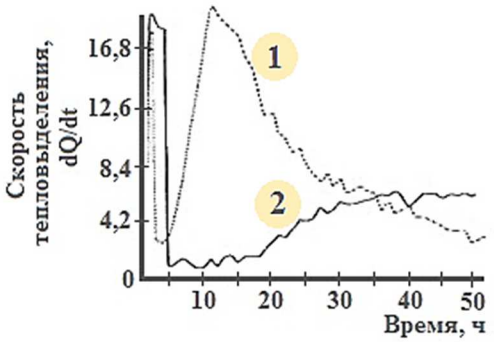


Рисунок 8 – Скорость тепловыделения гидратирующихся цементов Воскресенского завода с добавкой (1) и без добавки (2) гипса [21]

Как отмечалось, процесс твердения цементных систем – комплекс сопровождающих свойств и явлений. Тем не менее, есть один неоспоримый признак, характерный для всех гидратационных моделей – момент контакта поверхности цементных частиц с водой. Активная (энергетически ненасыщенная) поверхность «замороженной» твердой фазы и высокоорганизованная «полярная» жидкая среда при соприкосновении определяют неизбежность протекания электроповерхностных преобразований, учет которых обязателен для всестороннего представления и описания процесса отвердевания. Известно, что взаимодействие компонентов происходит в условиях интенсивной электрической поляризации поверхностных слоев цементных частиц. Экспериментально [22, 23] установлен вполне определенный – положительный дзета-потенциал формирующегося в межфазной зоне двойного электрического слоя (ДЭС). Причем (что следует особо подчеркнуть), величина этого заряда «не остается постоянной …неоднократно она увеличивается и понижается» [24], что (как не сложно заметить), в полной мере согласуется с немонотонностью твердения портландцемента.

Следовательно, лишь выявление природы и динамики поляризационных явлений, позволит объективно и всесторонне представить сущность индукционного периода, механизм и особенности гидратационного твердения портландцемента. Эти явления могут быть одной из главных причин проявления вяжущих свойств и твердения вяжущих паст.

Стадийно-поверхностная схема твердения цемента

Выше отмеченное несоответствие межмолекулярной энергии связи жидкой и твердой фаз просто и изящно решается с позиций разработанной Г. Эйрингом [25] теории «активированного комплекса» взаимодействующих гетерогенных систем. Химизму процесса предшествует формирование в межфазной зоне метастабильной промежуточной энергетической композиции из элементов реагирующих веществ. Возникающие в композиции квантовые вибрации, обусловленные активной клинкерной поверхностью и динамизмом (непрерывным колебанием, вращением, движением в микрокапиллярах кластеров) диполей приводят к развитию комплекса, накоплению собственной энергии, достигающей критического уровня (энергии активации), распаду, появлению активных частиц, их быстротечному взаимодействию и завершению элементарного акта гетерогенной реакции. При этом (что важно) энергия активации может быть значительно меньшей энергии разрыва химических связей исходных компонентов.

Значительный интерес представляет уточнение «конструктивного устройства» активированного комплекса. Экспериментально установленный факт – при соприкосновении клинкерных частиц с водой на поверхности твердой фазы, подчиняясь геометрии и гидратационной характеристике активных центров, появляются определенным образом рассредоточенные сфероподобные частицы диаметром 0,5–1,0 мкм, впервые обнаруженные и описанные американскими исследователями в середине прошлого столетия [26, стр. 234]: сгустки, «обладающие высокой поверхностной энергией, сильно

притягиваются друг к другу, в результате чего происходит сращивание отдельных частиц в агрегаты с диаметром в несколько микрон и с плотноупакованной структурой геля. По-видимому, ориентация этих агрегатов может привести к образованию взаимных связей между их поверхностями с цементированием всей массы». Подобные опыты проведены Л.Г. Шпыновой с сотрудниками [27] (рис. 9), отмечавшими мгновенное образование на цементных зернах неравномерно расположенных «бугорков», превращающихся со временем «в плоские чешуйки … скопления самых неожиданных конфигураций».

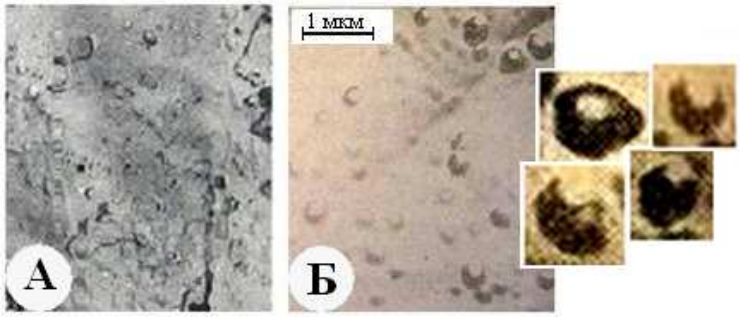


Рисунок 9 – Электронная микрофотография реплики с поверхности клинкера C3S, гидратированного в течение двух (А) и десяти секунд (Б)

Автор также провел эксперимент, заключающийся в нанесении на срез клинкерного зерна диаметром около 15 мм капли воды и исследовании оптическим микроскопом Рейнхарда в отраженном монохроматическом свете (при 700–800-кратном увеличении) граничного участка «вода – поверхность твердой фазы» (рис. 10). Отчетливо просматриваются распределенные на клинкерной подложке водные формирования вышеотмеченных размеров. При этом на неувлажненной поверхности (Б) эти формирования яркие, с отчетливо выраженными контурами границ; под незначительным слоем воды (А) – тусклые, с нечеткими и размытыми очертаниями. Последнее обстоятельство можно интерпретировать, как на наличие в сферических сгустках границы раздела фаз «жидкость – газ», т.е. их пористое строение. С достаточной достоверностью можно заключить о подобном пористом состоянии (к сожалению, невидимого) граничного слоя и под водным массивом.

Рассматриваемые сгустки, вряд ли, напоминают опрокинутую на минеральную подложку полусферу. Учитывая шестигранную конфигурацию дипольных формирований (увеличено на рис. 9, Б), а также принимая во внимание шестилучевую симметрию снежинок, наиболее устойчивые шестимолекулярные «кванты воды» (по К. Джоржану) и прочие аналогии, можно заключить о шестиопорном шатровом строении этих структур. Данный аспект наглядно иллюстрируется мысленным поворотом на 180° шестигранных долгоживущих водных кластеров (рис. 11) [28], включающих чередующиеся закономерным образом шатровые своды и опорные элементы (каждый из которых является общим для трех соседних шатров). Образно говоря, упаковка граничных шатровых дипольных сгустков напоминает пчелиные соты, элементарный шестигранный элемент которых характеризуется оптимальным соотношением площади к периметру (чем инстинктивно и пользуются пчелы, затрачивая минимум «строительного материала» для получения предельной «полезной площади»).

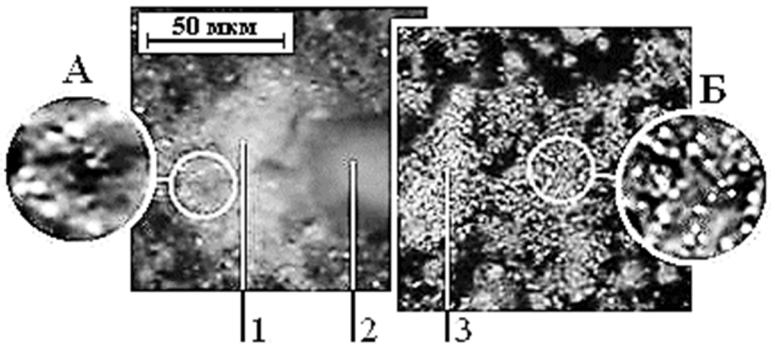


Рисунок 10 – Общий вид обнаженной поверхности клинкерного зерна с нанесенной каплей воды: 1 – периферийный участок капли; 2 – массив капли; 3 – неувлажненная поверхность зерна

Метастабильность и тенденция развития комплексов определяется формированием шестиопорных шатровых пористых структур с наличием под дипольными сводами огромного количества энергетически не насыщенных активных центров минеральной (клинкерной) подложки и полимолекулярным

динамичным и подвижным слоем адсорбированных диполей (рис. 12, А). Здесь уместна фраза авторов [29] (относящаяся, правда, к глинистым минералам, однако достаточно точно отражающая сущность явления в вяжущих композициях): твердая фаза и связанные с ней молекулы воды «представляют собой динамическую систему, в которой происходят постоянное нарушение и возобновление структуры».

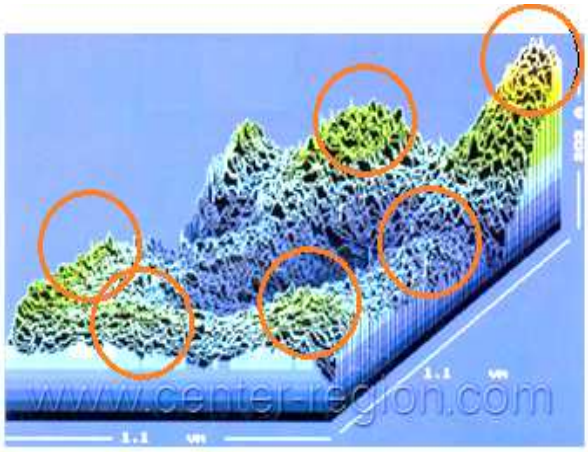


Рисунок 11 – Изображение структуры воды, полученное на контрастно-фазовом микроскопе

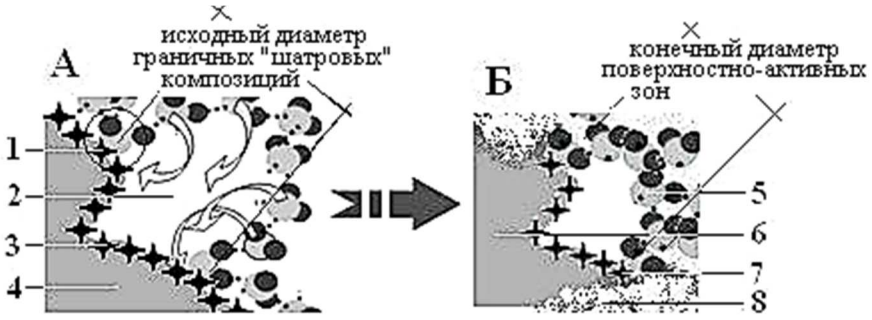


Рисунок 12 – Динамика развития переходного активированного комплекса:
1 – адсорбционный центр; 2 – дипольный свод; 3 – активный центр; 4 – исходное цементное зерно;
5 – адсорбционный слой диполей; 6 – негидратированный массив зерна; 7 – остаточный активный центр;
8 – гидросиликатный продукт

Взаимодействие цемента с водой, таким образом, осуществляется не за счет вторичных и зависимых (растворительных, гидролизных, хемосорбционных и тому подобных) действий, а путем первоочередных электростатических построений. При соприкосновении реагентов происходит «гашение» свободной извести со слабо выраженным (особенно для лежалых цементов) экзотермическим эффектом (рис. 4, «S_1»). На поверхности цементных зерен мгновенно формируется двойной электрический слой не плоской (с равномерно размазанным гельмгольцевским слоем зарядов) конфигурации, а в виде определенным образом рассредоточенных шатровых (доменных) полимолекулярных водных скоплений. Электромагнитное воздействие энергетически ненасыщенных активных центров (связей ионов кальция) и динамизм водной среды вызывают ослабление, эстафетное разрушение водородных связей кластеров, последовательную концентрацию диполей (свободных носителей заряда [30]) у адсорбционных центров (показано стрелками на рис. 12, А). Повышающийся поверхностный заряд приводит к взаимному электростатическому отталкиванию цементных дисперсий (что часто фиксируется начальным расширением цементной системы), возбуждению энергетической системы «адсорбат – адсорбент», достижению критического уровня (энергии активации), разрушающего водородные и химические связи комплекса. Часть ионов кальция из структуры минералов выталкивается в жидкую среду, определяя начало основного экзотермического эффекта (рис. 4, окончание периода «S_{II}»). Появившиеся высокореакционные продукты распада молекул воды (гидроксоний, модификации гидратов протона) взаимодействуют с кремнекислородными гидролизными остатками твердой фаза с образованием гидрата, в виде локально рассредоточенных аморфных скоплений (размером 10–40 нм [31–33]), покрывающих поверхность клинкерных частиц. Контракционный эффект, наряду с интенсивным потреблением зернами порции диполей (для формирования очередного активированного комплекса), вызывают возникновение в межзерновом пространстве «движущей силы» отвердевания – вакуума [34], организующего цементную систему, что фиксируется первым «скачком» структурной прочности спустя 90 ±10 мин. с момента затворения цемента водой (рис. 7).

Появление очередного активированного комплекса и вышеотмеченная последовательность адсорбционного процесса приводят к образованию гидратного продукта в районе 18 ±10 мин. Гидратация цементных минералов и структурообразование цементного камня, таким образом – стадийный, «скачкообразный» [5] процесс, включающий чередование относительно продолжительных подготовительных периодов и быстротечных (взрывообразных) моментов химизма явления. Развивающийся в системе вакуум обеспечивает стяжение цементных зерен до появления вначале малопрочных гидросиликатных контактов с последующим уплотнением и упрочнением контактных зон. По мере химического связывания воды, гидратации активных центров, снижения размеров активированных комплексов и поверхностной энергии зерен, соответственно, повышения энергии водородных связей адсорбированных диполей индукционные интервалы закономерно увеличиваются, превращаясь со временем в часы, сутки, недели. Логическое завершение процесса – формирование на гидратированной поверхности цементных частиц локально рассредоточенных относительно стабильных остаточных поверхностно-активных зон, легко обнаруживаемых электронной микроскопией в виде пор и каналов в гидросиликатной массе диаметром 0,3 мкм и менее (рис. 12, 13).

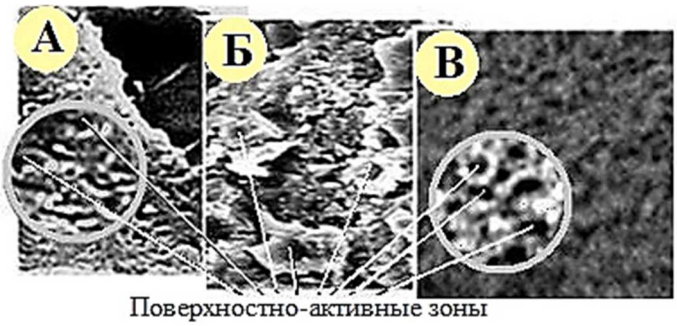


Рисунок 13 – Фрагменты поверхности цементных зерен трехмесячного (А), 31-летнего (Б) и 105-летнего (В) возрастов

Стадийно-поверхностный гидратационный процесс, сопровождающийся образованием гидросиликата кальция с увеличением объема твердой фазы в условиях развития в межзерновых пустотах вакуума и стяжения цементных частиц, приводит к продавливанию гидратного продукта сквозь граничные зазоры прочносвязанных друг с другом и твердой фазой дипольных сгустков. Своеобразная экструзия гидрата через рассредоточенные на поверхности зерна сферические дипольные «фильеры» и является причиной формирования гидросиликата кальция в виде волокнисто-трубчатых структур (рис. 14). Выделенный фрагмент зерна (рис. 14, «А») дает еще одну весьма важную и достаточно неожиданную информацию – толщину гидратированного продукта (h), не превышающую полутора микрон, что согласуется с данными [18] и указывает на исключительно поверхностный характер гидратационного процесса. Таким образом, цементные зерна любой «фракции» при химических превращениях не только не разлагаются (полностью или до состояния «ядер»), а даже увеличиваются в габаритах на двойную толщину формирующегося гидратного слоя CSH.

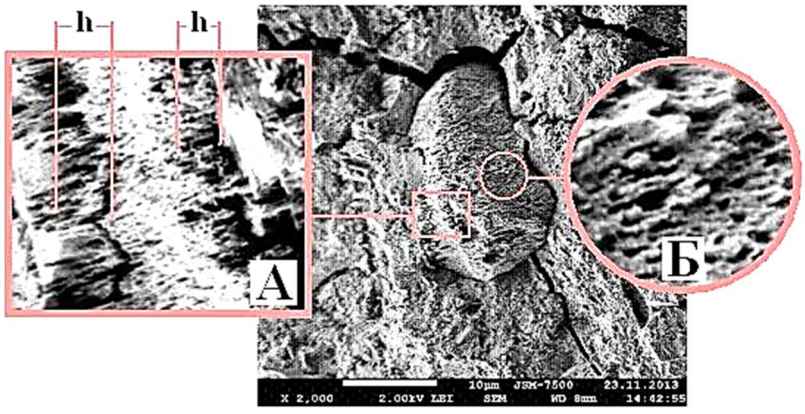


Рисунок 14 – Общий вид цементного зерна водного твердения

Наличию отмеченных остаточных поверхностно-активных зон со сгущением высокоорганизованных кластеров и их подпиткой диполями окружающей среды обязан неисчерпаемый во времени гидратационный процесс. Гидратация этих зон на поздних этапах в условиях сложившейся структуры

цементного камня (микробетона) связана как с позитивными (появлением дополнительных порций гидросиликатного клея), так и негативными последствиями (временным ослаблением структурных связей композита и сбросом прочности). Проще говоря, начальная скачкообразность структурообразования преобразуется в свою позднюю разновидность – пилообразность процесса [5–7]. Последний аспект – объективен, неизбежен и закономерен, должен непременно учитываться в теории и строительной практике.

Справедливость представленного стадийно-поверхностного гидратационного процесса подтверждается структурным сюжетом гидратированного цементного зерна 105-летнего возраста, обнаруженного в сколе бетона фундамента производственного корпуса в Абрау-Дюрсо (рис. 15), включающего: пронизывающие капиллярно-пористую структуру корни растений (А), ненарушенную гидратную оболочку, обращенную в пору или капилляр (Б), разрушенный участок контактной зоны с соседним зерном (В), межзерновую пустоту (Г). Размер зерна составляет 30–40 мкм, т.е. обычные габариты исходного портландцемента, что ставит под сомнение традиционные растворительные действия. Особое внимание следует уделить увеличенным объектам гидратного продукта. Отчетливо просматриваются остаточные поверхностно-активные зоны в виде каналов в гидросиликатном материале (Д). Каналы этих зон имеют явно выраженную шестигранную конфигурацию (Е, Ж), поскольку дублируют архитектуру шестиопорных активированных комплексов. Правильная геометрия растущих (подобно «хвое» [35]) CSH-волокон связана не с кристаллизационными преобразованиями, а обусловлена своеобразной экструзией увеличивающегося в объеме гидрата сквозь граничные зоны шестигранных дипольных «фильер».

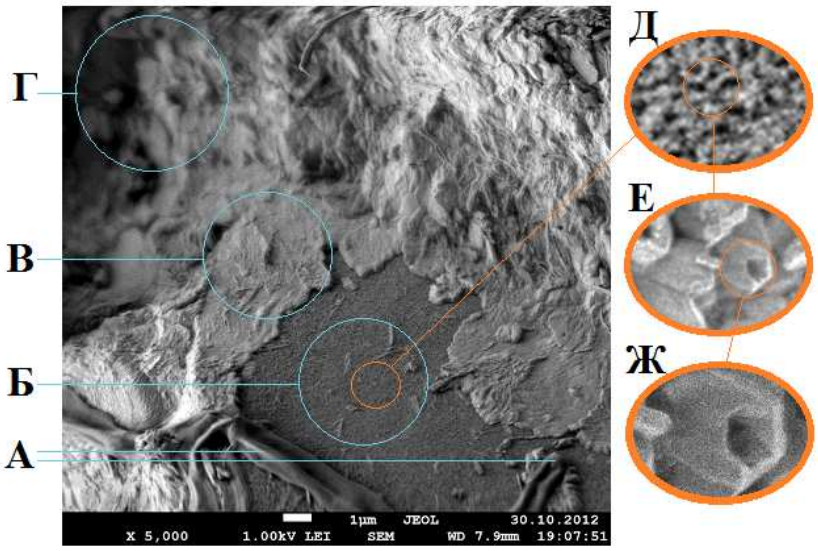


Рисунок 15 – Электронная микроскопия цементного зерна 105-летнего возраста

Выводы

1. Существующие отечественная и западная схемы твердения портландцемента и материалов на его основе не отражают в должной степени сущность превращения пластичной вяжущей массы в камень. Как следствие – наличие ряда до сих пор не выявленных научных проблем: физической сущности индукционного периода, природы скачкообразного структурообразования цементных систем, периодических сбросов прочности бетонов на поздних этапах и др. Это обстоятельство делает призрачным научно-обоснованное сопровождение технологии бетонной и железобетонной продукции с повышенной структурной стабильностью и эксплуатационной надежностью.

2. Учитывая структурно-морфологическую особенность реагентов («замороженность», энергетическую ненасыщенность прочной и плотной клинкерной фазы и полярность, ассоциированность жидкой среды), можно заключить о важной роли в гидратационном процессе мало учитываемых электроповерхностных явлений. Многочисленные исследования свидетельствуют о вполне конкретном – положительном заряде цементных дисперсий, величина которого (как и само отвердевание) имеет волнообразный (неоднократно повышающийся и снижающийся) характер.

3. Взаимодействие гетерогенных систем должно рассматриваться с позиций теории «активированного комплекса» (по Г. Эйрингу), предусматривающей формирование на границе раздела фаз переходной (метастабильной) энергетической композиции с ее развитием, достижением энергии активации, распадом и благополучным завершением химической реакции. Отметим чрезвычайно важный аспект – энергия активации может быть значительно меньшей энергии межмолекулярных связей исходных компонентов.

4. Показано «конструктивное устройство» активированных комплексов цементных составов, представляющих собой плотноупакованные на клинкерной подложке шестиопорные шатровые

дипольные сгустки (кластеры) размером 0,5–1,0 мкм. Их развитие включает последовательное накопление у опорных зон диполей, повышающих поверхностный положительный ζ-потенциал ДЭС до критического уровня (энергии активации), распад, появление активных частиц (Ca^{2+}, $(SiO_4)^{4-}$, H_3O^+, OH^- и др.) и их быстротечное взаимодействие с образованием сфероподобных аморфных гидросиликатных сгустков.

5. Химизм процесса осуществляется путем периодического поворота комплексов на гидратационный шаг и заполнения гидратным продуктом вначале периферийных зон с последующим преобразованием безводных минералов в гидраты подшатровых клинкерных микроповерхностей. Учитывая малоизменяемые параметры комплексов и значительный запас жидкой среды, на начальном этапе нормального твердения процесс протекает с 90 ±10-минутным интервалом, закономерно повышающимся со временем и превращающимся в часы, сутки, недели…

6. Стадийно-поверхностный гидратационный процесс определяет:

– независимость качественной стороны (экстремальных переломных точек кривых различных свойств) от В/Ц и заполнителей;

– формирование в каждом гидратационном акте гидросиликата кальция в виде аморфных сгустков («шариков геля») размером 10–40 нм;

– развитие в межзерновых пустотах вакуума – «движущей силы» формирования структуры и свойств цементного композита;

– постоянную толщину на цементных зернах гидратной оболочки («гидратного обода») в пределах 1,0–1,5 мкм;

– ухудшение контактной прочности бетонов за счет смещения цементных зерен в межзерновую пустоту и отслоения от инертных компонентов;

– наличие в гидросиликатном слое локально рассредоточенных остаточных поверхностно-активных зон размером 0,3 мкм и менее;

– гидратация последних в условиях сложившейся структуры приводит к неизбежному и закономерному сбросу прочности бетонов;

– преобразование начальной «скачкообразности» в ее позднюю разновидность – «пилообразность».

7. Традиционно под понятием «индукционный период» предусматривается начальная пластичная стадия, завершающаяся внезапным упрочнением («скачком» структурной прочности). Но справедливо ли это? Как видно из представленной схемы, вся стадия существования бетона (железобетона) как строительного материала состоит из чередования достаточно продолжительных индукционных временных интервалов (включающих формирование, развитие и распад активированных комплексов) и быстротечных химических взаимодействий.

8. Цементная система – самоорганизующийся под действием развивающегося вакуума объект, становление которого в пластичной стадии включает стяжение зерен вяжущего до появления и упрочнения контактных зон посредством накапливающегося, разрастающегося и выдавливающегося сквозь зазоры плотноупакованных шестигранных дипольных «фильер» поверхностного аморфного гидросиликатного продукта. Подобная экструзия приводит к формированию новообразований волокнисто-трубчатой морфологии.

9. Затвердевший цементный камень – «микробетон» (термин В.Н. Юнга), состоящий не из «кристаллического сростка» или «оптимального соотношения кристаллической и гелевидной фаз», а из «заполнителя» (поверхностно гидратированных цементных зерен), соединенных в единое целое разрастающимся аморфным гидросиликатом кальция. Этот аспект косвенно подтверждается многочисленными опытными данными (например, [30]) по оптимизации гранулометрического состава цементного порошка.

Литература

1. Бабков В.В., Полак А.Ф., Комохов П.Г. Аспекты долговечности цементного камня // Цемент. – 1988. – № 3. – С. 14–16.

2. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий : Наземные конструкции и сооружения. – М. : Стройиздат, 1992. – 191 с.

3. Feng P., Meng X., Chen J-F., Ye. L. Mechanical properties of structures 3D printed with cementitious powders // Construction and Building Materials. – 2015. – Vol. 93. – P. 486–497.

4. Roussel N. Rheological requirements for printable concretes / Cement and Concrete Research. – 2018. – Vol. 112. – P. 76–85.

5. Кинд В.А. Химическая характеристика портландцемента. – Л-М. : Госстройиздат, 1932. – 56 с.

6. Рост прочности бетона при пропаривании и последующем твердении / под ред. проф. С.А. Миронова. – М. : Стройиздат, 1973. – 96 с.

7. Малинина Л.А. Тепловлажностная обработка тяжелого бетона. – М. : Стройиздат, 1977. – 160 с.

8. Ахвердов И.Н. Влияние усадки, условий твердения и циклических температурных воздействий на сцепление бетона с арматурой // Бетон и железобетон. – 1968. – № 12. – С. 4–7.

9. Булатов А.И., Видовский А.Л. Обжатие цементным камнем заполнителей в бетоне // Бетон и железобетон. – 1985. – № 3. – С. 24–26.
10. Четверик Н.П. Аварии, происшествия и травматизм на строительных объектах – случайность или система? // Технологии бетонов. – 2013. – № 2. – С. 52–55.
11. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М. : Изд. Ассоциации строительных вузов, 2011. – 524 с.
12. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Якупов М.И. Современный метод исследования кинетики гидратации цемента // Технологии бетонов. – 2011. – № 5–6. – С. 22–23.
13. де Йонг Й.Г.М., Стейн Х.Н., Стивелс Дж.М. Взаимодействие C_3A и C_3S во время гидратации (дополнительный доклад) // Пятый международный конгресс по химии цемента. – М. : Стройиздат, 1973. – С. 214–217.
14. Scrivener K.L., Juilland P., Monteiro P.J.M. Advances in understanding hydration of Portland cement // Cement and Concrete Research. – 2015. – Vol. 78 (A). – P. 38–56.
15. Juilland P., Gallucci E., Flatt R., Scrivener K. Dissolution theory to the induction period in alite hydration // Cement and Concrete Research. – 2010. – Vol. 40 (6). – P. 831–844.
16. Hu Q. [et al.]. Direct measurements of 3d structure, chemistry and mass density the induction period of C_3S hydration / Cement and Concrete Research. – 2016. – Vol. 89. – P. 14–26.
17. Assi L., Soltangharaei V., Anay R., Ziehl P., Matta F. Unsupervised and supervised pattern recognition of acoustic emission signals during early hydration of Portland cement paste // Cement and Concrete Research. – 2018. – Vol. 103. – P. 216–225.
18. Klaus S.P., Neubauer J., Goetz-Neunhoeffer F. How to increase the hydration degree of CA-The influence of CA particle fineness // Cement and Concrete Research. – 2015. – Vol. 67. – P. 11–20.
19. Ларионова З.М. Формирование структуры цементного камня и бетона. – М. : Стройиздат, 1971. – 161 с.
20. Пшеничный Г.Н. Строительные материалы и технологии: активированные бетоны : учебное пособие для вузов. – М. : Изд. Юрайт, 2019. – 2-е изд. испр. и доп. – 224 с.
21. Шейкин А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня. – М. : Стройиздат, 1974. – 191 с.
22. Шейкин А.Е. О заряде частиц цемента в водных взвесях // Труды МИИТ. – 1964. – Вып. 191. – С. 152–153.
23. Plank J., Hirsch C. Impact of zeta-potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption // Cement and Concrete Research. – 2007. – Vol. 37 (4). – P. 537–542.
24. Вагнер Г.Р., Алексеев О.Л., Кулик Л.А. Электрокинетические исследования процессов начальной гидратации цемента в присутствии органоаэросила : Физико-химическая механика дисперсных систем и материалов // Тезисы докладов республиканской конференции. – Киев, 1980. – С. 246–247.
25. Eyring H. The activated complex in Chemical reactions / The Journal of Chemical Physics. – 1935. – Vol. 3. – P. 107–115.
26. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона. – М. : Госстройиздат,1961. – 645 с.
27. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня / Л.Г. Шпынова, В.И. Чих, М.А. Саницкий [и др.]; под ред. Л.Г. Шпыновой. – Львов : Вища школа, изд. при Львов. ун-те, 1981. – 160 с.
28. Зенин С.В. Структурированное состояние воды как основа управления поведением и безопасностью живых систем : дисс. … д-ра биол. наук. – М., 1999. – 207 с.
29. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. – Киев : Наукова думка, 1975. – 352 с.
30. Сычев М.М. Твердение вяжущих веществ. – Л. : Стройиздат, Ленинградское отд., 1974. – 80 с.
31. Юнг В.Н., Бутт Ю.М., Журавлев В.Ф., Окороков С.Д. Технология вяжущих веществ / под. ред. В.Н. Юнга. – М. : Госстройиздат, 1952. – 600 с.
32. Новости нанотехнологий // Популярное бетоноведение. – 2011. – № 1/2 (38). – С. 45–53.
33. Бикбау М.Я. Наноцементы – будущее мировой цементной промышленности и технологии бетонов // Технологии бетонов. – 2016. – Ч. 3. – № 3–4. – С. 38–42.
34. Скрамтаев Б.Г., Панфилова Л.И. Исследование влияния вакуума в твердеющих цементах // Труды НИИ-Цемента. – М. : Промстройиздат, 1949. – Вып. 2. – С. 6–8.
35. Ouzia A., Scrivener K. The needle model: A new model for the main hydration peak of alite // Cement and Concrete Research. – 2019. – Vol. 115 (1). – P. 339–360.

References

1. Babkov V.V., Polak A.F., Komohov P.G. Aspects of a cement stone longevity // Cement. – 1988. – № 3. – P. 14–16.
2. Recommendations for designing reinforcement of reinforced concrete structures of buildings and structures of reconstructed enterprises : Ground structures and structures. – M. : Stroyizdat, 1992. – 191 p.
3. Feng P., Meng X., Chen J-F., Ye. L. Mechanical properties of structures 3D printed with cementitious powders // Construction and Building Materials. – 2015. – Vol. 93. – P. 486–497.
4. Roussel N. Rheological requirements for printable concretes / Cement and Concrete Research. – 2018. – Vol. 112. – P. 76–85.
5. Kind V.A. Chemical Characteristics of Portland Cement. – L-M. : Gosstroyzdat, 1932. – 56 p.
6. Growth of Concrete Strength during Steaming and Subsequent Curing / edited by Prof. S.A. Mironov. – M. : Stroiizdat, 1973. – 96 p.
7. Malinina L.A. Heavy Concrete Heat Treatment. – M. : Stroyizdat, 1977. – 160 p.
8. Akhverdov I.N. Influence of Shrinkage, hardening conditions and cyclic temperature effects on the adhesion of concrete with rebar // Concrete and Reinforcements. – 1968. – № 12. – P. 4–7.
9. Bulatov A.I., Vidovsky A.L. Compression of aggregates in concrete by cement stone // Concrete and ironconcrete. – 1985. – № 3. – P. 24–26.

10. Chetverik N.P. Accidents, Accidents and Traumatism at Construction Projects – Accident or S-system? // Concrete Technologies. – 2013. – № 2. – P. 52–55.

11. Bazhenov Y.M. Concrete Technology. – M. : Published by the Association of Construction Universities, 2011. – 524 p.

12. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Yakupov M.I. Modern Method of Investigation of Cement Hydration Kinetics // Concrete Technology. – 2011. – № 5–6. – P. 22–23.

13. De Yong Y.G.M., Stein H.N., Stievels J.M. Interaction of C_3A and C_3S during hydration (additional report) // Fifth International Congress on Cement Chemistry. – M. : Stroyizdat, 1973. – P. 214–217.

14. Scrivener K.L., Juilland P., Monteiro P.J.M. Advances in understanding hydration of Portland cement // Cement and Concrete Research. – 2015. – Vol. 78 (A). – P. 38–56.

15. Juilland P., Gallucci E., Flatt R., Scrivener K. Dissolution theory to the induction period in alite hydration // Cement and Concrete Research. – 2010. – Vol. 40 (6). – P. 831–844.

16. Hu Q. [et al.]. Direct measurements of 3d structure, chemistry and mass density of the induction period of C_3S hydration / Cement and Concrete Research. – 2016. – Vol. 89. – P. 14–26.

17. Assi L., Soltangharaei V., Anay R., Ziehl P., Matta F. Unsupervised and supervised pattern recognition of acoustic emission during early hydration of Portland cement paste / Cement and Concrete Research. – 2018. – Vol. 103. – P. 216–225.

18. Klaus S.P., Neubauer J., Goetz-Neunhoeffer F. How to increase the hydration degree of CA-The influence of CA particle fineness // Cement and Concrete Research. – 2015. – Vol. 67. – P. 11–20.

19. Larionova Z.M. Formation of the Structure of Cement Stone and Concrete. – M. : Stroyizdat, 1971. – 161 p.

20. Wheat G.N. Construction materials and technologies: activated concretes : a textbook for higher educational institutions. – M. : Jureit Publishing House, 2019. – 2nd ed., correct and additional – 224 p.

21. Sheikin A.E. Structure, strength and crack resistance of cement stone. – M. : Stroyizdat, 1974. – 191 p.

22. Sheikin A.E. On Charging of Cement Particles in Water Suspensions // Proceedings of MIIT. – 1964. – Vol. 191. – P. 152–153.

23. Plank J., Hirsch C. Impact of zeta-potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption // Cement and Concrete Research. – 2007. – Vol. 37 (4). – P. 537–542.

24. Wagner G.R., Alekseev O.L., Kulik L.A. Electrokinetic studies of the initial hydration processes of cement in the presence of organoaerosil: Physical and chemical mechanics of disperse systems and materials // Abstracts of the Republican Conference. – Kiev, 1980. – P. 246–247.

25. Eyring H. The activated complex in Chemical reactions / The Journal of Chemical Physics. – 1935. – Vol. 3. – P. 107–115.

26. Li F.M. Chemistry of Cement and Concrete. – M. : Gosstroyzdat, 1961. – 645 p.

27. Physical and Chemical Basics of Cement Stone Structure Formation / L.G. Shpynova, V.I. Chikh, M.A. Sanitsky [et al.]; edited by L.G. Shpynova. – Lviv : Vishcha School, ed. by Lvov. un-te, 1981. – 160 p.

28. Zenin S.V. Structured Water State as a Basis for Behavior and Safety Management of Living Systems : Diss. ... Dr. Bioll. sciences'. – M., 1999. – 207 p.

29. Tarasevich Yu.I., Ovcharenko F.D. Adsorption on clay minerals. – Kiev : Naukova Dumka, 1975. – 352 p.

30. Sychev M.M. Solidification of Binders. – L. : Strojizdat, Leningrad Branch, 1974. – 80 p.

31. Yung V.N., Butt Yu.M., Zhuravlev V.F., Okorokov S.D. Binders Technology / edited by V.N. Yung. – M. : Gosstroyzdat, 1952. – 600 p.

32. Nanotechnology News // Popular Concrete Science. – 2011. – № 1/2 (38). – P. 45–53.

33. Bikbau M.Y. Nanocement – the Future of the World Cement Industry and Concrete Technology // Concrete Technology. – 2016. – Part 3. – № 3–4. – P. 38–42.

34. Scramtaev B.G., Panfilova L.I. Investigation of the vacuum influence in the hardening cement // Proc. of NIItsement. – M. : Promstroiizdat, 1949. – Vol. 2. – P. 6–8.

35. Ouzia A., Scrivener K. The needle model: A new model for the main hydration peak of alite // Cement and Concrete Research. – 2019. – Vol. 115 (1). – P. 339–360.

УДК: 621.22

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

●●●●●●

FACTORS INFLUENCING STRENGTH WELDED CONNECTIONS

Рагимова Махлуга Сурхаевна
кандидат технических наук, ассистент,
ассистент кафедры механика,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
Rahimova_mahluqa@mail.ru

Намазова Гюльнара Иззатуллаевна
докторант, научный сотрудник,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности

Ragimova Makhluga Surkhaevna
Candidate of Technical Sciences, Assistant,
Assistant of the department Mechanics,
Azerbaijan state oil and industry university
Rahimova_mahluqa@mail.ru

Namazova Gulnara Izzatullaevna
Doctoral student, research fellow,
Azerbaijan state oil and industry university

Аннотация. В реальных сварных соединениях места концентрации рабочих и остаточных напряжений совмещаются с зоной термического влияния сварки. Возникающие в этой зоне пластические деформации могут упрочнить металл, повысив его предел текучести.
Некоторые исследователи этому обстоятельству придавали большое значение, полагая, что повышенная сопротивляемость металла зоны полностью нейтрализует вредное влияние остаточных напряжений.

Ключевые слова: деформация, металл, прочность, сварная соединения.

Annotation. In real welded joints, places of concentration of working and residual stresses are combined with the heat affected zone of welding. Plastic deformations arising in this zone can harden the metal, increasing its yield strength.
Some researchers attached great importance to this circumstance, believing that the increased resistance of the zone metal completely neutralizes the harmful effect of residual stresses.

Keywords: deformation, metal, strength, weld.

Введение

На прочность сварных соединений морских гидротехнических сооружений наиболее существенное влияние оказывают концентрация напряжений, абсолютные размеры поперечного сечения, качество, состояние и свойства поверхностного слоя, характер изменения рабочих напряжений и окружающая среда.

Материалы и методы

Сварным соединениям свойственна повышенная концентрация напряжений не только от действующих нагрузок, но и от остаточных напряжений, порождаемых тепловыми упругопластическими деформациями в процессе образования швов [1]. Остаточные напряжения, изменяя асимметрию цикла, при определенных условиях могут существенно влиять на сопротивление усталость сварных соединений. Вместе с тем влияние этого фактора часто рассматривается в связи с изменением свойств металла околошовной зоны под влиянием термомеханического цикла сварки. Предполагается, что под действием пластической деформации и эффекта термической обработки металл околошовной зоны приобретает повышенную сопротивляемость усталостным разрушениям. Возможное понижение выносливости под влиянием растягивающих остаточных напряжений как бы компенсируется повышенным сопротивлением усталости околошовной зоны. Поэтому оба эти фактора относят к второстепенным по сравнению с основным- концентрацией рабочих напряжений.

Результаты

Успехи в области применения искусственно образуемых сжимающих напряжений для увеличения долговечности деталей машин показали их существенную роль в усталостных процессах, а соответствующие закономерности явились предметом дальнейших исследований, среди которых определенный интерес представляют экспериментальные данные, свидетельствующие о значительном влиянии растягивающих остаточных напряжений на сопротивление усталости сварных соединений.

В ряде исследований не было обнаружено падения выносливости под действием растягивающих остаточных напряжений. Опыты проводились на образцах, не имевших надрезов, выточек, изменений

сечений и т.п. Как было установлено позже, остаточные напряжения усиливают свое действие при наличии концентраторов напряжений. В этом случае остаточные напряжения могут существенно изменить долговечность соединений, особенно в области сравнительно низких рабочих напряжений [2].

При некоторых условиях растягивающие остаточные напряжения снижают предел выносливости изделия или образца на 35–50 %. В опытах ИЭС им. Е.О. Патона при плоском изгибе и симметричном цикле напряжений испытывались пластины из малоуглеродистой стали М16С шириной 200 мм и толщиной 26 мм с прошлифованным участком и отверстием посредине. В одной партии образцов для создания у края отверстия растягивающих остаточных напряжений в соответствующих местах на контактной машине производился точечный нагрев до 530 °С. Остальные образцы не нагревались, остаточных напряжений в них не было. Ограниченный предел выносливости образцов без нагрева (следовательно, и без остаточных напряжений) составил свыше 120 МПа, а с нагревом только 60 МПа (рис. 1).

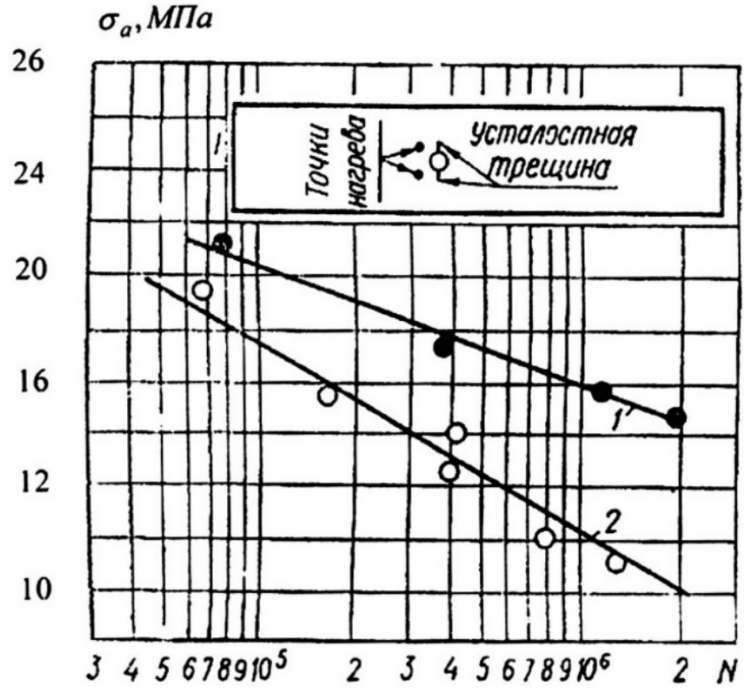


Рисунок 1 – Снижение выносливости под влиянием растягивающих напряжений

Подтверждения

В описанном опыте обращалось внимание на то, чтобы механические свойства и структура металла у отверстия в местах наибольшей концентрации напряжений была такая же, как и вдали от нагрева. Выносливость образцов изменялась под влиянием только одного фактора-остаточных напряжений. В реальных сварных соединениях места концентрации рабочих и остаточных напряжений совмещаются с зоной термического влияния сварки. Возникающие в этой зоне пластические деформации могут упрочнить металл, повысив его предел текучести. Некоторые исследователи этому обстоятельству придавали большое значение, полагая, что повышенная сопротивляемость металла зоны полностью нейтрализует вредное влияние остаточных напряжений. В качестве доказательства приводились результаты испытаний крестовых образцов со щелью между концевыми планками (рис. 2).

После высокого отпуска сопротивление усталости таких образцов понижалось, а после предварительного растяжения отожженные и не отожженные образцы повышали свою выносливость в одинаковой степени (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов с резким концентратором напряжений

Состояние	σ_0, МПа	Относительное значение предела выносливости, %
Исходное (после сварки)	4,5	100
После высокого отпуска при 650 °С	3,9	87
После предварительного растяжения	6,3	140
После высокого отпуска и предварительного растяжения	6,3	140

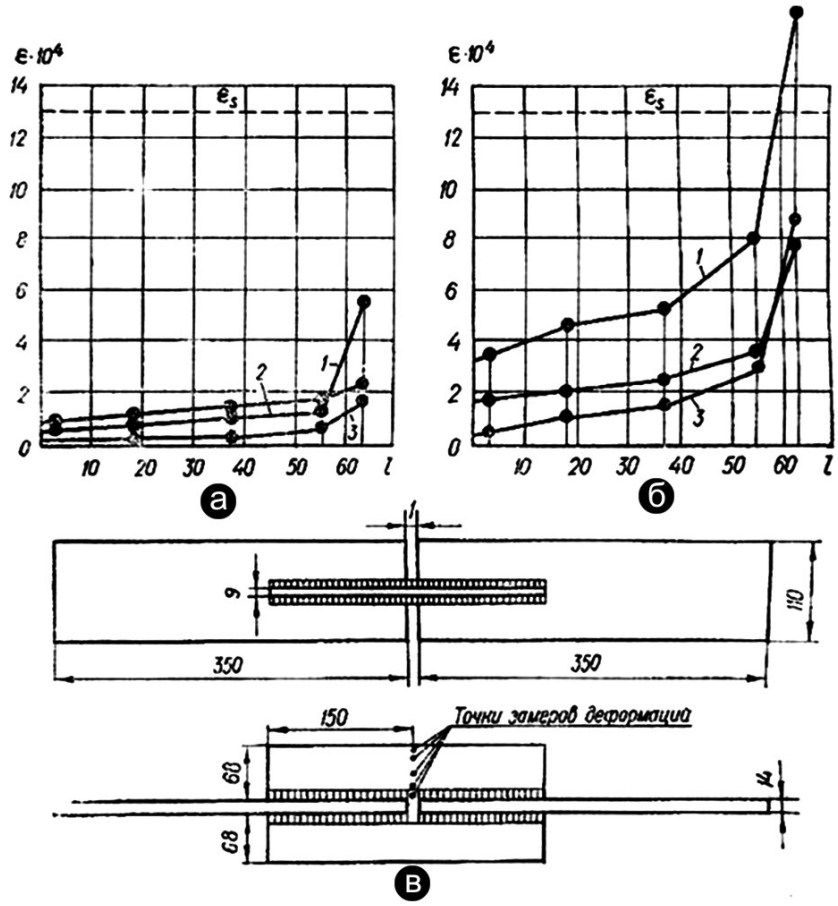


Рисунок 2 – Деформация в крестовом образце (в) при нормальных напряжениях:
а) 40 МПа, б) 80 Мпа;
1 – общая деформация; 2 – упругая деформация; 3 – пластическая деформация.

Выводы

Полученные результаты послужили основанием для вывода о том, что наклеп, создаваемый сваркой, а тем более внешним нагружением, более существенно изменяет выносливость металла в районе концентратора напряжений, чем растягивающие остаточные напряжения.

Литература

1. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. – М. : Машиностроение, 1971. – 316 с.
2. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости. – М. : Наука. 1981. – 688 с.
3. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е. Усталость сварных конструкций. – М. : Машиностроение, 1976. – 270 с.

References

1. Nikolaev G.A., Kurkin S.A., Vinokurov V.A. Calculation, design and manufacture of welded structures. – M. : Mechanical Engineering, 1971. – 316 p.
2. Parton V.Z., Perlin P.I. Methods of Mathematical Theory of Elasticity. – M. : Science, 1981. – 688 p.
3. Kudryavtsev I.V., Naumchenkov N.E. Fatigue of Welded Structures. – M. : Mechanical Engineering, 1976. – 270 p.

УДК: 621.22

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

●●●●●●

WELDED COMPOUNDS CALCULATION PROCEDURE MARINE HYDROTECHNICAL STRUCTURES

Рагимова Махлуга Сурхаевна
кандидат технических наук, ассистент,
ассистент кафедры механика,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
Rahimova_mahluqa@mail.ru

Намазова Гюльнара Иззатуллаевна
докторант, научный сотрудник,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности

Аннотация. Морские стационарные платформы в основном применяются при бурении разведочных и эксплуатационных скважин при разработке нефтегазовых месторождений в море. Конструктивно эти платформы состоят из отдельных крупных блоков, каждый из которых имеет от четырех до шести цилиндрических опор, связанных поверху фермами и соединенных по высоте перекрестными диагональными гибкими тягами и трубчатыми или жесткими раскосами.

Ключевые слова: прочность, сварных соединений, коэффициент, напряжения, усталость, соединения.

Ragimova Makhluga Surkhaevna
Candidate of Technical Sciences, Assistant,
Assistant of the department Mechanics,
Azerbaijan State
oil and industry university
Rahimova_mahluqa@mail.ru

Namazova Gulnara Izzatullaevna
Doctoral candidate, Researcher,
Azerbaijan state oil and industry university

Annotation. Offshore stationary platforms are mainly used for drilling exploratory and production wells in the development of oil and gas fields in the sea.
Structurally, these platforms consist of separate large blocks, each of which has four to six cylindrical supports, connected on top by trusses and connected in height by cross diagonal flexible rods and tubular or rigid braces.

Keywords: strength, welded joints, coefficient, stress, fatigue, joints.

Введение

Анализ конструкций соединительных узлов гидротехнических сооружений позволил выявить следующие основные конструктивные исполнения сварных соединений:

1. Решетчатые конструкции, которые собирают из профильных прокатных, гнутых или сварных элементов.
2. Балочные конструкции, собираемые из прокатных и гнутых профилей и используемые в основном для компоновки более сложных сварных сечений.
3. Трубчатые конструкции, свариваемые встык цельнотянутых труб или трубы сварной конструкции, изготавливаемые путем гибки листового материала.

Материалы и методы

Факторы, влияющие на прочность сварных соединений. На прочность сварных соединений морских гидротехнических сооружений наиболее существенное влияние оказывают концентрация напряжений, абсолютные размеры поперечного сечения, качество, состояние и свойства поверхностного слоя, характер изменения рабочих напряжений и окружающая среда.

В несварных изделиях усталостные разрушения, как правило, начинаются от вырезов, выкружек, отверстий, галтелей и других очагов, вызывающих местное повышение напряжений, характеризующейся, в частности, теоретическим коэффициентом концентрации, равным отношению максимального напряжения к номинальному:

$$\sigma_{\sigma} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{ном}};$$

где σ_{σ} – теоретический коэффициент концентрации напряжений; $\sigma_{\max}$ – максимальное местное напряжение в зоне концентрации напряжений; $\sigma_{ном}$ – номинальное напряжение, подсчитанное методом сопротивления материалов.

Результаты

В равной мере концентрация напряжений проявляется и в сварных соединениях, создающих неравномерное распределение напряжений по сечению элемента.

В работах [2] показано, что пределы выносливости ряда соединений не превышают 20–40 МПа. В частности, такие значения были получены при испытании различных конструкций сварных соединений, не отличавшихся по размерам от пластин с выточками:

Соединения	Предел выносливости σ_{-1}, МПа
Стыковые	70
Прикрепление фасонок в стык	52
Прикрепление ребер жесткости	41
Нахлесточные соединения с обваркой по контору	35
Нахлесточные соединения с фланговыми швами	23

Все образцы испытывались по одной и той же методике. Можно предположить, что либо сварные соединения создают более резкую концентрацию по сравнению с выточками, либо выносливость соединений определяется не только концентрацией напряжений, но и другими факторами, влияние которых не получило еще достаточно полной оценки.

Подтверждения

Согласно приведенным данным наименьшую концентрацию напряжений создают стыковое соединения, наибольшую- нахлесточные с фланговыми швами. В работе [3] коэффициенты концентрации стыковых соединений определялись поляризационно-оптическим методом на прозрачных моделях, изготовленных из эпоксидной смолы ЭД6-М. Модели были двух видов: точноповторяющие профиль испытанных образцов (рис. а); упрощенные с различными радиусами перехода шва и произвольными соотношениями высоты и ширины усиления (рис. б) Идентичность моделей первого вида и шаблонов, вырезанных из реальных соединений, проверялась сопоставлением их конфигураций при 20-кратном увеличении с помощью спектрального проектора ПС-18.

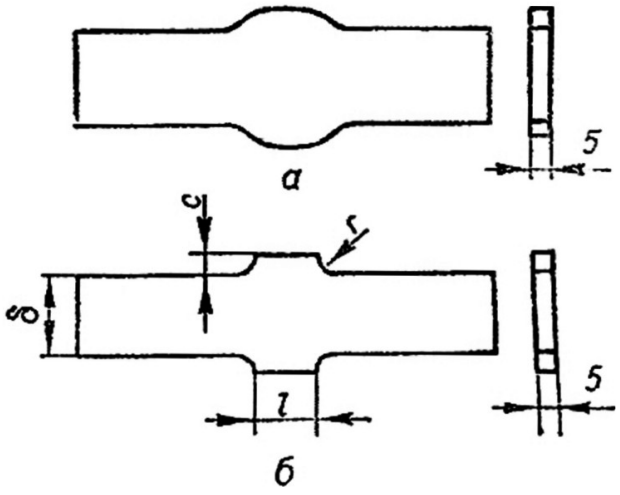


Рисунок 1 – Модели для определения коэффициентов концентрации напряжений в стыковых соединениях

Для изучения напряженного состояния моделей использовались поляризационные установки «Меорта» и КСП-5. Коэффициенты концентрации определялись в точках перехода усиления к пластине при чистом изгибе и растяжении. Полученные значения коэффициентов концентрации в зависимости от параметров усиления и высоты пластины приведены в таблице 1.

В приведенной таблице расчетные значения коэффициентов концентрации напряжений определялись по формуле Навроцкого [4]:

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{2}{\pi A}\left[R \ln\frac{1+r}{r} - R_0 + r_1 R_1 - r_1^2 R_2 + T_0 \right],$$

где A, R, R_0, R_1, T_0, r_1 – коэффициенты, зависящие от соотношений δ, l, c, r (рис. 1).

Таблица 1 – Коэффициенты концентрации напряжений стыковых соединений, установленные поляризационно-оптическим и расчетным методом

Профили модели (рис.)	Экспериментальные значения α_σ		
	при изгибе	при растяжении	расчетные значения α_σ
Соответствующий профилю реального соединения, выполненного ручной сваркой	1,38	1,38	1,71
Соответствующий профилю реального соединения, выполненного ручной сваркой (при других размерах образцов)	1,25	1,27	1,48
Соответствующий профилю реального соединения, выполненного автоматической сваркой	1,35	1,35	1,74
Соответствующий профилю реального соединения, выполненного автоматической сваркой (при других размерах образцов).	1,40	1,38	1,79

Выводы

Как видно из таблицы коэффициенты концентрации напряжений, установленные экспериментально при изгибе и при растяжении, практически одинаковы. Значения α_σ, полученные расчетным путем, близки к экспериментально установленным, если отношение высоты усиления к ширине шва $\frac{c}{l} < 0{,}35$. При больших значениях $\frac{c}{l}$ расхождения между экспериментальными и расчетными α_σ заметно возрастают.

Литература

1. Вишняков Я.Д., Пискарев В.Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. – М. : Металлургия, 1989. – 254 с.
2. Винокуров В.А., Григорьянц А.Г. Теория сварочных деформаций и напряжений. – М. : Машиностроение, 1984. – 284 с.
3. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости. – М. : Наука, 1981. – 688 с.
4. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е. Усталость сварных конструкций. – М. : Машиностроение, 1976. – 270 с.
5. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. – М. : Машиностроение, 1971. – 316 с.

References

1. Vishnyakov Ya.D., Piskarev V.D. Management of residual stresses in metals and alloys. – M. : Metallurgy, 1989. – 254 p.
2. Vinokurov V.A., Grigoryants A.G. Theory of Welding Deformations and Stresses. – M. : Mechanical Engineering, 1984. – 284 p.
3. Parton V.Z., Perlin P.I. Methods of Mathematical Theory of Elasticity. – M. : Nauka, 1981. – 688 p.
4. Kudryavtsev I.V., Naumchenkov N.E. Fatigue of Welded Structures. – M. : Mechanical Engineering, 1976. – 270 p.
5. Nikolaev G.A., Kurkin S.A., Vinokurov V.A. Calculation, Design and Production of Welded Structures. – M. : Mashinostroenie, 1971. – 316 p.

УДК 622.323

ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СКВАЖИН НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЖИМОВ ИХ РАБОТЫ

●●●●●●

ENGINEERING METHODS FOR CALCULATING THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF WELLS BASED ON A STATISTICAL ANALYSIS OF THEIR OPERATING MODES

Тютяев Андрей Васильевич
Кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры общая физика, геология
и физика нефтегазового производства,
Самарский государственный
технический университет
tyutyaev@mail.ru

Комарова Олеся Дмитриевна
студентка кафедры общая физика, геология
и физика нефтегазового производства,
Самарский государственный
технический университет
lesa163@gmail.com

Архипова Кристина Дмитриевна
студентка кафедры общая физика, геология
и физика нефтегазового производства,
Самарский государственный
технический университет
arh-kristina@mail.ru

Должикова Ирина Сергеевна
инженер,
ООО «Самаранипинефть»
zvereva_irina@mail.ru

Аннотация. В данной статье описывается такая проблема, как повышение продуктивности скважин и коэффициента извлечения нефти путем проведения различных ГТМ, основанных на корреляционном , регрессионном, статистический анализах Эти методы позволяют проводить анализ для изучения возможной взаимосвзяи двух и более количества показателей, также выявить проблемный фонд скважин, подобрать комплекс мероприятий, направленный на повышение эффективности разработки месторождений, в том числе проведение различных ГТМ.

Ключевые слова: геолого-технологические мероприятия, статический анализ, расчетный модуль, матрица корреляций.

Tyutyaev Andrey Vasilievich
Candidate of Physico-Mathematical Sciences,
Associate Professor
of the department General Physics,
geology and physics of oil and gas production,
Samara state technical university
Rahimova_mahluqa@mail.ru

Komarova Olesya Dmitrievna
Student of the department General Physics,
geology and physics of oil and gas production,
Samara state technical university
lesa163@gmail.com

Arkhipova Kristina Dmitrievna
Student of the department General Physics,
geology and physics of oil and gas production,
Samara state technical university
arh-kristina@mail.ru

Dolzhikova Irina Sergeevna
Engineer,
SamaraNIPIoil Ltd
zvereva_irina@mail.ru

Annotation. This article describes such a problem as increasing the productivity of wells and the oil recovery coefficient by conducting various geological and technical measures, which based on correlation, regression, and statistical analyzes. These methods allow analyzing to study the possible interconnection of two or more numbers of indicators, also identifying the problematic well stock, and selecting a set of measures aimed at improving the efficiency of field development, including various geological and technical measures.

Keywords: geological and technological measures, static analysis, calculation module, correlation matrix.

В настоящее время одной и самых актуальных проблем при разработке нефтяных месторождений является повышение продуктивности скважин и коэффициента извлечения нефти при снижении капитальных вложений и затрат на эксплуатацию скважин. В особенности это касается разработки месторождений на поздних стадиях разработки и (или) с различными осложнениями. Основным инструментом повышения эффективности разработки месторождения являются геолого-технологические мероприятия (ГТМ). Существующие системы обработки и интерпретации промысловой, геофизической, геологической, петрофизической и сейсмической информации позволяют вести мониторинг разработки [1], а эффективное планирование ГТМ даёт возможность оптимизировать разработку [2]. Наиболее эффективными методами планирования ГТМ на данный момент являются методы,

важнейшим элементом которых является анализ текущих геолого-технологических характеристик разрабатываемых объектов [3]. Для обоснованного анализа необходимо полномасштабное моделирование, однако обработка больших баз данных связана с существенными трудозатратами. В этой связи представляется возможным использование корреляционного и регрессионного анализа, позволяющих проводить анализ больших объемов имеющихся данных предыдущего опыта проведения различных ГТМ. Основным преимуществом такого статистического анализа является простота расчета с использованием пакетов программ вроде Excel и Statistica. Кроме того, такой подход применим также при анализе влияния различных осложнений на эффективность работы скважинного оборудования, например, зависимость межремонтного периода от содержания мехпримесей, парафинов, высокого газового фактора и т.д.

Наиболее распространенными методами статистической обработки промысловых данных на данный момент являются как корреляционный, так и регрессионный анализ. Это два высокоэффективных метода, позволяющие проводить анализ больших объемов данных для изучения возможной взаимосвязи двух или большего количества показателей. Основным преимуществом такого статистического анализа является простота расчета с использованием пакетов программ вроде Excel и Statistica.

Полный перечень анализируемых параметров достаточно велик. Наиболее распространённые и понятные из них: наработка на отказ, номинальная подача насоса, глубина спуска, дебит жидкости, динамический уровень, обводнённость, пластовое давление, количество взвешенных частиц и т.д.

На первом этапе составляется матрица корреляции зависимости эффективности ГТМ (дополнительная добыча) от характеристик анализируемого объекта (месторождения, предприятия и т.д.). Коэффициенты корреляции варьируются в интервале от –1 (обратная зависимость) до 1 (прямая зависимость). Нулевое значение коэффициента показывает, что параметры независимы. Помимо коэффициентов корреляции определяется p-уровень для каждой пары, который демонстрирует достоверность полученных результатов. Например, коэффициент корреляции с p-уровнем 0,05 достоверен с вероятностью в 95 %, т.е вероятность того, что полученный результат простая случайность равен 5 %. Далее можно построить графики зависимости от данных параметров, а также уравнение множественной регрессии. Это уравнение позволяет выполнить обоснованный прогноз эффективности планируемых ГТМ.

В таблицах 1 и 2 представлены результаты анализа эффективности 876 ГТМ, проведённых на группе объектов в Оренбургской области. Показана зависимость дополнительной добычи – ΔQн от начального дебита – Qн, обводнённости – Qн, газового фактора – ГФ, пластового давления – $P_{пл}$, эффективной толщины пласта – $h_{эф}$, давления насыщения – Рнас., вязкости нефти, расчленённости пласта, пористости.

Таблица 1 – Матрица корреляций, геолого-технологические параметры

	ΔQн	Qн	Обвод.	ГФ	$P_{пл.}$	$h_{эф.}$
ΔQн	1	0,41 p = 0,0007	–0,18 p = 0,05	0,31 p = 0,022	0,31 p = 0,011	0,02 p = 0,81
Qн	0,66 p = 0,0007	1	–0,34 p = 0,002	0,17 p = 0,207	0,14 p = 0,276	0,14 p = 0,393
Обвод.	–0,18 p = 0,056	–0,34 p = 0,002	1	0,11 p = 0,187	0,06 p = 0,899	0,04 p = 0,707
ГФ	0,31 p = 0,022	0,17 p = 0,207	–0,11 p = 0,187	1	0,65 p = 0,000	0,08 p = 0,436
$P_{пл}$	0,31 p = 0,011	0,14 p = 0,276	0,06 p = 0,899	0,65 p = 0,000	1	–0,27 p = 0,058
$h_{эф.}$	0,02 p = 0,81	0,14 p = 0,393	0,04 p = 0,707	–0,08 p = 0,436	–0,27 p = 0,058	1

Таблица 2 – Матрица корреляций, геолого-физические параметры

	ΔQн	Рнас.	Вяз. неф	Расчл.	Прониц.	Порист.
ΔQн	1	0,105	–0,126	0,106	–0,089	–0,158
Рнас.	0,105	1	–0,268	–0,299	–0,108	–0,280
Вяз. неф	–0,126	–0,268	1	0,056	0,076	0,268
Расчл.	0,106	–0,299	0,056	1	0,041	0,127
Прониц.	–0,089	–0,108	0,076	0,041	1	–0,079
Порист.	–0,158	–0,280	0,268	0,127	–0,079	1

По приведённым данным строится уравнение регрессии.

В таблице 3 показана матрица корреляций параметров, влияющих на отказ скважинного оборудования. Далее рисунки 1 и 2 показывают графики зависимости наработки от данных параметров. Каждая диаграмма содержит доверительную область, которая так же демонстрирует общую закономерность. Доверительные кривые строились с вероятностью q = 95 % и обозначались пунктирными линиями.

Таблица 3 – Матрица корреляций, наработка на отказ – параметры скважины

	Ном. подача	Нсп	Qж	$Н_{дин}$	Обв	$Р_{пл}$	КВЧ	Нараб.
Ном. подача	1	–	–	–	–	–	–	–
Нсп	0,308	1	–	–	–	–	–	–
Qж	0,514	0,272	1	–	–	–	–	–
$Н_{дин}$	0,235	0,817	0,106	1	–	–	–	–
Обв	–0,107	–0,444	0,304	–0,289	1	–	–	–
Рпл	0,019	0,191	0,105	0,110	–0,082	1	–	–
КВЧ	–0,274	–0,149	–0,221	–0,059	0,1925	–0,091	1	–
Нараб.	–0,196	–0,007	–0,154 P = 0,021	0,064	0,1402 P = 0,024	–0,101	–0,147 P = 0,063	1

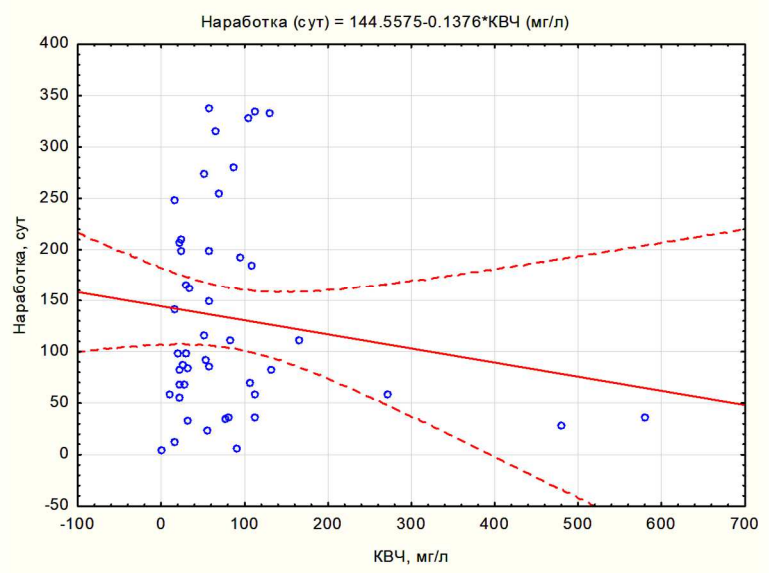


Рисунок 1 – Диаграмма рассеяния для зависимости наработка-КВЧ

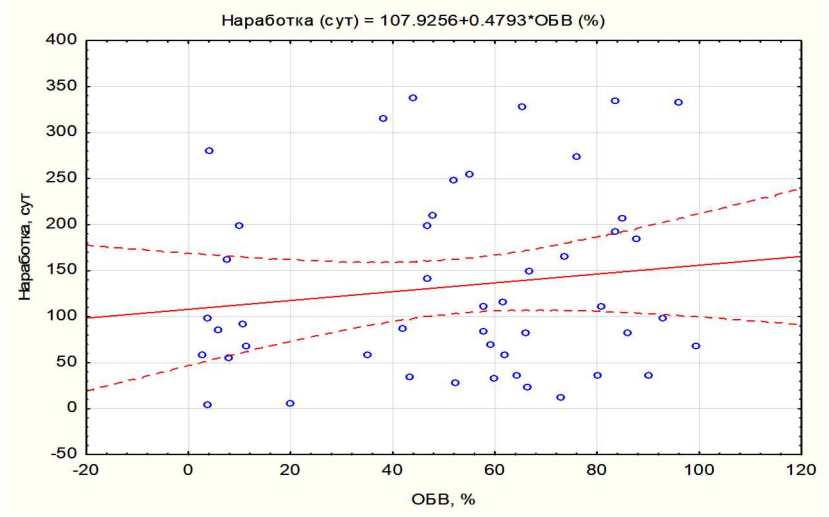


Рисунок 2 – Диаграмма рассеяния

Например, осложняющим факторов при добыче нефти является отложение АСПО на внешней и внутренней поверхности насосно-компрессорных труб НКТ [4]. Одним из эффективных методов предупреждения образования или удаления АСПО является электротепловой метод. При помощи использования специальных электрических нагревательных кабелей температура потока нефти поддерживается выше температуры насыщения нефти парафином. В связи с этим актуальной задачей является разработка прокси-моделей и инженерных методов расчёта температуры в скважине с нагревательным кабелем.

Для решения задачи по предупреждению отложений используем прокси-модель по расчёту распределения температур, которая заключается в нахождении следующих зависимостей:

- Распределение температуры скважинной жидкости по глубине скважины.
- Температура на внутренней стенке ЭК.
- Температуры на внутренней и внешней стенке НКТ.
- Критическая температура и давление (начала отложения).

С помощью разработанного расчётного модуля можно подобрать наиболее эффективную технологию электропрогрева, а именно определить расположение и тип кабеля, его нагревающую способность, при которой исключается образование АСПО. Пример данного расчетного модуля представлен на рисунке 3.

Расчет теплового режима скважины с кабелем внутри НКТ

Исходные данные				РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ					
Диаметр изоляции кабеля	d_u =	0.026	м	Температура на внутренней стенке НКТ	T_1 =	54.302	-	74.149	C
Диаметр жил кабеля	$d_к$ =	0.01	м	Температура на внешней стенке НКТ	T_2 =	54.284	-	74.139	C
Внутренний диаметр НКТ	d_1 =	0.062	м	Температура на внутренней стенке ЭК	T_3 =	25.155	-	57.661	C
Внешний диаметр НКТ	d_2 =	0.073	м						
Внутренний диаметр ЭК	d_3 =	0.146	м						
Внешний диаметр ЭК	d_4 =	0.162	м						
Средний диаметр цементного кольца	$d_ц$ =	0.2	м						
Коэффициент теплопроводности изоляции кабеля	λ_u =	0.7	Вт/(м·К)						
Коэффициент теплопроводности среды в НКТ	λ_1 =	0.16	Вт/(м·К)						
Коэффициент теплопроводности НКТ	λ_2 =	60	Вт/(м·К)						
Коэффициент теплопроводности среды в затрубе	λ_3 =	0.16	Вт/(м·К)						
Коэффициент теплопроводности ЭК	λ_4 =	60	Вт/(м·К)						
Коэффициент теплопроводности цементного кольца	$\lambda_ц$ =	0.8	Вт/(м·К)						
Коэффициент теплопроводности породы	$\lambda_п$ =	1.7	Вт/(м·К)						
Температура жил кабеля	$T_к$ =	100	C						
Температура начала кристаллизации парафина		33	C						
Интервал прогрева	a=	0	м						
	b=	2000	м						

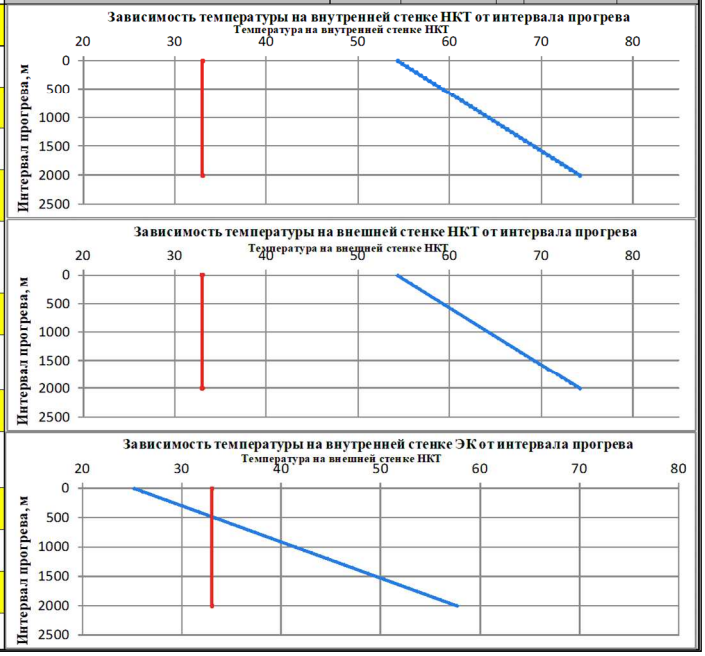


Рисунок 3 – Расчетный модуль теплового режима

Альтернативой тепловым методам может быть метод химической обработки скважин, с помощью которого при применении соответствующих химреагентов, подобранных определенным образом, исключается образование АСПО и удаляются уже накопившиеся отложения. Для эффективного подбора химреагента необходимо провести комплекс исследований, который должен включать в себя: определение физико-химических свойств нефти, определение элементарного состава АСПО, определение физико-химических свойств ингибитора, определение технологических свойств и испытания на совместимость. Для подбора и оценки эффективности ингибитора необходимо провести ряд испытаний на совместимость ингибитора с другими химическими реагентам, пластовыми водами, деэмульгаторами, а также керновые испытания, для оценки эффективности технологии закачки ингибитора в пласт.

После проведения данных исследований и выбора оптимальной технологии доставки ингибитора в пласт рассчитывается экономическая эффективность.

По оценке экономической эффективности, выбирается наиболее оптимальная технлогия электропрогрева или технология с использованием ингибитора-парафинообразования.

Если в результате обработки геолого-промысловых данных наиболее сильное влияние на разработку месторождения оказывает система ППД, то дальнейшая программа развития должна учитывать применение эффективных методов заводнения, в том числе с использованием химических реагентов. Так, например, один из методов, эффективность которого доказана, является метод щелочного заводнения с использованием дешевых реагентов-отходов нефтехимической и деревообрабатывающей промышленности, щелочного стока капролактама и лигносульфонатов соответственно. Для оценки эффективности применения данной технологии или любой другой необходима программа исследований, которая должна включать анализ ГФХ месторождения, физико-химических свойств нефти, лабораторные исследования на керновых моделях элемента пласта, компьютерное моделирование и оценка эффективности применяемой технологии с помощью математических расчетов. Данная программа исследований с последующей разработкой технологии заводнения была реализована нами для одного из месторождений ПАО «Оренбургнефть».

Например, с помощью статистического анализа на Первомайской группе месторождений ПАО «Оренбургнефть» были выявлены причины остановок ГНО, которыми являются срыв подачи и срабатывания защиты (происходит более 25 % внутрисменных остановок оборудования) [5]. Для анализа зависимости МРП от различных технологических параметров, проводится статистическая обработка отчетов по видам потерь. Найденные зависимости позволяют определить области значений параметров скважин, влияющих на МРП, в соответствии с которыми целесообразно определить фонд скважин, для которых более эффективной может быть струйная технология эксплуатации. В данном случае с помощью статистического анализа были выявлены скважины с высоким газовым фактором и низким пластовым давлением, на которых применение ЭЦН особенно на скважинах с малым дебитом становится нерентабельным (рис. 4). В данном случае струйный насос рассматривается как хорошая альтернатива неэффективно работающих ЭЦН.

Расчет струйного насоса для нефтяных скважин по параметрам

Исходные данные							
по скважине:				по пласту:			
Дебит нефти	$Q_н$=	9	т/сут	Пластовое давление	$P_{пл}$=	24.9	МПа
Дебит жидкости	$Q_ж$=	25	$м^3$/сут	Пластовая температура	$T_{пл}$=	362	К
Обводненность	β=	55	%	Давление насыщения	$P_{нас}$=	28.8	МПа
Забойной давление	$P_{заб.}$=	21.93	МПа	Газовый фактор	ГФ=	2452.2	$м^3/м^3$
Давление в затрубе	$P_{затр.}$=	2.8	МПа	Объемный коэффициент нефти	$b_н$=	2.4	
Глубина перфорации	$H_{пр.}$=	4621	м	Вязкость воды	$\mu_в$=	0.43	мПа/с
Глубина подвески насоса	$H_{н.}$=	4032	м	Вязкоть жидкости	$\mu_ж$=	0.18	мПа/с
Диаметр эксплуатационной колонны	$D_{эк}$=	0.15	м	Вязкоть нефти в пластовых условиях	$\mu_н$=	0.16	мПа/с
Внутренний диаметр НКТ	$D_{нкт}^{(внутр.)}$=	0.064	м	Плотность нефти	$\rho_н$=	805	$кг/м^3$
Внешний диаметр НКТ	$D_{нкт}^{(внеш.)}$=	0.073	м	Плотность газа	$\rho_г$=	1.2	$кг/м^3$
Длина хвостовика	$L_{хв.}$=	350	м	Плотность воды	$\rho_в$=	1190	$кг/м^3$
Коэффициент сепарации	$k_{сеп.}$	0.7		Молярная доля азота	$y_а$=	0.0624	
Содержание мех. примесей	КВЧ=	155	мг/л	Молярная доля метана	$y_м$=	0.475	

РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ			
Дебит нефти	$Q_н$=	9	т/сут
Давление закачки	$P_{зак.}$=	33	МПа
Расход рабочей жидкости	$G_{раб.ж}$=	212.2	м3/сут
Мощность струйного насоса	η=	116	кВт
Давление на приеме насоса	$P_{пр.}$=	15	МПа
Давление нагнетания	$P_{нагн.}$=	33.7	МПа

Рисунок 4 – Расчетный модуль струйного насоса для нефтяных скважин

Однако, внедрение струйных насосов затрудненно или замедляется из-за высокой стоимости устьевого оборудования, в частности нагнетательного насоса, который используется для подачи рабочей жидкости на сопло насоса. Поэтому необходимы расчёты скважины с использованием струйного

насоса с параметрами, соответствующими эксплуатации той же скважины ЭЦН, с помощью чего можно провести обоснованное сравнение эксплуатации скважины струйным насосом и ЭЦН, а также оценить экономическую эффективность. На основе проведенных расчётов основных параметров струйной технологии эксплуатации скважин с высоким газовым фактором выполнен предварительный подбор необходимого оборудования и сделана сравнительная оценка затрат на эксплуатацию одной скважины струйным насосом и ЭЦН в течение 5 лет. Исходные данные по стоимости оборудования и услуг представлены компаниями производителями оборудования и поставщиков услуг. Примерная оценка затрат показала, что начальные затраты на приобретение соответствующего оборудования для эксплуатации скважины струйным насосом примерно в 4 раза превышают затраты на приобретения оборудования при эксплуатации ЭЦН. В процессе эксплуатации скважины энергопотребления струйной технологии в 2 раза выше, чем с ЭЦН. Однако, в 4 раза снижаются затраты на ТРС, ремонты ГНО. Кроме того, существенно снижаются потери недобытой нефти при остановках скважины. Рассчитанный дисконтированный срок окупаемости инвестиций составляет примерно 4,7 года.

Таким образом статистический анализ позволяет выявить проблемный фонд скважин, а также подобрать комплекс мероприятий, направленный на повышение эффективности разработки месторождений, в том числе проведение различных ГТМ. На данном этапе идет сбор и анализ промысловой информации, составление корреляционных зависимостей гелого-технологичекий параметров. В дальнейшем с помощью прокси-моделей уравнений регрессии можно будет не только быстро и эффективно подобрать тот или иной вид ГТМ, но также рассчитать его экономическую эффективность. При наличии достаточно обширной статистики и грамотно построенном методе анализа удается охватить тестовыми выборками весь анализируемый фонд скважин и верно установить корреляции между геолого-технологическими факторами. Далее для каждого из значимых факторов построить соответствующую детерминированную модель, описывающую основные физические процессы при добыче. В результате анализа такой модели в каждом конкретном случае удаётся найти оптимальные параметры эксплуатации скважин с наибольшей эффективностью и минимальными энергозатратами.

Литература

1. Савельев В.А., Токарев М.А., Чинаров А.С. Геолого-промысловые методы прогноза нефтеотдачи : учеб. пособие. – Ижевск : Издательский дом «Удмуртский университет», 2008. – 147 с.

2. Бачин С.И., Тян Н.С. Анализ интенсификации добычи нефти на Мамонтовском месторождении // Нефтяное хозяйство. – 2005. – № 8. – С. 76–78.

3. Тимонов А.В., Загуренко А.Г. Оптимизация технологий ГРП на месторождениях ОАО «НК «Роснефть» // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 11. – С. 68–73.

4. Лыков Д.В., Круглов Е.А. Обзор технологий для предотвращения образования АСПО в скважинах первомайской группы месторождений ПАО «Оренбургнефть» // Инженерная практика. – 2017. – № 04. – С. 56–59.

5. Лыков Д.В., Галиев Н.А., Тютяев А.В. Оценка перспектив применения струйных насосов на нефтяных месторождениях первомайской группы ПАО «Оренбургнефть» // Инженерная практика. – 2017. – № 04. – С. 68–72.

Reference

1. Savelyev V.A., Tokarev M.A., Chinarov A.S. Geological and field methods for predicting oil recovery : Textbook allowance. – Izhevsk : Publishing House «Udmurt University», 2008. – 147 p.

2. Bachin S.I., Tyan N.S. Analysis of the intensification of oil production at the Mamontovskoye field // Oil industry. – 2005. – № 8. – P. 76–78.

3. Timonov A.V., Zagurenko A.G. Optimization of hydraulic fracturing technology in the fields of Rosneft // Oil industry. – 2006. – № 11. – P. 68–73.

4. Lykov D.V., Kruglov E.A. Technology review to prevent the formation of ARPD in the wells of the May Day group of fields of PJSC Orenburgneft // Engineering Practice. – 2017. – № 04. – P. 56–59.

5. Lykov D.V., Galiev N.A., Tyutyaev A.V. Evaluation of the prospects for the use of jet pumps in oil fields of the May Day group of PJSC Orenburgneft // Engineering Practice. – 2017. – № 04. – P. 68–72.

УДК 665.335.9.094.1

АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕРАБОТКИ НЕТРАДИЦИОННОГО МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ В УЗБЕКИСТАНЕ

●●●●●●

PROCESSING RELEVANCE UNCONVENTIONAL OILSEEDS IN UZBEKISTAN

Фармонов Ж.Б.
Каршинский инженерно-экономический институт
id.yug2016@gmail.com

Суванова Ф.У.
Каршинский инженерно-экономический институт

Farmonov J.B.
Karszynski engineering-economic institution
id.yug2016@gmail.com

Suvanova F.U.
Karszynski engineering-economic institution

Аннотация. Нетрадиционное масличное сырьё содержит до 60 % ценного масла, которое используется не только в пищевых целях, но и в медицине, фармакалогии. Не менее ценными свойствами обладают образующиеся отходы – жмых, содержащий большое количество биологически активных веществ.

Ключевые слова: виноградные семена, плодовые косточки (абрикосы, слива, миндаль), семена дыни, арбуза, тыквы, граната и т.д.

Annotation. Non-traditional oil raw materials contain up to 60% of valuable oil, which is used not only for food purposes, but also in medicine, pharmacology. No less valuable properties are produced waste - cake containing a large number of biologically active substances.

Keywords: grape seeds, fruit seeds (apricots, plums, almonds), melon seeds, watermelon, pumpkin, pomegranate, etc.

В настоящее время в Узбекистане существует ряд крупных маслоэкстракционных предприят96ий, перерабатывающих хлопковые семена. а также семена подсолнечника, сои и софлора. Однако существующие технологии и оборудование данных предприятий ориентированы в основном на переработку семян хлопчатника, который в течение длительного времени являлся основным масличным сырьём.

Хлопковые семена по своим морфологическим признакам значительно отличаются от других масличных семян. Для расширения ассортимента растительных масел в Республике Узбекистан, важным является разработка и внедрение высокоэффективных технологий переработки нетрадиционного масличного сырья с целью получения целебных натуральных масел.

Наиболее оптимальным решением данной проблемы является создание предприятий малой мощности по переработке нетрадиционного масличного сырья.

Преимущество таких предприятий по сравнению с предприятиями большой и средней мощности состоит в следующем:

– компактность. Мини-заводы не требуют больших площадей, не нужно тратить значительные средства, если помещение арендуется или же специально возводится;

– мобильность. При необходимости не возникает сложностей при перемещении мини-завода, ориентированного на изготовление растительных масел, на другое место. компактность мини линий позволит переносить производство из одного места в другое;

– экономичность. Значительная экономия наблюдается в разных моментах – приобретение оборудования, заработная плата, поскольку обслуживает производственные линии небольшое количество людей;

– эффективность. На небольшом предприятии можно быстро вносить изменения в технологический процесс в соответствии с современными требованиями;

– потребность в небольшом количестве перерабатываемого сырья (от нескольких десятков до нескольких сотен кг в день);

– производство готовой продукции из местного сырья;

– в отличие от самодельного доморощенного оборудования создание предприятий малой мощности позволит полностью механизировать технологические процессы, получать экологически чистый продукт методом холодного прессования.

Нетрадиционное масличное сырьё содержит до 60 % ценного масла, которое используется не только в пищевых целях, но и в медицине, фармакалогии. Не менее ценными свойствами обладают образующиеся отходы – жмых, содержащий большое количество биологически активных веществ. Известно, что в жмыхе содержится большое количество белка, клетчатки и жира, что обуславливает

целесообразность их использования для расширения сырьевой базы пищевой промышленности, в том числе для повышения содержания пищевых волокон в рационе питания. Внедрение технологии переработки нетрадиционного масличного сырья позволит получать деликатесное растительное масла и высокопротеиновый жмых [1, 2].

Для внедрения технологии переработки нетрадиционного масличного сырья в республике имеется соответствующая сырьевая база. В ассортимент нетрадиционного маслосодержащего сырья входят виноградные семена, плодовые косточки (абрикосы, слива, миндаль), семена дыни, арбуза, тыквы, граната и т.д.

К примеру, валовый объём абрикосов составил 435500 тонн, из них 75,0 тыс. т направляется на сушку, 59,0 тыс. т в натуральном виде направляется на экспорт. Остальная часть (около 300 тыс. т) используется непосредственно в пищу. при этом 20 % оь этого количества составляют косточки, т.е. сырьё для переработки.

В республике ежегодно выращивается около 1743 тыс. т винограда, из них 220 тыс. т направляется на переработку. Семена винограда составляют 3 % т.е. 52290 тыч. т.

Кроме того, масло можно получать из семян бахчевых – дыни, арбуза. Урожай дынь сосьавляет более 1056 тыс. т, семена составляют 3 % – 31,68 тыс. т. Количество масла составляет 15,84 тыс. т (30 %) [3, 4].

В семенах тыквы содержится более 30 % масла, богатого ω-3 и ω-6 жирными кислотами, витаминами А, Е, Р. Фитостеролы, содержащиеся в тыквенном масле, большую роль в регулировании жирового обмена, снижения уровня холестерина, процессов тромбообразования и ряда других заболеваний, в том числе опухолевых, позволяют уменьшить риск ишемической болезни сердца на ~25 % [5].

Анализ исследований, посвященных проблеме переработки нетрадиционного масличного сырья в Узбекистане, показал возможность использования их для получения новых видов растительных масел, обладающих высокими питательными, вкусовыми и лечебно-профилактическими свойствами, а также. показал необходимость продолжения работ в данном направлении на территории Узбекистана.

Литература

1. Разуваев Н.И. Комплексная переработка вторичных продуктов виноделия. – М. : Пищ. пром-сть. – 1975. – 121 с.

2. Голубева В.С. Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2009. – № 2. – С. 37–41. – URL : info@belproduct.com (дата обращения 01.04.2014)

3. Попов А.А. Повышение качества обогащенных жировых продуктов питания функционального назначения : дисс. … канд. хим. наук. – М., 2006.

4. Бой берилаётган миллионлар // официальный сайт ассоциации «Uzyogmoysanoat». – URL : yogmoy.uz (25.10.2019).

5. Белова С.М. Безопасность продуктов питания и здоровье : Экология человека: проблемы и состояние лечебно-профилактического питания // III Международный симпозиум. – М., 1994. – С. 261–263.

Reference

1. Razuvaev N.I. Complex processing of secondary wine products. – M. : Food industry. – 1975. – 121 p.

2. Golubeva V.S. Food Industry: Science and Technology. – 2009. – № 2. – P. 37–41. – URL : info@belproduct.com (circulation date 01.04.2014).

3. Popov A.A. Improving the quality of enriched fatty food products of functional purpose : thesis. ... Cand. of Chemical Sciences. – M., 2006.

4. Boy berilaetgan millionlar // official site of the association «Uzyogmoysanoat». – URL : yog-moy.uz (25.10.2019).

5. Belova S.M. Food safety and health : Human ecology: problems and state of therapeutic and preventive nutrition // III International Symposium. – M., 1994. – P. 261–263.

УДК 665.335.9.094.1

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ МАСЛОЖИРОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

●●●●●●

FAT AND OIL INDUSTRY WASTE MANAGEMENT FOR FOOD FORTIFICATION

Фармонов Ж.Б.
Каршинский инженерно-экономический институт
id.yug2016@gmail.com

Суванова Ф.У.
Каршинский инженерно-экономический институт

Farmonov J.B.
Karszynski engineering-economic institution
id.yug2016@gmail.com

Suvanova F.U.
Karszynski engineering-economic institution

Аннотация. В работе проведен анализ литературных данных по использованию различных пищевых добавок в производстве майонезных соусов. В качестве добавок рассмотрены вещества, содержащие пищевые волокна, витамины, антиоксиданты, полиненасыщенные жирны кислоты.

Ключевые слова: минералов и микроэлементов в жмыхе содержится большое количество кальция, фосфора, калия, натрия, магния, железа, хрома, алюминия, кобальта, молибдена, никеля.

Annotation. The paper analyzed literature data on the use of various food additives in the production of mayonnaise sauces. Substances containing dietary fibers, vitamins, antioxidants, polyunsaturated fatty acids were considered as additives.

Keywords: minerals and trace elements in the cake contains large amounts of calcium, phosphorus, potassium, sodium, magnesium, iron, chrome, aluminum, cobalt, molybdenum, nickel.

Пищевые продукты, обогащенные витаминами и минеральными веществами, входят в обширную группу продуктов функционального питания, т.е. продуктов, обогащенных физиологически полезными пищевыми ингредиентами, улучшающими здоровье человека. К этим ингредиентам, наряду с витаминами и минеральными веществами, относят также пищевые волокна, липиды, содержащие полиненасыщенные жирные кислоты, полезные виды живых молочнокислых бактерий, в частности, бифидобактерии и необходимые для их питания олигосахариды.

В настоящее время одним из важных направлений для предприятий масложировой промышленности Узбекистана является разработка технология получения масла из нетрадиционных видов сырья: семян арбуза, дыни, винограда, тыквы, томата, кунжута, рапса, косточек сливы, абрикоса и персика, обладающих наряду с вкусовыми достоинствами биологически активными и фармакологическими свойствами. Нетрадиционное масличное сырьё содержит до 60 % ценного масла, которое используется не только в пищевых целях, но и в медицине, фармакалогии. Не менее ценными свойствами обладают образующиеся отходы, содержащие большое количество биологически активных веществ [1, 2].

Наиболее ценными свойствами обладают семена льна и жмых, получаемый после отделения масла методом прессования. В жмыхе содержатся витамины: тиамин, рибофлавин, ниацин, пантотеновая кислота, фолиевая кислота, аскорбиновая кислота, биотин, токоферол. Особенно много – витамина В1, Е. Среди минералов и микроэлементов в жмыхе содержится большое количество кальция, фосфора, калия, натрия, магния, железа, хрома, алюминия, кобальта, молибдена, никеля. Содержится также и Омега-3 кислота. Протеин, содержащийся в льняном жмыхе, имеет высокую биологическую усвояемость. Содержит высокое количество аминокислот, в том числе незаменимых. В его составе обнаружены фениалаланин, лейцин, изолейцин, триптофан, тирозин, валин, треонин.

Примерно на треть этот продукт состоит их пищевых волокон. Они все имеют диетические свойства. К ним в первую очередь относятся целлюлоза, пектины, гемицеллюлоза, а также лигнин. Доказано, что лигнины способствуют подавлению роста и распространения раковых опухолей. Пищевые волокна жмыха льна содержат большое количество фитоэстрогенов.

Жмых тыквенных семечек содержит до 50 % белка, поэтому является ценной добавкой к пище. Кроме того, он богат клетчаткой (до 20 %), пищевыми волокнами, эфирными маслами, витаминами В1, В2, В6, В9, Е, РР. Содержит калий, марганец, цинк, железо, фосфор, фолиевую кислоту и другие жирные кислоты. Тыквенный жмых рекомендовано вводить в рацион людям, имеющим такиезаболевания каксахарный диабет, атеросклероз, ожирение и т.д. [3, 4].

Жмых кунжутный производится из кунжутных семян после отжима кунжутного масла. Он содержит в своем составе высококачественные белки и жиры, витамины (много витамина Е) и минеральные вещества: кальций, цинк, магний, калий, железо, фосфор, витамины группы В и каротин.

Анализ исследований, посвященных повышению качества продуктов питания и совершенствованию структуры питания населения путём введения в рацион новых нетрадиционных видов растительного сырья, содержащих в своем составе сбалансированный комплекс белков, липидов, минеральных веществ, витаминов и обладающих высокими питательными, вкусовыми и лечебно-профилактическими свойствами, показал возможность использования их для получения новых видов пищевых продуктов.

Литература

1. Гниломедов В.П. [и др.]. Будущее за нетрадиционными масличными культурами // Достижения науки и техники АПК. – 2001. – № 5. – С. 33–36.
2. Голубева В.С. Опыт разработки масложировых продуктов для функционального питания // Пищевая промышленность: наука и технология. – 2009. – № 2. – С. 37–41.
3. Голубев В.Н., Кудряшева А.А. Экология, качество и безопасность продуктов питания // Тез. докл. III Международного симпозиума «Экология человека: проблемы и состояние лечебно-профилактического питания». – М., 1994. – С. 23–32.
4. Белова С.М. Безопасность продуктов питания и здоровье нации // Тез. докл. III Международного симпозиума «Экология человека: проблемы и состояние лечебно-профилактического питания». – М., 1994. – С. 261–263.

Reference

1. Gnilomedov V.P. [et al.]. The Future is in Unconventional Oil-Based Cultures // Achievements of Science and Technology in the Agricultural Sector. – 2001. – № 5. – P. 33–36.
2. Golubeva V.S. Experience of development of fat and oil products for functional nutrition // Food industry: science and technology. – 2009. – № 2. – P. 37–41.
3. Golubev V.N., Kudryasheva A.A. Ecology, quality and safety of food // Proceedings of the III International Symposium «Human ecology: problems and state of therapeutic and preventive nutrition». – M., 1994. – P. 23–32.
4. Belova S.M. Food safety and health of the nation // Proceedings of the III International Symposium «Human ecology: problems and state of therapeutic and prophylactic nutrition». – M., 1994. – P. 261–263.

УДК 623

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ В ШАХТЕ ВЬЕТНАМА В СООТВЕТСТВИИ С КОНЦЕНТРАЦИЕЙ МЕТАНА

●●●●●●

DEVELOPMENT OF A CONTROL AND MONITORING SYSTEM FOR AN AUTOMATED FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC LOCAL VENTILATION FAN IN A VIETNAM MINE IN ACCORDANCE WITH METHANE CONCENTRATION

Фо Чи Тхань
преподаватель,
Куангнинского индустриального университета
Иентхо-Донгчеу, Куангнинь, Вьетнам
cthanhtdh@gmail.com

Аннотация. В настоящее время всё больше сфер человеческой деятельности подвергаются автоматизации. С ростом уровня автоматизации сфер производства выросло и число программных продуктов, управляющих технологическими процессами [11, 12, 13]. В настоящей статье рассматривается один из возможных подходов к решению важной влияющей на эффективность и безопасность горных технологий задачи оперативного перераспределения воздуха работе пойдёт речь о разработке человеко-машинного интерфейса для технологического процесса в SCADA-системе WinCC 7.4.
Рассмотрены общие принципы построения и основные функции интеллектуальной мониторинговой системы. Обсуждается методика оперативного управления вентиляторами местного проветривания (ВМП).

Ключевые слова: вентиляционная система, структура локальной АСУ ВМП, SCADA-системы сигналов, выполнена на базе программируемого логического контроллера, системы автоматического управления ВМП.

Do Chi Thanh
Lecturer of Quang Ninh University of Industry.
Yen Tho-Dong Trieu, Quang Ninh – Viet Nam
cthanhtdh@gmail.com

Annotation. Currently, more and more spheres of human activity are being automated. With the increase in the level of automation of production areas, the number of software products that control technological processes has also grown [11, 12, 13]. This article discusses one of the possible approaches to solving the problem of operational air redistribution, which affects the efficiency and safety of mining technologies, the work will focus on the development of a human-machine interface for the technological process in the WinCC 7.4 SCADA-system.
The general principles of construction and the basic functions of an intelligent monitoring system are considered. The technique of operational control of local ventilation fans (VMP) is discussed.

Keywords: the ventilation system, the structure of the local automated control system of the VMP, SCADA-system of signals, is based on a programmable logic controller, system VMP automatic control.

Введение

На сегодняшней день на шахтах Вьетнама общепринято практикой является использование вентилятор местного проветривания (ВМП). Проблема управления ВМП в практических условиях является достаточно сложной т.к. основной параметр регулирования является нелинейным.

Основным способом достижения взрывобезопасности в шахтах и горных выработках, опасных по газу и пыли, служит поддержание атмосферы под землей на уровне менее 1-го % содержания метана, путем искусственного нагнетательного проветривания. Министерства угольной промышленности Вьетнама, было принято обозначение вентиляторов местного проветривания в начале выработки угольного пласта величина длин и сечения ветвей вентиляции малы. Поэтому параметры применяемых в этом случае вентиляторов местного проветривания невелики. Нет необходимости в большой подаче и давлении воздуха. По мере выработки угольного пласта длины и сечения ветвей вентиляции увеличиваются. Все это ведет к необходимости увеличения объема подачи и давления воздуха в вентиляционную систему в целом, и в каждую отдельно взятую ее ветвь. В связи с этим в основном вентиляционном туннеле производят замену вентиляторов местного проветривания более мощными. Оценивая в целом этапы прохождения выработки от начала и до завершения видно, что необходимо поэтапное применение все более мощных, а следовательно, и более дорогих вентиляторов. Плюс, необходимость в монтаже или демонтаже и в пусконаладочных работах, являющихся в условиях шахты весьма затруднительными. Как правило, в шахтах, при необходимости замены вентилятора на более мощный, устанавливают вентилятор, имеющий большие, по сравнению с требуемыми, на тот момент, параметры давления и подачи. А это и больший расход электроэнергии, и ухудшение условий работы людей в забое [5, 6, 7, 8, 10, 11].

В настоящей статье один представляет приложения система мониторинга программируемого логического контроллера (ПЛК) в подземные угольные шахты для ключевых видов деятельности автоматической добычи и сосредоточится на системе вентиляторов местного проветривания, мониторинге газов и управление с помощью различных газовых датчиков, для автоматического управляющее и отключающее питание конкретной области в когда концентрация метана превышает больше допустимого предела шахте представлена на рисунках 1, 2.

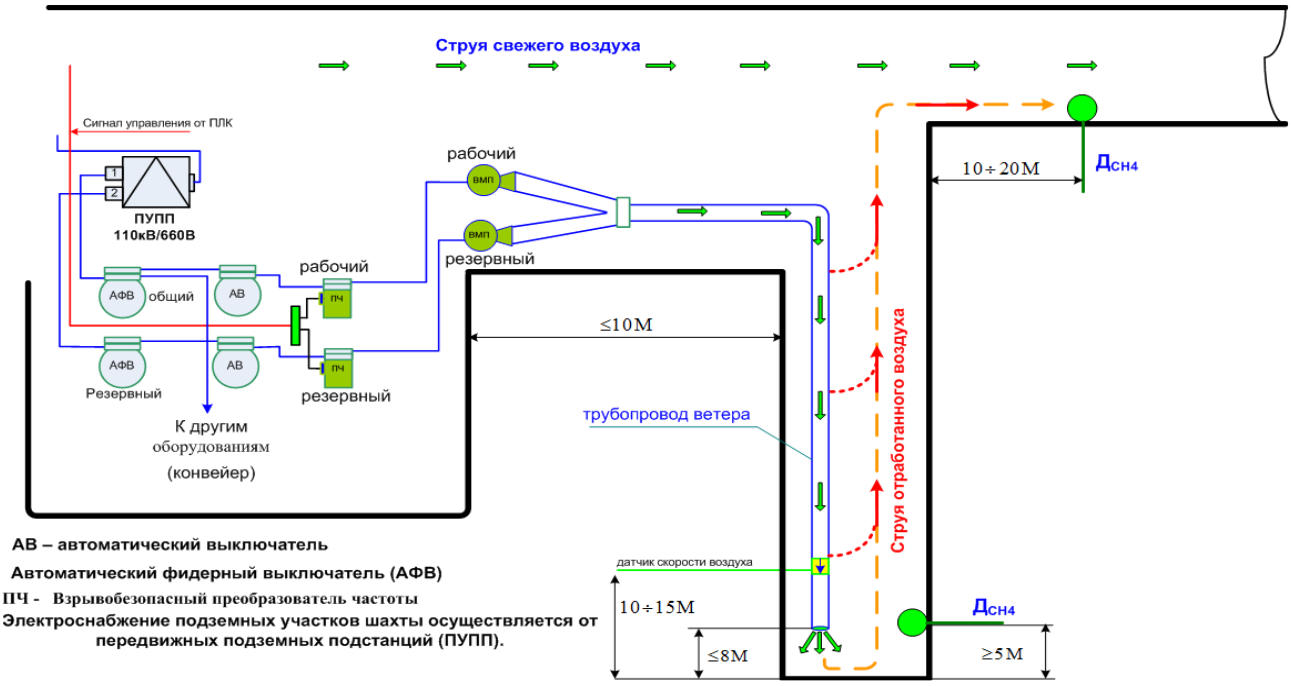


Рисунок 1 – Схема электроснабжения и расстановки оборудования вентиляторной установки при автоматическом управлении

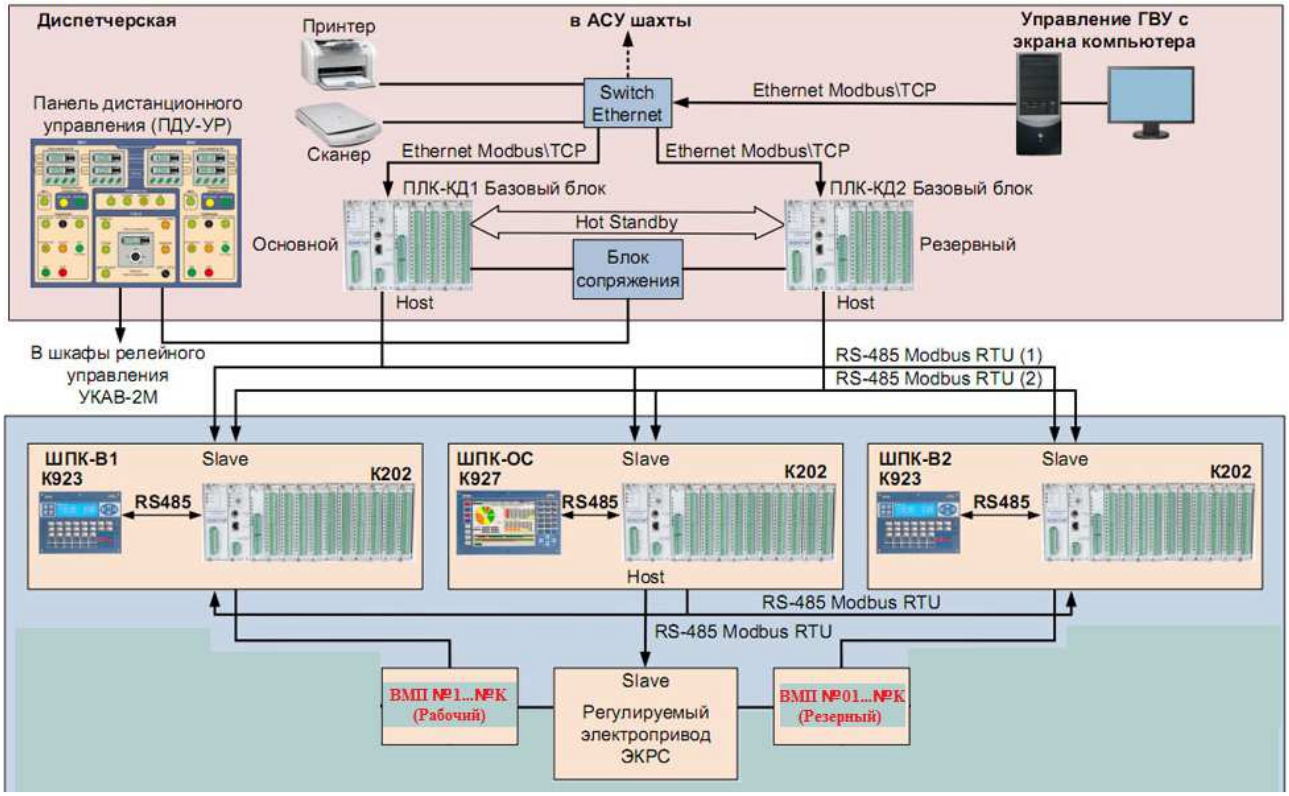


Рисунок 2 – Структура локальной АСУ ВМП

Функции системы

– ВМП должны работать непрерывно;
– Контроль состояния и управление вентиляторами местного проветривания;
– Контроль протока воздуха в тупиковых выработках;
– Автоматизированная система управления вентиляторами местного проветривания (ВМП) и выполнена на базе программируемого логического контроллера (ПЛК). ПЛК выполняет сбор и обработку информации от датчиков и измерительных преобразователей нижнего уровня системы и формирует управляющие сигналы на исполнительные механизмы преобразователей частоты на рисунке 3;
– Непрерывный автоматический контроль скорости воздуха, поступающего к забою тупиковой выработки по вентиляционному трубопроводу;
– Регулируемая выдержка времени на включение группового аппарата, питающего электроприемники подготовительной выработки с момента выдачи датчиком скорости воздуха сигнала о нормальном проветривании выработки;
– Автоматическое отключение группового аппарата с регулируемой выдержкой времени с момента выдачи датчиком скорости воздуха сигнала о нарушении нормального проветривания выработки, либо его отказа;
– Импульсное включение рабочего или резервного вентилятора местного проветривания ВМП, обеспечивающее плавное заполнение вентиляционного трубопровода воздухом;
– Местное или дистанционное управление рабочим или резервным ВМП;
– Визуализация через SCADA-системы сигналов о режиме проветривания, включенном и выключенном состоянии ВМП и группового аппарата, наличии напряжения питания в резервной сети;
– Функция самодиагностики и самоконтроля контроллера, входных и выходных сигналов;
– Пульт управления с LCD дисплеем для визуализации данных системы;
– Аппаратура автоматизации должна обладать высокой надежно-стью, так как отказ в системе местного проветривания мо-жет быть причиной взрыва или пожара.

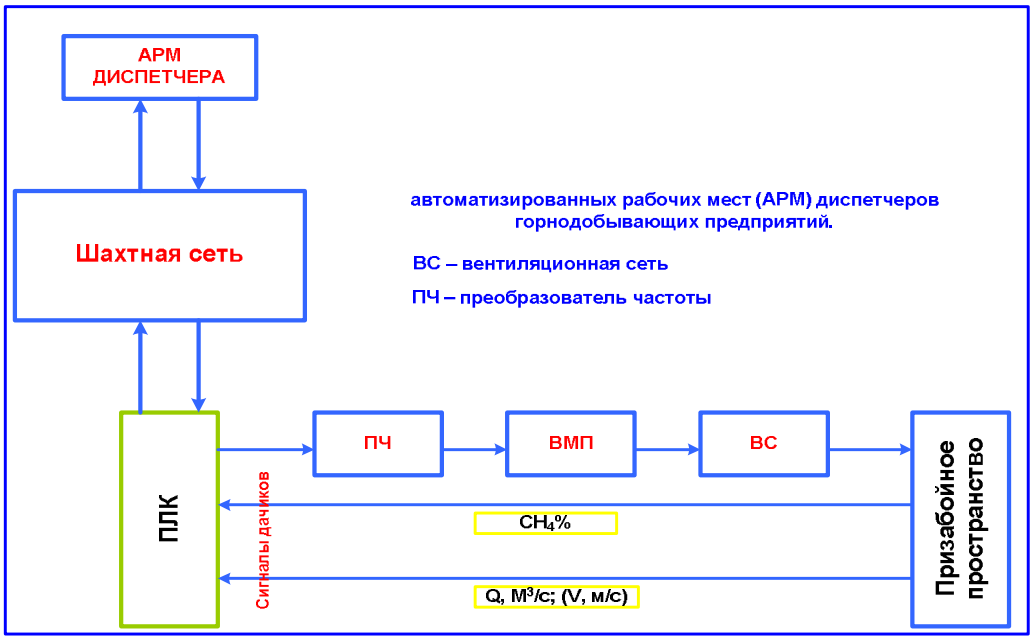


Рисунок 3 – Общая структурная схема предлагаемой системы автоматического управления ВМП

Модель относится к горной промышленности, в частности к системам автоматизации установок вентилятора местного проветривания и предназначена для оптимальной организации проветривания тупиковых горных выработок в угольных шахтах. Установка дополнительно содержит систему автоматического управления, включающую датчик количества воздуха, датчик метана, преобразователь частоты и напряжения питания, установленный между выходом пускателя и входными клеммами электродвигателя вентилятора местного проветривания, причем управляющий выход датчика количества воздуха связан со входом блока обработки данных, выход которого связан с управляющим входом преобразователя частоты и напряжения питания. Применение установки гарантирует надежность выхода вентилятора местного проветривания на расчетный режим подачи воздуха в забой проводимой

выработки, минимальное участие обслуживающего персонала в регулировке режимов и контроле поступающего воздуха, снижение расхода электроэнергии электроприводом вентилятора местного проветривания. При этом применение системы не исключает возможности грубой под регулировки режимов работы вентилятора местного проветривания поворотом лопаток направляющего аппарата, входящего в конструкцию каждого регулируемого вентилятора местного проветривания [9, 10].

Регулирование режимов работы вентилятора может быть оперативным только в случае применения средств автоматики, обеспечивающих быстрый и точный отбор данных по параметрам (количество воздуха, подаваемого трубопроводом к забою), быстрой и надежной обработки исходных данных, выработки решения по изменению параметров режимов работ вентиляторов местного проветривании и своевременной выдаче команды на исполнение. Система обеспечивает возможность автоматизированного управления шахтными вентиляторами главного проветривания при соблюдении всех нормативов безопасности, а также контроль технологических параметров работы вентиляторной установки.

Технический результат, достигаемый при решении поставленной задачи, выражается в обеспечении расчетной производительности вентилятора местного проветривания, работе вентилятора с оптимальной нагрузкой, высоким коэффициентом полезного действия и минимальным потреблением электроэнергии. Поставленная задача решается тем, что установка вентилятора местного проветривания, содержащая вентилятор местного проветривания, став трубопровода и пускатель вентилятора отличается тем, что дополнительно содержит систему автоматического управления, включающую датчик количества воздуха, преобразователь частоты и напряжения питания, установленный между выходом пускателя и входными клеммами электродвигателя вентилятора местного проветривания, причем управляющий выход датчика количества воздуха связан со входом блока обработки данных, выход которого связан с управляющим входом преобразователя частоты и напряжения питания.

Регулирования вентиляторных местного проветривания и человеко-машинные интерфейсы

На рисунке 4 приведена структурная схема системы автоматического управления процессом проветривания подготовительной выработки газовой шахты. Система двухуровневая – на верхнем уровне расположена подсистема мониторинга и диспетчерского управления, а на нижнем три подсистемы, соответствующие решаемым задачам управления: подсистема аэрогазового контроля параметров рудничной атмосферы в подготовительной выработке, подсистемы автоматического управления и мониторинга ВМП и подсистема автоматического разгазирования подготовительной выработки [11, 12, 15].

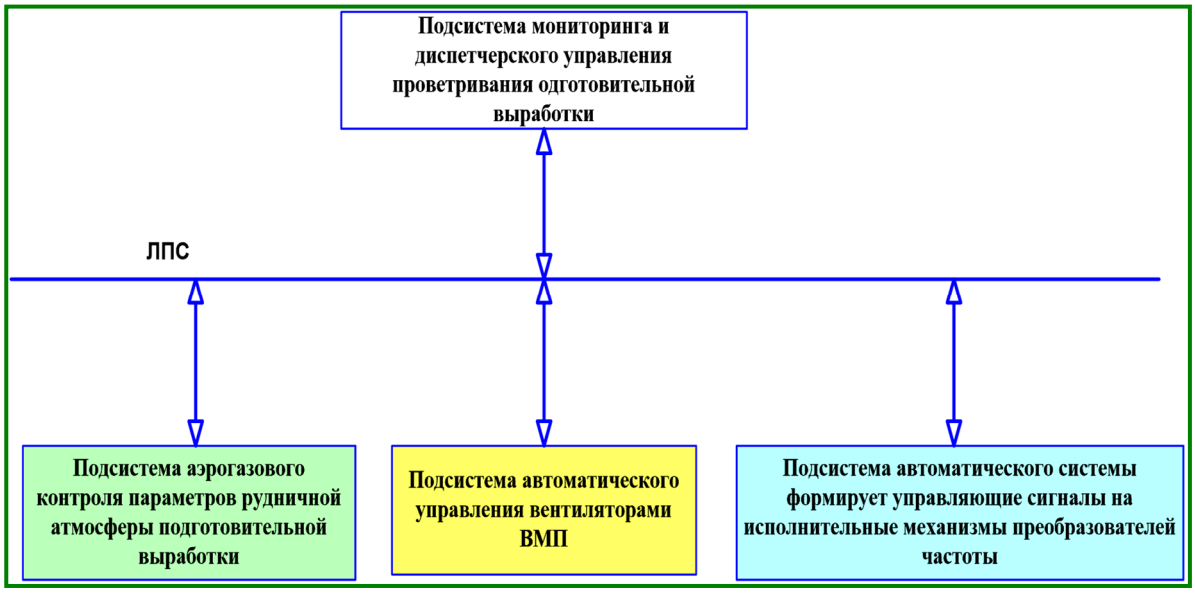


Рисунок 4 – Структурная система управления вентиляторами местного проветривания угольной шахты

Физическую и логическую связь между промышленными контроллерами (ПЛК -, ПЧ), измерительными преобразователями и исполнительными механизмами подсистем и их интеграцию в единую систему автоматического управления процессом проветривания подготовительной выработки обеспечивает локальная промышленная сеть (ЛПС) [15].

Подсистема мониторинга и диспетчерского управления – это программно-аппаратный комплекс диспетчера шахты для сбора, хранения и отображения информации в реальном времени о протекании и управлении процессом проветривания [15].

Установка вентилятора местного проветривания в системе проветривания проводимой выработки работает следующим образом. Производят установку базовых настроек по необходимой производительности вентилятора (Qp) и допустимым ограничениям этой производительности ($Q_{min}(t)$ и $Q_{max}(t)$).

Периодичность поверочного цикла при нормальном поступлении воздуха в призабойное пространство определяется вышеупомянутым интервалом считывания данных. Применение установки гарантирует надежность выхода вентилятора местного проветривания на расчетный режим подачи воздуха в забой проводимой выработки, минимальное участие обслуживающего персонала в регулировке режимов и контроле поступающего воздуха, снижение расхода электроэнергии электроприводом вентилятора местного проветривания. При этом применение системы не исключает возможности грубой подрегулировки режимов работы вентилятора местного проветривания поворотом лопаток направляющего аппарата, входящего в конструкцию каждого регулируемого вентилятора местного проветривания.

Установка вентилятора местного проветривания, содержащая вентилятор местного проветривания, став трубопровода и пускатель вентилятора, отличающаяся тем, что дополнительно содержит систему автоматического управления, включающую датчик количества воздуха, преобразователь частоты и напряжения питания, установленный между выходом пускателя и входными клеммами электродвигателя вентилятора местного проветривания, причем управляющий выход датчика количества воздуха связан со входом блока обработки данных, выход которого связан с управляющим входом преобразователя частоты и напряжения питания.

Требования к системе мониторингу и диспетчерского управления следующие:

– обеспечить обмен данными и обработку информации в реальном времени со всеми подсистемами системы автоматического управления процессом проветривания;

– обеспечить информацией диспетчера шахты о состоянии вентиляторов ВМП (включены – выключены, наличие напряжения питания) подача вентилятора (скорость воздуха в подающем воздухопроводе); снятии блокировки на включении группового аппарата системы электроснабжения подготовительной выработки;

– обработка и отображение информации в табличном и графическом виде на мнемонике, мониторе или панелях визуализации;

– ведение базы данных с технологической информацией, ее архивирование и резервирование;

– управление рабочим и резервным вентиляторами ВМП (включить – выключить, изменять режим работы).

Подсистема аэрогазового контроля параметров рудничной атмосферы в вентиляторе местного проветривания предназначена для непрерывного местного и централизованного контроля величин скорости воздуха и метана в горной выработке, выдачи сигнала на автоматическое отключение электрической энергии контролируемого объекта при достижении предельно допустимой концентрации метана. Требования к подсистеме аэрогазового контроля параметров рудничной атмосферы подготовительной выработки формируются в соответствии с требованиями правил безопасности в угольных шахтах и инструкции по контролю состава рудничного воздуха, определению газообильности и установлению категорий шахт по метану. Требования, следующие:

Обеспечение контроля содержания метана стационарной аппаратурой в следующих местах:

– у ВМП с электрическими двигателями при разработке пластов, опасных по внезапным выбросам, а также при установке вентиляторов в выработках с исходящей струей воздуха из очистных [4, 5, 6, 8, 9, 10, 16].

Подсистема автоматического управления вентиляторами ВМП предназначена для управления вентиляторами местного проветривания ВМП и отключения электроснабжения электропотребителей, как возможного источника инициирования взрыва метано-воздушной среды, при отклонении от заданного режима проветривания подготовительной выработки. Требования к подсистемы автоматического управления вентиляторами ВМП:

1. Обеспечить включение рабочего или резервного ВМП при плавном заполнение вентиляционного трубопровода воздухом.

2. Обеспечить автоматическое включение резервного ВМП при отключении рабочего ВМП, тем самым обеспечить непрерывность подачи воздуха в тупиковую выработку.

3. Обеспечить выдержку времени на подачу напряжения к электроприемникам тупикового забоя после включения вентилятора ВМП с момента выдачи датчиком скорости воздуха сигнала о нормальном проветривании выработки.

4. Отключение электроэнергии от электроприемников тупиковой выработке при нарушении процесса проветривания или отключении вентилятора ВМП.

5. Обеспечить управление вентилятором ВМП с диспетчерского пункта шахты.

6. Обеспечить местную световую сигнализацию и информацией диспетчера шахты о работе вентиляторы ВМП, о снижении скорости воздуха, подаваемого к забою, до величины, меньшей заданной установки, наличии напряжения в резервной сети, снятии блокировки на включении группового аппарата.

7. Автоматическое регулирование режима работы вентилятора ВМП.

Настройка оборудования в SIMATIC STEP 7»

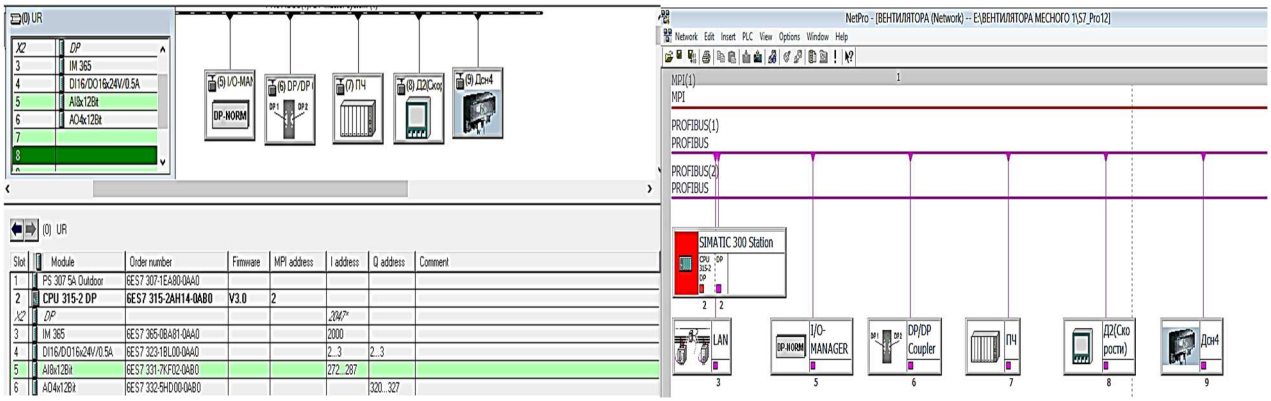
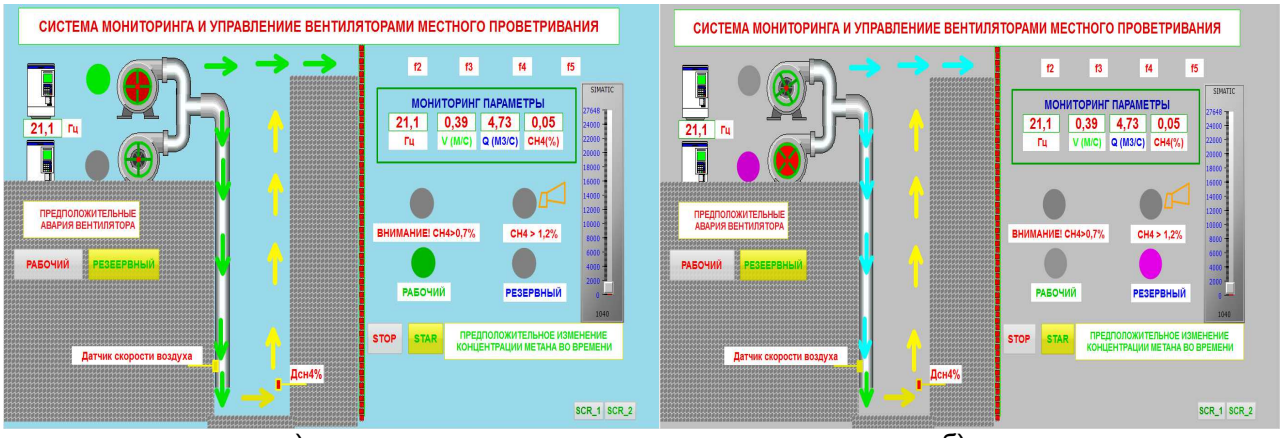


Рисунок 5 – Окна станции, открытого утилитой конфигурирования оборудования Hardware Configuration

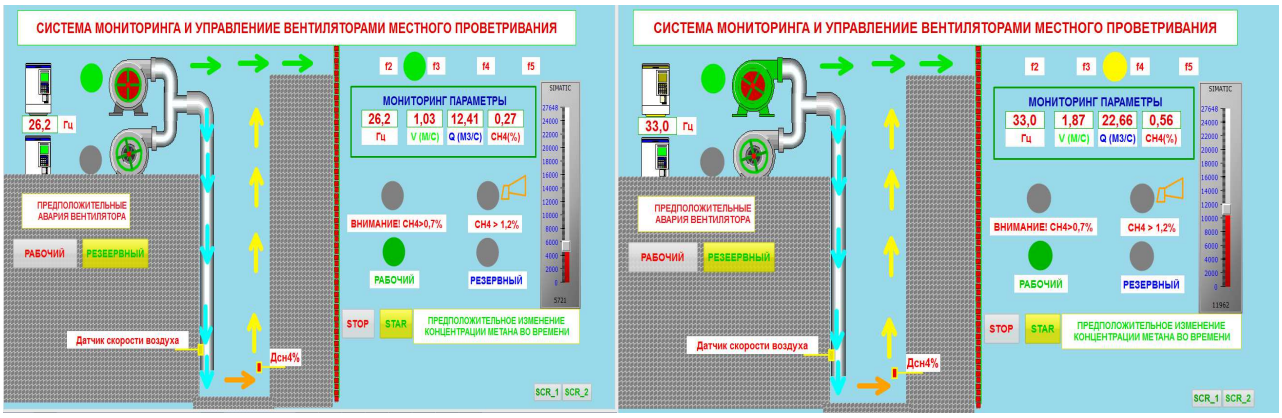
Результат модели системы управления и мониторинга автоматизированного частотно-регулируемого электропривода вентилятора местного проветривания в шахте Мао Хе (Вьетнам) в соответствии с концентрацией метана.



а) б)

а) – рабочий вентилятор;

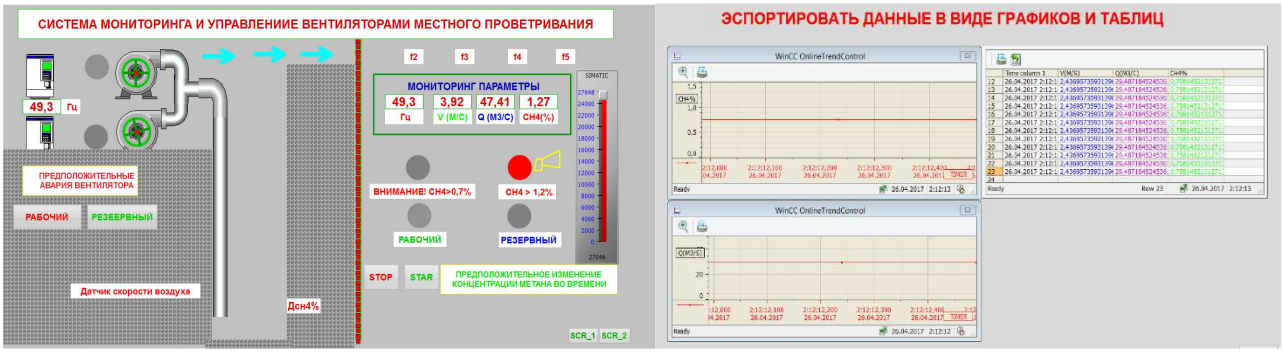
б) – когда рабочая авария вентилятора, резервный вентилятор автоматически работать



в) г)

в), г) – когда концентрация метана увеличивается, скорость двигателя автоматически увеличивается

Рисунок 6 – Модель системы управления и мониторинга автоматизированного частотно-регулируемого электропривода вентилятора местного проветривания в шахте Мао Хе (Вьетнам) в соответствии с концентрацией метана



д) е)

д) – концентрация метана больше, чем 1,2 система автоматического отключения напряжения. Индикатор «Работа» красным и звенит колокол; е) – делают экспорт данных, с показаниями в реальном времени

Окончание рисунка 6 – Модель системы управления и мониторинга автоматизированного частотно-регулируемого электропривода вентилятора местного проветривания в шахте Мао Хе (Вьетнам) в соответствии с концентрацией метана

Заключение

Система мониторинга и автоматизированное управление вентиляции дает следующие положительные эффекты:

1. Снижение затрат на содержание персонала (за счет снижения трудоемкости обслуживания системы вентиляции.
2. Система автоматического управления вентиляцией также может автоматически управлять сетью сплит-систем, установленных в центре мониторинга и имеющих стандартные порты для соответствующего удаленного управления, например по протоколу Modbus.
3. При определенном пороге сложности требований к системе приточной, приточно-вытяжной вентиляции для её автоматизации оптимальным решением применение программируемых контроллеров (ПЛК).
4. Обеспечить необходимую скорость автоматического управления двигателя изменяется в зависимости от концентрации метана.
5. Контроллер управления вентилятором требуется, как минимум когда включение и выключение вентилятора осуществляется по какому-либо повторяющемуся программы управления, связанному с различными изменяющимися условиями: когда концентрация метана большее чем 1,2 %.
6. Система непрерывного мониторинга концентрация метана в вентиляционной системе шахты элементов систем мониторинг (SCADA) ведется в единой инструментальной среде WiCC V7.4. Программное обеспечение представляет собой клиент-серверное приложение с выводом информации в браузер. Диспетчеры заходят под своими аккаунтами в систему и смотрят графики, делают экспорт данных, просматривают мнемосхему с показаниями в реальном времени.

Литературы

1. Темкин И.О., До Чи Тхань. Формирование базы знаний интеллектуальной системы управления аэрогазодинамическими процессами в угольных шахтах. – 2016. – № 3. – С. 84.
2. Темкин И.О., До Чи Тхань, Агабубаев А. Повышение безопасности ведения горных работ в метанообильных шахтах Вьетнама с использованием моделей прогнозной аналитики. – 2017. – № 8-2017. – С. 142–152.
3. Темкин И.О., До Чи Тхань, Агабубаев А. Использование искусственных нейронных сетей для прогнозирования концентрации метана в шахтах Вьетнама // Труды международного симпозиума «Неделя Горняка» (Москва, 27—31 января 2017 г.).
4. Буй Вьет Хынг, Ковалев О.В. Определение необходимости дегазации метана в шахте Хечам во Вьетнаме // Труды 11-ой международной научно-практической конференции. Воркута, 11–12 апреля 2013 г. – Воркута, 2013. – С. 275–278.
5. Нгуен Тат Тханг. Гидрогеохимическое процессы и эволюция минерального и газового состава подземных вод угольного месторождения Маохе (северовосток Вьетнама) : дис. … канд. техн. наук: 25.00.07 / Нгуен Тат Тханг. – СПБ., 2016. – С. 10.
6. Нгуен Тьен Бао. Геологические условия метаморфизма углей и газоносностиугольных бассейнов и месторождений Вьетнама : дис. ... докт. техн. наук: 04.00.16/ Нгуен Тьен Бао. – М., 1991. – 13 с.
7. Нгуен Хиу Хоа. Исследование определения сопротивление выработки на типичных шахтах Куангиньского района : дис. ... маги. техн. наук: 06.53.05/ Нгуен Хиу Хоа. – Ханой., 2007. – 44 с.
8. Отчёт о состояния работ вентиляции угольных подземных шахт корпорации VINACOMIN 2014 г. – Куангнинь, 2014. – 14 с.
9. Маслов И.П. Система управления частотно-регулируемым асинхронным электроприводом вентилятора

местного проветривания угольных шахт : дис. … канд. тех. наук. – Кемерово, 2014. – 160 с.
10. Маслов И.П. Исследование многокритериальной системы автоматического управления шахтным вентилятором местного проветривания / И.П. Маслов, И.Ю. Семыкина, А.В. Киселев, А.Э. Евстратов // Горный информационно- аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – ОВ № 9. – С. 31.
11. URL : https://xreferat.com/33/2874-1-razrabotka-cheloveko-mashinnogo-interfeiysa-v-graphworx32.html
12. URL : http://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/TechLibrary/SolutionGuide/8-HMI.pdf
13. URL : www.siemens.ru/automation
14. URL : http://www.aqad.ru/index.php?tree=1000000&tree2=9990284&tree3=9109999
15. URL : https://studopedia.su/14_8677_struktura-sistemi-avtomaticheskogo-upravleniya-protsessom-provetrivaniya-podgotovitelnoy-virabotki-gazovoy-shahti.html
16. URL : http://www.studfiles.ru/preview/5680417/page:2/
17. URL : http://sdamzavas.net/2-22293.html

References

1. Temkin I.O., Do Chi Thanh. The formation of the knowledge base of an intelligent control system for aerodynamic processes in coal mines. – 2016. – № 3. – P. 84.
2. Temkin I.O., Do Chi Thanh, Agabubaev A. Improving the safety of mining in methane-rich mines of Vietnam using forecast forecasting models. – 2017. – № 8-2017. – P. 142–152.
3. Temkin I.O., Do Chi Thanh, Agabubaev A. The use of artificial neural networks to predict the concentration of methane in mines in Vietnam // Proceedings of the international symposium «Miner's Week» (Moscow, January 27–31, 2017).
4. Bui Viet Hung, Kovalev O.V. Determining the need for methane degassing in the Khekham mine in Vietnam // Proceedings of the 11th international scientific-practical conference. Vorkuta, April 11–12, 2013. – Vorkuta, 2013. – P. 275–278.
5. Nguyen Tat Thang. Hydrogeochemical processes and the evolution of the mineral and gas composition of groundwater in the Maohe coal deposit (northeastern Vietnam) : dis. ... cand. tech. Sciences: 25.00.07 / Nguyen Tat Thang. – SPb., 2016. – P. 10.
6. Nguyen Tien Bao. Geological conditions of metamorphism of coal and gas-bearing basins and deposits of Vietnam : Dis. ... doct. tech. Science: 04.00.16 / Nguyen Tien Bao. – M., 1991. – 13 p.
7. Nguyen Hiu Hoa. Study of determining the resistance of a mine to typical mines of the Kuangin region : Dis. .. magicians. Technical Science: 06.53.05 / Nguyen Hiu Hoa. – Hanoi, 2007. – 44 p.
8. Report on the status of the ventilation of underground coal mines of the corporation VINACOMIN 2014. – Quang Nin, 2014. – 14 p.
9. Maslov I.P. A control system for a frequency-controlled asynchronous electric drive for local ventilation of coal mines : Dis. ... cand. those. Sciences. – Kemerovo, 2014. – 160 p.
10. Maslov I.P. Study of a multi-criteria automatic control system for a mine fan of local ventilation / I.P. Maslov, I.Yu. Semykina, A.V. Kiselev, A.E. Evstratov // Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2014. – OV № 9. – P. 31.
11. URL : https: //xreferat.com/33/2874-1-razrabotka-cheloveko-mashinnogo-interfeiysa-v-graphworx32.html
12. URL : http: //www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/TechLibrary/SolutionGuide/8-HMI.pdf
13. URL : www.siemens.ru/automation
14. URL : http: //www.aqad.ru/index.php? Tree = 1000000 & tree2 = 9990284 & tree3 = 9109999
15. URL : https: //studopedia.su/14_8677_struktura-sistemi-avtomaticheskogo-upravleniya-protsessom-provetrivaniya-podgotovitelnoy-virabotki-gazovoy-shahti.html
16. URL : http://www.studfiles.ru/preview/5680417/page:2/
17. URL : http: //sdamzavas.net/2-22293.htm

УДК 629.063.2

ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕНИЯ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЁННЫХ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ РЕГИОНОВ РОССИИ С ПОМОЩЬЮ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

●●●●●●

POSSIBILITIES FOR EXPANDING THE GAS SUPPLY SYSTEM REMOTE COMMUNITIES OF THE REGIONS OF RUSSIA USING AUTONOMOUS GAS SUPPLY SYSTEM

Шиян Станислав Иванович
кандидат технических наук,
доцент кафедры оборудования
нефтяных и газовых промыслов,
Кубанский государственный
технологический университет
akngs@mail.ru

Дунаев Владислав Игоревич
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры оборудования
нефтяных и газовых промыслов,
Кубанский государственный
технологический университет
dunaevatv@mail.ru

Терещенко Иван Анатольевич
старший преподаватель
кафедры оборудования
нефтяных и газовых промыслов,
Кубанский государственный
технологический университет
ongptr@mail.ru

Лешкович Надежда Михайловна
старший преподаватель
кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет
NLeshkovich@bk.ru

Аннотация. Статья посвящена возможностям расширения системы газоснабжения удалённых населённых пунктов путём создания автономных систем газоснабжения, для ускорения подачи газа потребителям. Разработка автономных систем газоснабжения удалённых населённых пунктов с применением передвижных автогазозаправщиков как на постоянной основе, так и по временной схеме до подключения к магистральной системе газопроводов позволит значительно расширить возможности газоснабжения, ускорить подачу газа потребителям и получить экономический эффект от внедрения данной технологии.

Ключевые слова: автономные системы, газоснабжение, передвижные автогазозаправщики.

Shiyan Stanislav Ivanovich
Candidate of technical sciences,
Associate Professor
of Oil and gas field equipment,
Kuban state technological university
akngs@mail.ru

Dunaev Vladislav Igorevich
Doctor of physical and mathematical Sciences,
Professor of Oil and gas field equipment,
Kuban state university of technology
dunaevatv@mail.ru

Tereshchenko Ivan Anatolyevich
Senior lecturer of Oil and gas field equipment,
Kuban state university of technology
ongptr@mail.ru

Leshkovich Nadezhda Mikhailovna
Senior lecturer
of oil and gas engineering department
named after professor G.T. Vartumyan,
Kuban state technological university
NLeshkovich@bk.ru

Annotation. The article is devoted to the possibilities of expanding the gas supply system in remote localities by creating Autonomous gas supply systems to accelerate the supply of gas to consumers. The development of Autonomous gas supply systems for remote localities with the use of mobile gas tankers both on a permanent basis and on a temporary basis before connecting to the main gas pipeline system will significantly expand the possibilities of gas supply, accelerate the delivery of gas to consumers and obtain economic benefits from the introduction of this technology.

Keywords: autonomous systems, gas supply, mobile gas tankers.

Сложилась многолетняя практика первоочередной газификации населения пунктов, которые расположены в непосредственной близости к газотранспортной системе, что позволяет при минимальных затратах в строительство газопроводов-отводов газифицировать возможно большее число потребителей, при этом предпочтение отдаётся городам и посёлкам городского типа из-за

меньших затрат на сетевое строительство по сравнению с газификаций сельских населённых пунктов. Подобная ситуация не способствует решению проблемы снабжения газом удалённых потребителей. Подача газа осуществляется населённым пунктам, расположенным в радиусе не более 20–25 км от газотранспортных систем. В связи с этим обширные зоны в регионах не охвачены системами газификации. Кроме того, на стыках областей газификация затруднена даже при наличии газотранспортных систем – из-за лимитирования подачи газа.

Учитывая вышеизложенное, в соответствии с Поручением Правительства РФ выполняются работы по реализации программ газификации субъектов РФ и обеспечению разработки программ развития газоснабжения и газификации регионов РФ на период 2021–2025 годов на основе подтвержденных администрациями регионов перспективных объёмов газопотребления и планов по обеспечению подготовки потребителей к приему газа. В результате работы уровень газификации России стабильно увеличивается и на 1 января 2020 года достиг 68,6 % (рост на 15,3 п.п. по сравнению с 2005 годом). В 2019 году программой газификации охвачено 66 субъектов РФ. В настоящее время около 530 объектов (газопроводы и газораспределительные станции) находятся в стадии строительства, еще около 570 – в стадии проектирования. По итогам года планируется завершить строительство порядка 1700 км газопроводов Рр 0,3–1,2 МПа. Кроме того, выполняется корректировка генеральных схем развития газоснабжения и газификации девяти субъектов РФ: республик Дагестан и Башкортостан, Чеченской Республики, Ивановской, Курганской, Омской, Смоленской, Томской и Ярославской областей.

Работы по газификации компания ПАО «Газпром» ведёт в тесном взаимодействии с органами власти субъектов РФ по пятилетним программам развития газоснабжения и газификации для каждого субъекта РФ. В настоящее время реализуются программы, рассчитанные на 2016–2020 годы.

Но газификация только путем строительства локальных газопроводов-отводов не обеспечивает достаточную надежность газоснабжения в периоды пиковых похолоданий, при которых интенсивный газоотбор городами и промышленными предприятиями приводит к недоподаче газа тупиковым потребителям. По официальным данным в настоящее время потери производства в газифицированных районах в периоды пиковых похолоданий составляют около 120 млрд руб. в год.

Газификация многих объектов запланирована на несколько лет вперёд, но потребители нуждаются в голубом топливе уже сейчас.

Решение этой проблемы возможно с разработкой автономных систем газоснабжения населённых пунктов с применением передвижных автогазозаправщиков как на постоянной основе, так и по временной схеме до подключения к магистральной системе газоснабжения. При этом создаются необходимая инфраструктура и объекты газоснабжения, которые сразу включаются в работу, создавая новые рабочие места, точки роста экономики и окупая при этом издержки по обслуживанию системы газоснабжения.

В последние годы в стране значительно расширилась сеть автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), что создаёт предпосылки для использования в целях газоснабжения потребителей, как альтернативу подаче газа по газопроводам-отводам, передвижных автогазозаправщиков (ПАГЗ) и газоаккумулирующих установок (ГАУ), размещаемых непосредственно у потребителя. При этом газозаправщики, загружаясь на АГНКС, совершают регулярные рейсы к потребителям, где они могут разгружаться непосредственно в сеть низкого давления или в газоаккумулирующие ёмкости. Принципиальная схема комплекса ПАГЗ + ГАУ показана на рисунке 1.

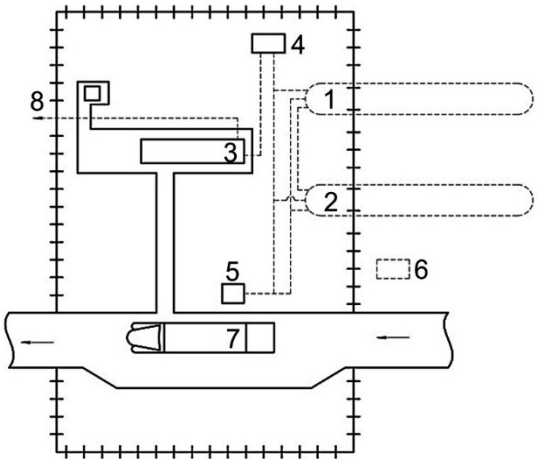


Рисунок 1 – Принципиальная схема ПАГЗ + ГАУ:
1 и 2 – секции ГАУ с рабочим давлением соответственно 7,5 и 1,6 МПа; 3 – узел редуцирования газа; 4 – узел подогрева газа; 5 – узел приёма газа с автозаправщиков; 6 – ёмкость для сбора конденсата; 7 – площадка стоянки ПАГЗ; 8 – выход газа потребителям

Газоаккумулирующую установку предлагается создать из двух секций, выполняемых из труб большого диаметра. В первой из них рабочее давление принято равным 7,5 МПа, во второй – 1,6 МПа. Увеличение давления во второй секции приводит к повышению остаточного давления в ПАГЗ и, следовательно, к увеличению объёма буферного газа, а уменьшение давления во второй секции приводит к увеличению её длины и металлоёмкости. Рассмотрены варианты общего объёма газа в ГАУ, равного одно-семисуточному запасу. Однако в каждом конкретном случае резерв газа необходимо определить с учётом важности сельскохозяйственного производства, наличия других источников энергии и прочих факторов.

Работу газоаккумулирующей установки можно условно разделить нач два этапа. На первом из них заполнение ГАУ производится без выдачи газа потребителю (при подготовке к зимнему сезону, первоначальном заполнении после окончания строительства и т.д.). После ПАГЗа газ распределяется на два потока: первый – идёт на заполнении секции с давлением 7,5 МПа, второй – на секцию с низким давлением 1,6 МПа. При этом создаётся резерв газа в обеих секциях. Необходимо отметить, что оператор может регулировать режим очередности заполнения секций. Заполнение ГАУ прекращается после того, как в каждой из секций устанавливается соответствующее рабочее давление. Второй этап связан с подачей газа потребителю, которая может осуществляться как из секций, так и одновременно из ПАГЗа и секций. При перебоях в работе ПАГЗа или АГНКС подача газа потребителю производится исключительно из секций ГАУ. В основном отбор газа производится из секций с низким давлением. Далее, по мере падения давления в данной секции, происходит её подпитка из секции высокого давления.

При оценке экономической целесообразности использования ПАГЗов для газоснабжения потребителей определение только лишь абсолютной их эффективности не способно в полной мере отразить преимущества данного способа газоснабжения. Более полную характеристику в данном случае даёт определение относительной эффективности при сравнении с альтернативным вариантом – газоснабжение с помощью газопроводов-отводов.

Сопоставление вариантов выполнено по критерию минимума приведенных затрат на 1000 м³ транспортируемого газа дифференцированно при различной протяженности отводов и маршрутах ПАГЗ, а также объёмах газопотребления. В результате сравнения был определён укрупненный оценочный критерий – расстояние потребителя от источника газа с учётом потребности в газе, при котором использование ПАГЗ становится экономически выгодным.

При сравнении были рассмотрены два варианта по типам ПАГЗов: I вариант – ПАГЗ-4300 и II вариант – ПАГЗ-5000. Расчёты производились на основании определения производительности ПАГЗов, их числа в зависимости от протяженности маршрута и объёма газопотребления. Стоимость труб для ГАУ рассчитана для трехсуточного запаса газа. Это позволило определить зоны эффективного применения комплекса ПАГЗ + ГАУ по сравнению с газопроводами-отводами дифференцированно по объёмам газопотребления и расстояниям до потребителей.

Для ПАГЗ-5000 (рисунок 2, а) предпочтительно применение на расстояние более 25 км при объёмах газопотребления до 4,2 млн м³/год. При больших объёмах интервал применения ПАГЗ сокращается и при объёме свыше 9,8 млн м³/год предпочтение следует отдавать газопроводам-отводам. При использовании ПАГЗ-4300 (рисунок 2, б) для малых объёмов газопотребления интервал его использования несколько расширяется по сравнению с ПАГЗ-5000 и при Q до 4,2 млн м³/год нижняя граница колеблется от 9 до 20 км. При больших объёмах зона применения рассматриваемого ПАГЗ сужается и при Q свыше 7,5 млн м³/год его использование нецелесообразно. Следует отметить, что при малых объёмах газопотребления (до 3,6 млн м³/год) принятым для расчёта числом ПАГЗов (1 шт.) можно обслуживать несколько потребителей при незначительном увеличении удельных приведённых затрат, что доказывает ещё большую эффективность применения ПАГЗа по сравнению с газопроводом-отводом.

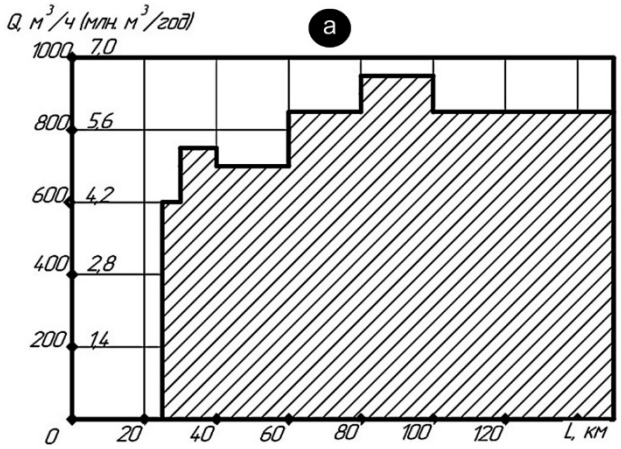
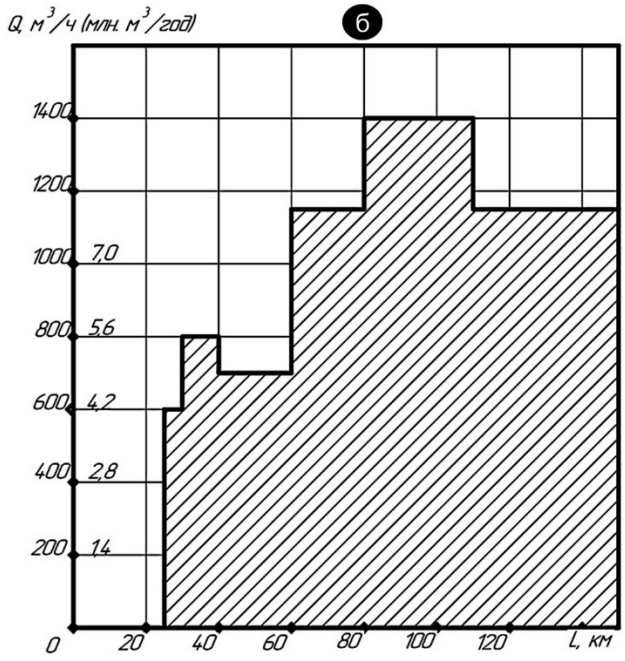


Рисунок 2 – Зоны эффективного применения ПАГЗ-5000 (а) и ПАГЗ-4300 (б)



Окончание рисунка 2 – Зоны эффективного применения ПАГЗ-5000 (а) и ПАГЗ-4300 (б)

Необходимо принимать во внимание, что предложенные оценочные критерии применимы только на стадии предварительного выбора способа газоснабжения, а для каждого конкретного потребителя необходим более точный расчёт с учётом его индивидуальных особенностей.

Использование передвижных автогазозаправщиков в комплексе с газоаккумулирующими ёмкостями позволит ускорить решение проблемы газификации рассредоточенных потребителей. Преимущества данного варианта газоснабжения особенно выражены при газификации потребителей в горной местности, где наиболее затрудненно строительство газопроводов-отводов.

К настоящему времени разработан проект опытно-промышленной установки газоснабжения посёлка с населением порядка 2000 человек, опыт эксплуатации которой позволит на практике отработать технологию использования ПАГЗ.

Литература

1. Ишутин Н.А., Осередько Ю.С., Емец В.В., Шиян С.И. Возможности расширения системы газоснабжения сельских потребителей // Газовая промышленность. – 1990. – № 3. – С. 13–15.
2. Пивнов В.П., Пивнова М.А. Логистические принципы в системе газоснабжения региона // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 5. – С. 181–186.
3. Семенищев С.П., Килин П.Г. Передвижной автогазозаправщик ПАГЗ 4300-24,5 // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 6 (30). – С. 30–31.
4. Газораспределительные системы : СНиП 42-01-2002.
5. Общее положение по проектированию и строительству газораспределительных систем из стальных и полиэтиленовых труб : СП 42-101-2003.
6. Проектирование и строительство газопроводов из металлических труб : СП 42-102-2003.
7. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления : ПБ 12-259-03.

References

1. Ishutin N.A., Oseredko Yu.S., Emets V.V., Shiyan S.I. Possibilities of the rural consumers gas supply system expansion // Gas industry. – 1990. – № 3. – P. 13–15.
2. Pivnov V.P., Pivnova M.A. Logistical principles in gas supply system of region // Bulatovskie readings. – 2019. – Vol. 5. – P. 181–186.
3. Semenischev S.P., Kilin P.G. Mobile autogas refueler PAGZ 4300-24,5 // Alternative fuel transport. – 2012. – № 6 (30). – P. 30–31.
4. Gas distribution systems : SNIP 42-01-2002.
5. General position on design and construction of gas distribution systems from steel and polyethylene pipes : SP 42-101-2003.
6. Design and construction of gas distribution systems made of metal pipes : SP 42-102-2003. 6.
7. Safety rules for gas distribution and gas consumption systems : PB 12-259-03.

УДК 658.26:621.31.031-047.72

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ НЕРИТМИЧНО РАБОТАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

●●●●●●

POWER FORECASTING FOR AN OCCASIONALLY OPERATING COMPANY

Шутов Евгений Алексеевич
кандидат технических наук,
доцент отделения Электроэнергетики
и электротехники инженерной школы энергетики,
Томского политехнического университета
shutov@tpu.ru

Капустина Елена Дмитриевна
магистрант отделения Электроэнергетики
и электротехники инженерной школы энергетики,
Томского политехнического университета
Edk4@tpu.ru

Аннотация.
Предмет. В настоящее время для крупных потребителей большое значение уделяется построению качественного прогноза, так как планирование позволяет сократить издержки на покупку электроэнергии.
Цели. Исследование эффективности способов прогнозирования электроэнергии. Внедрение системы прогнозирования на предприятие с неритмичным режимом работы для повышения экономической эффективности.
Методология. В ходе исследования были использован экспериментальный метод для построения прогноза при помощи компьютерной модели.
Результаты. Исследование показало, что для построения краткосрочного прогноза наиболее экономически-эффективным способом является метод однофакторного одиночного прогнозирования с помощью искусственных нейронных сетей, а для среднесрочного – метод деревьев классификации и регрессии.
Выводы. В ходе исследования был сделан вывод о важности снижения ошибки прогнозирования, так как ее уменьшение на 1 % позволяет предприятию экономить примерно 1 млн руб. в год. Основная особенность предприятия – неритмичность работы. Данную специфику наиболее точно отображают искусственные нейронные сети, которые показали самую низкую относительную ошибку прогноза на сутки вперёд. Для более длительного прогноза наиболее подходящим является метод деревьев регрессии и классификации, учитывающий также портфель заказов.

Ключевые слова: потребление электроэнергии, прогнозирование электропотребления, искусственные нейронные сети, скользящее среднее, линейная регрессия.

Shutov Evgeny Alekseevich
Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor
in the electric power department
and electrical engineers
of the Power Engineering School,
Tomsk polytechnic university
shutov@tpu.ru

Kapustina Elena Dmitrievna
Graduate student of power engineering
and electrical engineers
at the Power Engineering School,
Tomsk polytechnic university
Edk4@tpu.ru

Annotation.
Subject. At present, for large consumers, great importance is attached to the construction of high-quality prognosis, as planning allows reducing the cost of buying electricity.
Objectives. Research of efficiency of methods of forecasting of electric power. Introduction of a forecasting system for an enterprise with an unusual mode of operation to improve economic efficiency.
Methodology. In the course of the research, an experimental method was used to make a forecast using a computer model.
Results. The study showed that the most cost-effective way to build short-term forecasts is to use one-factor single forecast using artificial neural networks, and in the medium term - the method of classification and regression trees.
Conclusions. The study concluded that it is important to reduce the forecast error, as its reduction by 1% allows the company to save about 1 million rubles per year. The main peculiarity of the enterprise is rhythmicity of the raboot. This specificity is most accurately reflected by artificial neural networks which showed the lowest relative error of forecast for the day ahead. For a longer forecast, the regression and classification tree method, which also takes into account the order portfolio, is the most suitable.

Keywords: power consumption, electricity consumption forecasting, artificial neural networks, moving average, linear regression.

После возникновения оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ) для крупных потребителей появилась необходимость в создании системы прогнозирования максимальных почасовых объемов электроэнергии (э/э), а также [1, 2, 3]. Стоимость э/э складывается из стоимости потребленного объема и оплаты за отклонение от прогноза (переход предприятия на балансирующий рынок) [4]. Поэтому для потребителя важно снижать ошибку прогноза, тем самым уменьшать издержки производства.

Для исследования были использованы работы [5, 6, 7, 8], в которых сравниваются различные методы прогнозирования. В данной статье были изучены методы: авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС), искусственных нейронных сетей (ИНС), деревьев классификации и регрессии.

Метод АРПСС наиболее применим для цикличных исходных данных, поэтому необходимо отбирать наиболее похожие временные интервалы [9]. Метод ИНС позволяет работать со стохастичными данными, так как сети можно обучать [10]. Деревья классификации и регрессии позволяют строить прогнозы на основе нескольких категорий данных, что позволяет строить наиболее точные модели [11].

На рисунке 1 представлены данные почасового потребления за сутки, на рисунке 2 – данные месячного потребления, на которых отчетлива прослеживается цикличность.

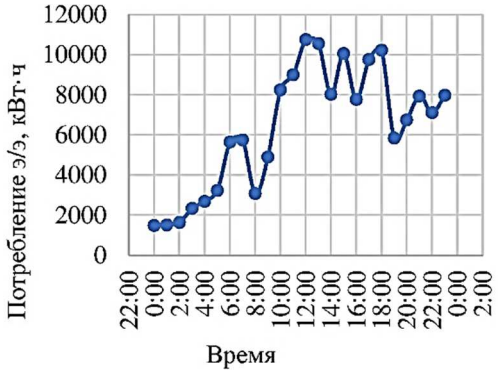


Рисунок 1

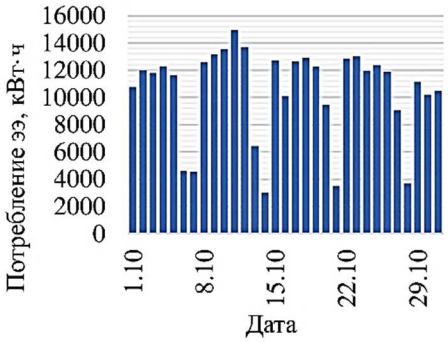


Рисунок 2

Метод АРПСС

Исходные данные являются стохастичными, поэтому выполнен анализ исходных данных (автокорреляционная (АКФ) и частная автокорреляционная (ЧАКФ) функции), выбор прогнозных моделей, добавлена сезонная составляющая. С учетом данных преобразований построен прогноз на сутки вперед, а также проведена проверка гипотезы о нормальности распределения прогнозных данных, ряда остатков, а также вычислена относительная ошибка прогноза [9] (MAPE) (1):

$$MAPE = \frac{100}{L}\sum_{t=1}^{L}\left|\frac{X_t - \dot{X}_t}{X_t}\right|, \quad (1)$$

где X_t – фактическое значение, $\dot{X}_t$ – значение прогноза, L – количество шагов.

Для данного прогноза относительная ошибка составила 13,66 %.

Если 0 % ≤ MAPE ≤ 10 % – высокая точность прогноза, 10 % < MAPE ≤ 20 % – хорошая, 20 % < MAPE ≤ 50 % – удовлетворительная.

Метод ИНС

Анализ проводился с помощью регрессионного анализа временных рядов. После завершения процедуры обучения многослойного персептрона (МСП) выбрана лучшая сеть по производительности. Для оценки качества прогноза проанализированы нормальный вероятностный график остатков, гистограмма распределения остатков, а также нормальный вероятностный график Производительность модели составила 99,41 %.

Два метода прогноза были сравнены по относительной ошибке, а также визуально (рис. 3). Метод – ИНС имеет меньшую погрешность, равную 1,88 %, следовательно, является наиболее экономически выгодным.

Рисунок 3 – Сравнение фактических и предсказанных объемов потребления э/э

Одномерные модели не учитывают множество факторов, влияющих на потребление электроэнергии, именно поэтому в данной работе исследовано и многофакторное прогнозирование (в данной работе дерево регрессии и классификации) [13]. С помощью программы Statistica были определены наиболее значительные факторы («Литье СЧ-15», «Чушковый чугун», «Жидкое литье», «Количество

плавок») и построено дерево классификации и регрессии (рис. 4), для которого оценивалось качество прогноза по гистограмме распределения остатков, нормальному вероятностному графику, а также сравнивалось с фактическим значением (рис. 5). Средняя относительная ошибка в месяц составила 1,49 %.

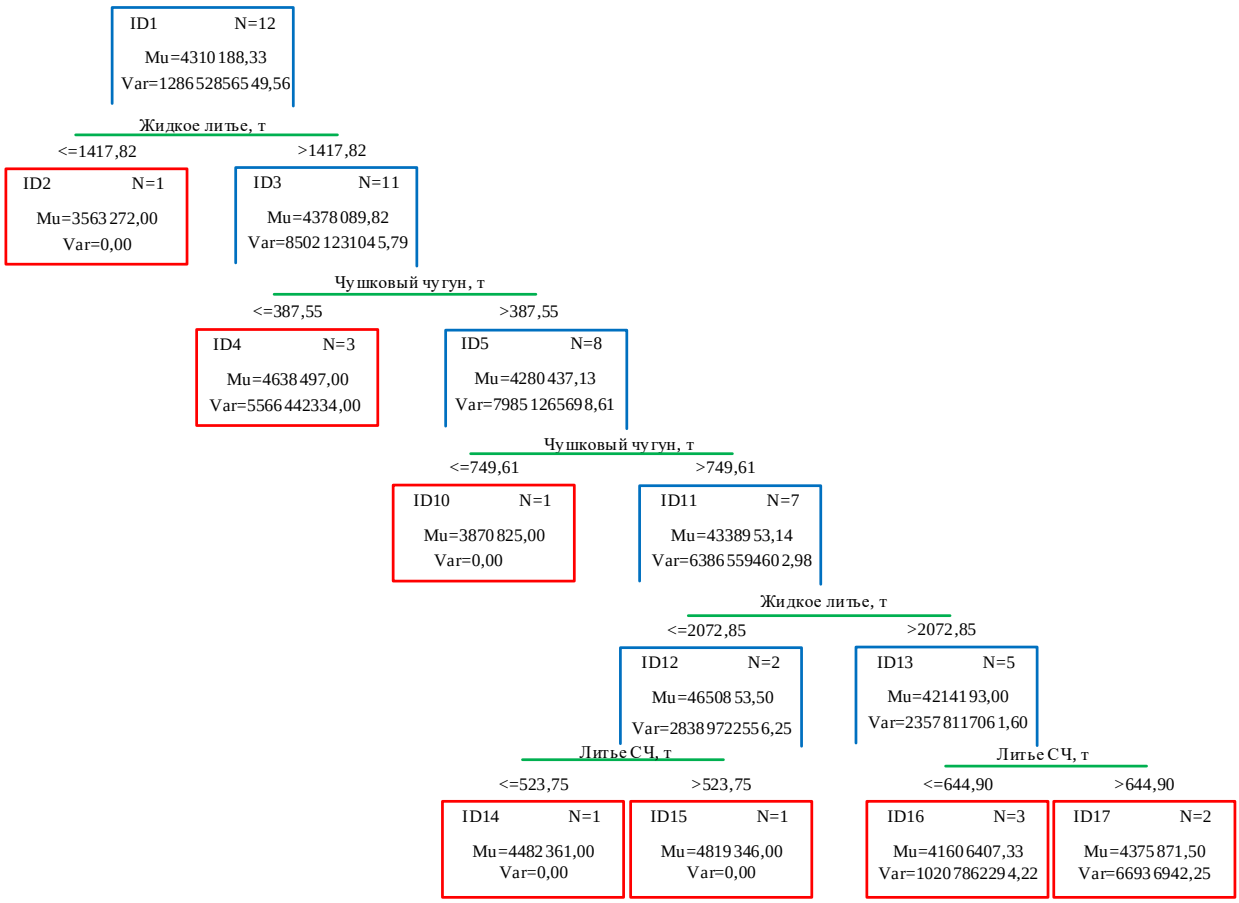


Рисунок 4 – Дерево классификации № 6

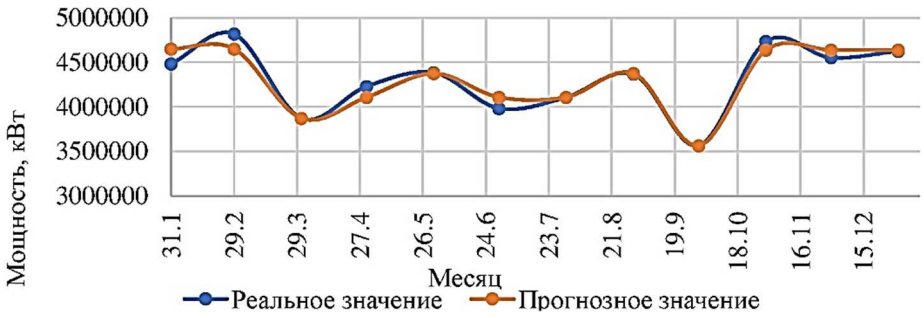


Рисунок 5 – Фактические и предсказанные объемы потребления (многофакторный прогноз)

Проведено сравнение экономической эффективности однофакторных прогнозов (табл. 1) [12]. Расчет выполнен по формуле (2) [13]:

$$З_{э/э} = \sum_{t=1}^{24} W_i \cdot C_i + \sum_{t=1}^{24} W_i \cdot C_{\text{проч}} + \sum_{t=1}^{24} W_i^{+(-)} \cdot C_{i\text{сбыт}}^{+(-)} + \sum_{t=1}^{24} W_i^{+(-)} \cdot C_i^{+(-)} + \frac{P_{\text{ПМ}} \cdot C_{\text{ПМ}}}{30} + \frac{P_m \cdot C_m}{30}, \quad (2)$$

где W_i – э/э, потребленная предприятием, кВт·ч; C_i – стоимость э/э, руб/кВт·ч; $P_{\text{ПМ}}$ – мощность, оплачиваемая на ОРЭМ, кВт; $C_{\text{ПМ}}$ – ставка за мощность, приобретаемая на ОРЭМ в месяц, руб/кВт; P_m – мощность за услуги передачи э/э, кВт; C_m – ставка сетевую мощность в месяц, руб/кВт; $C_{\text{проч}}$ – плата за иные услуги при передаче э/э, руб/кВт·ч; $W_i^{+(-)}$ – величина отклонения в положительную (отрицательную) сторону фактического от прогнозируемого объема потребления э/э, кВт·ч; $C_{i\text{сбыт}}^{+(-)}$ – сбытовая надбавка для отклонения прогнозного значения от фактического, руб/кВтч; $C_i^{+(-)}$ – цена на электрическую энергию на ОРЭМ для случаев отклонения прогнозного значения от фактического, руб/кВт·ч.

Таблица 1 – Результаты произведенных расчетов

Алгоритм построения прогноза	Однофакторный одиночный	
	АРПСС	ИНС
Относительная погрешность, %	13,66	1,88
Итоговая сумма, руб.	128058150,38	117455981,15

Литература

1. Современная модель рынка электроэнергии. – ООО «Межрегионсбыт». – URL : http://www.mrsb.ru/ modelrinka (дата обращения: 21.09.2019).
2. Вывод предприятий на ОРЭМ. – Энергогруппа «АРСТЭМ». – URL : http://www.eg-arstem.ru/new/plants/ take_out_orem/exitto_orem.htm (дата обращения: 22.09.2019).
3. Регламент допуска к торговой системе оптового рынка : Приложение № 1 к договору о присоединении к торговой системе оптового рынка (ред. от 21.12.2017). – Доступ из ассоциации «НП Совет рынка».
4. О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике (вместе с «Основами ценообразования в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике», «Правилами государственного регулирования (пересмотра, применения) цен (тарифов) в электроэнергетике») – VI. Ценообразование на розничном рынке : Постановление Правительства РФ от 29.12.2011 № 1178 (ред. от 29.06.2019). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Ghaderi S.F., Sohrabkhani S. Forecasting electrical consumption by integration of Neural Network, time series and ANOVA // Applied Mathematics and Computation. – 2007. – URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0096300306011106 (дата обращения: 20.10.2019).
6. Ghaderi S.F., Sohrabkhani S. A simulated-based neural network algorithm for forecasting electrical energy consumption in Iran // Energy Policy. – 2008. – URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421508000864 (дата обращения: 20.10.2019).
7. Saeedeh Sadegh S. Forecasting energy consumption using ensemble ARIMA–ANFIS hybrid algorithm // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2016. – URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061516303702 (дата обращения: 21.10.2019).
8. Zhanga P., Wang H. Fuzzy Wavelet Neural Networks for City Electric Energy Consumption Forecasting. – Energy Procedia, 2012. – URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021200584X (дата обращения: 21.10.2019).
9. Тихонов Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка : учеб. пособие. – Невинномысск, 2006. – 221 с.
10. Хайкин С. Нейронные сети : полный курс / пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс» – 2006. – 2-е издание. – 1104 с.
11. Шитиков В.К., Мастицкий С.Э. Классификация, регрессия и другие алгоритмы Data Mining с использованием R. – Электронная книга, 2017. – 351 с. – URL : https://github.com/ranalytics/data-mining (дата обращения: 20.01.2020).
12. Тарифы и цены. – АО «Томскэнергосбыт». – URL : https://ensb.tomsk.ru/ (дата обращения: 03.11.2019).
13. Шутов Е.А., Бабинович Д.Е. Роль прогнозирования в энергоэффективности предприятий // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2012. – URL : https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18789210 (дата обращения: 21.01.2020).

References

1. Modern model of the electricity market. – LLC «Mezhregionsbyt». – URL : http://www.mrsb.ru/ modelrinka (circulation date : 21.09.2019).
2. Withdrawal of enterprises to the Wholesale Electricity Market. – Energogroup «ARSTEM». – URL : http://www.eg-arstem.ru/new/plants/ take_out_orem/exitto_orem.htm (date of address : 22.09.2019).
3. Wholesale Market Trading System Admission Regulations : Appendix № 1 to the Agreement on joining the wholesale market trading system (edited from 21.12.2017). – Access from «NP Market Council» Association.
4. On pricing in the field of regulated prices (tariffs) in the electric power industry (together with the «Principles of pricing in the field of regulated prices (tariffs) in the electric power industry», «Rules of state regulation (review, application) of prices (tariffs) in the electric power industry») – VI. Pricing in the retail market : Decree of the Government of the Russian Federation dated 29.12.2011 № 1178 (ed. 29.06.2019). – Access from the reference legal system «ConsultantPlus».
5. Ghaderi S.F., Sohrabkhani S. Forecasting electrical consumption by integration of Neural Network, time se-ries and ANOVA // Applied Mathematics and Computation. – 2007. – URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0096300306011106 (accessed on 20.10.2019).
6. Ghaderi S.F., Sohrabkhani S. A simulated based neural network algorithm for forecasting electrical energy consumption in Iran // Energy Policy. – 2008. – URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421508000864 (reference date : 20.10.2019).
7. Saeedeh Sadegh S. Forecasting energy consumption using ensemble ARIMA-ANFIS hybrid algorithm // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2016. – URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/ pii/S0142061516303702 (reference date : 21.10.2019).
8. Zhanga P., Wang H. Fuzzy Wavelet Neural Networks for City Electric Energy Consumption Forecasting. – Energy Procedia, 2012. – URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021200584X (contact date: 21.10.2019).

9. Tikhonov E.E. Forecasting methods in market conditions : a training manual. – Nevinnomyssk, 2006. – 221 p.
10. Khaikin S. Neural Networks : full course / per. engl. – M. : Williams Publishing House – 2006. – 2nd edition. – 1104 p.
11. Shitikov V.K., Mastitskiy S.E. Classification, regression and other algorithms of Data Mining with the use of R. – E-book, 2017. – 351 p. – URL : https://github.com/ranalytics/data-mining (address date : 20.01.2020).
12. Tariffs and prices. – JSC «Tomskenergosbyt». – URL : https://ensb.tomsk.ru/ (circulation date : 03.11.2019).
13. Shutov E.A., Babinovich D.E. Forecasting role in the energy efficiency of enterprises // Energy-safety and energy saving. – 2012. – URL : https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18789210 (date of address : 21.01.2020).

УДК 542.952.52.128.66

ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПИРОЛИЗА ФРАКЦИИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 130–230 °С

●●●●●●

RESEARCH OF CATALYTIC PYROLYSIS FRACTIONS AT A TEMPERATURE OF 130–230 °C

Юсиф-заде Алина Алим кызы
кандидат технических наук, доцент,
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Дадаева Гюльшан Чинзиз кызы
кандидат технических наук, доцент,
dadayeva750@list.ru

Аннотация. Исследован пиролиз в присутствии никель модифицированного морденита в процессе каталитического пиролиза прямогонной бензиновой фракции. Установлено, что в присутствии катализатора процесс пиролиза проходит с более высоким выходом целевых продуктов, чем в условиях термического. Установлено влияние степени деароматизации сырья на выход и состав продуктов каталитического пиролиза прямогонной бензиновой фракции.

Ключевые слова: коксование, каталитический пиролиз, деароматизация, бензиновая фракция, прямогонная фракция.

Yusif-zade Alina Alim qizi
Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Azerbaijan state university oil and industry

Dadaeva Gulshan Chingiz qizi
Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
dadayeva750@list.ru

Annotation. Studied the pyrolysis of nickel modified mordenite in the catalytic pyrolysis of straight-run gasoline fraction. It is found that the presence of a catalyst in the pyrolysis process is a high yield with target products than in thermal conditions. Found that the influence of the degree dearomatition of raw materials on the yield and composition of catalytic pyrolysis of straight gasoline faction.

Keywords: coking, catalytic pyrolysis, dearomatization, gasoline fraction, straight-run fraction.

Как известно, в процессе первичные ионы изомеризуются до вторичных и возможно далее до третичных, а вторичные ионы всегда изомеризуются до третичных с переносом алкильной группы [1].

Каталитический пиролиз позволяет проводить процесс при более низких температурах от 600 до 700 °С [2].

Цеолитсодержащие катализаторы, как известно, способствуют реакциям изомеризации, дегидрирования, благодаря чему в газе содержится значительное количество C_3–C_4 [3].

Для термического пиролиза оптимальной температурой является та, при которой образуется максимальное количество низкомолекулярных олефинов [4].

Нами исследовалось влияние обоих катализаторов на выход газа пиролиза и на содержание в нем низкомолекулярных олефиновых углеводородов, а также изучалось влияние объёмной скорости подачи сырья.

На рисунке 1 представлена зависимость выхода газа пиролиза на обоих катализаторах от температуры процесса при объёмной скорости 1 $ч^{-1}$.

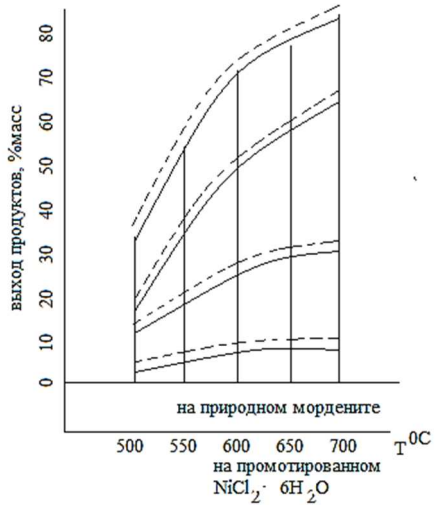


Рисунок 1 – Зависимость выхода газа от температуры

Как видно из рисунка 1 с повышением температуры выход газа пиролиза на обоих катализаторах увеличивается. Повышается выход этилена и пропилена, хотя после температуры 650 °С выход увеличивается незначительно, выход $\sum C_4$ непредельных (бутены и дивинил) с увеличением температуры выше 650 °С уменьшается. Нами также исследовалось влияние объёмной скорости подачи сырья на выход газа пиролиза и содержание в нем олефиновых углеводородов [5].

Для исследования в качестве катализатора использовался природный морденит Чанабского месторождения (г. Нахчивань) в состав которого входят компоненты: %, масс.: SiO_2 – 72,08; Al_2O_3 – 12,18; Fe_2O_3 – 0,95; CaO – 0,86; SrO – 0,12; K_2O – 2,09; Na_2O – 1,04; H_2O – 10,68.

Выход этилена и пропилена несколько возрастает, причем для промотированного мордента несколько больше, чем для природного. Хотя выход газа понижается, однако в газе увеличивается содержание низкомолекулярных олефинов.

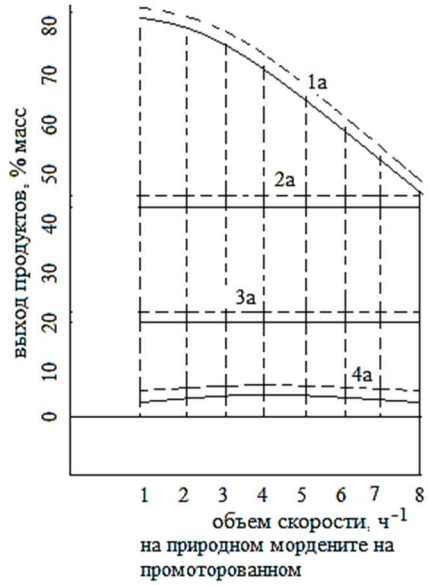


Рисунок 2 – Зависимость выхода газа на объёмной скорости процесса:
1 – Выход газа на природном мордените; 1а – Выход газа на промотированном мордените;
2 – Выход этилена на природном мордените; 2а – Выход этилена на промотированном мордените;
3 – Выход пропилена на природном мордените; 3а – Выход пропилена на промотированном мордените;
4 – Выход непредельных углеводородов на природном мордените;
4а – Выход непредельных углеводородов на промотированном мордените

Где 1 – выход газа на природном мордените; 1а – выход газа на промотированном мордените; 2 – выход этилена на природном мордените; 2а – выход этилена на промотированном мордените; 3 – выход пропилена на природном мордените; 3а – выход пропилена на промотированном мордените; 4 – выход $\sum C_4$ непредельных углеводородов на природном мордените; 4а – выход $\sum C_4$ непредельных углеводородов на промотированном мордените.

В таблице 1 представлен материальный баланс пиролиза фракции 130–230 °С на обоих катализаторах при температуре 650 °С и объёмной скорости 1 $ч^{-1}$.

Таблица 1 – Материальный баланс каталитического пиролиза фракции 130–230 °С

Показатели	Катализаторы	
	на природном мордените, % моль	на промотированном мордените, % моль
Взято: Фракция 130–230 °С	100	100
Итого	100	100
Получено: Газ	78	81,5
Лёгкая смола пиролиза	11,4	7,9
Тяжёлая смола	5,2	4,0
Кокс	4,9	6,0
Потери	0,5	0,6
Итого	100	100

Как видно из таблицы 1 при одних и тех же условиях проведения процесса на промотированном катализаторе выход газа на 3,5 % выше, количество кокса на 1,1 % больше и жидких продуктов на 4,4 % меньше. В таблице 3 представлен состав газа пиролиза на обоих катализаторах при температуре 650 °С и объёмной скорости 1 $ч^{-1}$ [6].

Таблица 2 – Состав газа пиролиза

Показатели	на природном мордените, % моль	на промотированном мордените, % моль
H_2	3,4	2,7
CH_4	14,7	13,1
C_2H_6	12,2	10,9
C_2H_4	42,5	45,0
C_3H_8	0,9	1,2
C_3H_6	19,0	20,5
$\sum C_4H_{10}$	1,4	0,35
$\sum C_4H_8$	4,0	3,85
C_4H_6	1,9	2,4

Как видно из всего изложенного, введение в состав природного морденита $NiCl_2 \cdot H_2O$ позволяет увеличить выход этилена и пропилена и общий выход газа.

Литература

1. Магарил Р.З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти. – М. : Химия, 2008. – 365 с.
2. Суханов В.П. Каталитические процессы в нефтепереработке. – М. : Гостоптехиздат, 2003. – 272 с.
3. Peter Lovas, Pavol Hudec, Boris Jambor and C. Catalytic cracking of heavy fraction from the pyrolysis of waste HDPE and PP, Fuel, Volume 203, September, 2017, p. 244–252.
4. Дадаева Г.Ч., Юсиф-заде А.А. Пиролиз фракции 130-2300С в присутствии цеолитсодержащих катализаторов // Ecoenergetics. – 2018. – № 2. – С. 22–25.
5. Лукьянов П.И., Батистов А.Г. Пиролиз нефтяного сырья. – Гостоптехиздат, 2002. – 247 с.
6. Шпигляр М. Газовая хромотография в практике. – М. : Химия, 1964. – С. 14–38.

References

1. Magaril R.Z. Theoretical bases of chemical processes of oil processing. – M. : Chemistry, 2008. – 365 p.
2. Sukhanov V.P. Catalytic processes in oil refining. – M. : Gostoptekhizdat, 2003. – 272 p.
3. Peter Lovas, Pavol Hudec, Boris Jambor and C. Catalytic cracking of heavy fraction from the pyrolysis of waste HDPE and PP, Fuel, Volume 203, September, 2017, p. 244–252.
4. Dadaeva G.C., Yusif-zade A.A. Pyrolysis of 130–230 °C fraction in the presence of zeolite-containing catalysts // Ecoenergetics. – 2018. – № 2. – P. 22–25.
5. Lukianov P.I., Batistov A.G. Pirolysis of oil raw materials. – Gostoptekhizdat, 2002. – 247 p.
6. Shpiglyar M. Gas Chromotography in Practice. – M. : Chemistry, 1964. – P. 14–38.

УДК 672.9

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОЦЕСС ФОРМОВАНИЯ

●●●●●●

THE INFLUENCE OF SURFACE-ACTIVE LUBRICANTS ON THE FORMATION PROCESS

Юсубов Фикрет Фахраддин
аспирант,
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
fikratyusub@gmail.com

Аннотация. Данное исследование посвящено разработке фрикционных композиционных материалов, состоящих из металлических и неметаллических элементов, на основе порошковой металлургии. Была исследована роль инертных смазок в разработке и изучено их влияние на процесс формирования при прессовании.

Ключевые слова: порошковая металлургия, композиционные материалы, пластификаторы, прессование, плотность.

Yusubov Fikrat Fakhraddin
Postgraduate,
Azerbaijan state oil and industry university
fikratyusub@gmail.com

Annotation. This research is devoted to the development of friction composite materials consisting of metal and non-metallic elements on the basis of powder metallurgy methods. The role of inert lubricants in development of composites was investigated, and their effects on the formation process during pressing were studied.

Keywords: powder metallurgy, composite materials, plasticizers, pressing, density.

Основная причина отказа деталей в машинах промышленности является износ и разрушение. Изнашивание происходит за счёт пара трения. Важно, чтобы материалы, используемые в узлах трения, имели высокую износоустойчивость и термостойкость [1].

Для разработки новых долговечных и экологически чистых композиционных материалов для узлов трения, эксплуатируемых в тяжелых условиях, определен состав на основе 25 % барита, 25 % фенолформальдегида, 7 % оксида алюминия, 5 % синтетического валлостонита, 10 % свинца, 10 % олова, 7 % меди-графита (80 % Cu 20 % C), 5 % оксида кремния и небольшое количество оксида магния дисульфида молибдена и бронзой стружки. Основным условием, характеризующим качество компактных материалов, является равномерна распределение плотности по объему [2]. Другим важным фактором, влияющим на механические и термические свойства фрикционных материалов, является пористость [3]. Изменение плотности естественным образом повлияет на пористость образцов.

С этой точки зрения важно изучить процесс формирования композитов. В данном случае различные режимы прессования были использованы для выяснения влияния поверхностно-активных инертных смазок на процесс формирования фрикционных композиционных материалов. Технологические процессы, такие как измельчение, механическое смешивание, холодное прессование (10 МПа), горячее прессование (160 °C, 25,5 МПа) были использованы при приготовлении образцов (табл. 1). Образцы были подготовлены в двух формах: цилиндрической (h = 13 мм, d = 7 мм) и прямоугольной (22,5×15,5×5,5) (рис. 1).

Таблица 1 – Технологические режимы, используемые при изготовлении образцов

Процедура	Время (час)	Давление (МПа)	Температура (°C)
Измельчение	6	–	Комнатная температура
Механические смешивания	8	–	Комнатная температура
Холодной прессования	–	15,0	Комнатная температура
Горячие прессования	0,5	25,5	160

Прессования осуществлялось по односторонней схеме для обеих форм. Поскольку на поверхности образцов, приготовленных без пластификаторов, наблюдалось трещины и в результате структура материалов нарушени, добавлен дополнительный элементы в состав композицию и были сделаны сравнения. Во время прессования контакт между частицами увеличивается, поры уменьшаются, а отдельные частицы деформируются или повреждаются. Твердость полученного образца увеличивается с увеличением давления под механические воздействия. Давление на стенки матрицы под действием силы трения, возникающей при повышении давления, приводит к неравномерному распределению плотности по высоте прессованного образца [4].

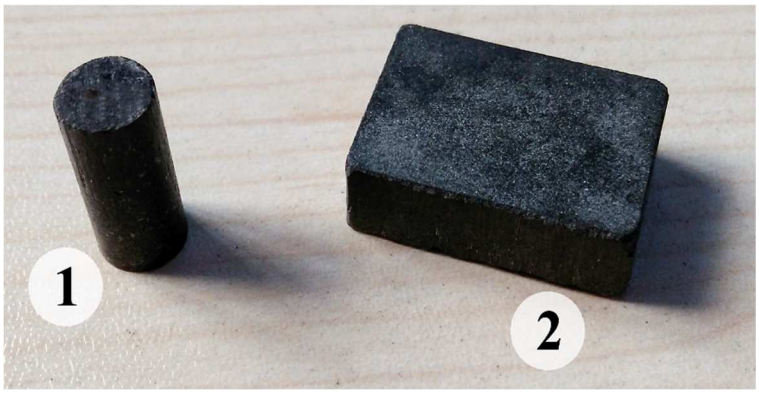


Рисунок 1 – Общий вид композитных материалов,
разработанным в 1) цилиндрической и 2) прямоугольной формах

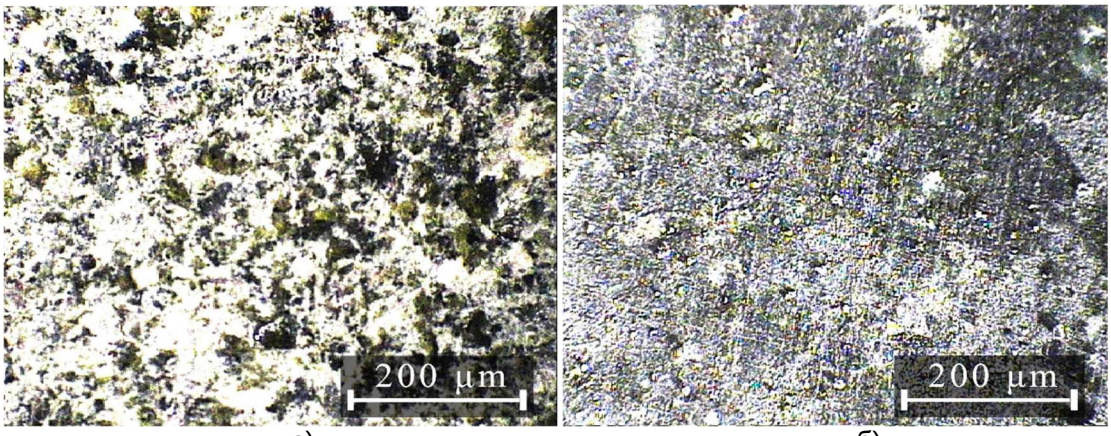
Неравномерное распределение плотности проявляется в образцах с высотой, превышающей диаметр поперечном сечении. Смазки могут быть использованы для предотвращения этого явления. Таким образом, смазывание стенок матрицы с помощью парафиновых, стреатовых и технических масел или добавление пластификаторов в состав композиции может помочь в устранении этих недостатков [5].

Кроме того, в ходе работ было выявлено, что смазочный материал на стенке пресс-формы оказывает значительное влияние на качество образцов. По этой причине был проведен сравнительный анализ для выявления различий в пластификаторах и смазочных материалах. В качестве пластификатора использовались глицерин, борная кислота (в виде порошка), воск и канифоль (табл. 2).

Таблица 2 – Информация о смазочных материалах, используемых для при подготовке образцов

Пластификаторы	Количество (%)		Смазочные материалы
	Для цилиндрических образцов	Для образцов прямоугольных форм	
Глицерин	5–30	1–25	Парафин, Глицерин, Тальк
Борная кислота	5–35	1–30	Парафин, Глицерин, Тальк
Воск	5–25	1–20	Парафин
Канифоль	5–30	1–25	Парафин, Тальк

Парафин, глицерин и тальк использовались для создания скольжение и позволяли образцам легко выходить из пресс-формы. Исследования показали, что наиболее эффективным из смазочных материалов на стенке пресс-формы является парафин. Хотя влияние парафина на процесс формирования незначительно, оно способствовало улучшению процесса прессования. По этой причине парафин использовался в качестве смазки при измерении физических параметров.



а) б)

Рисунок 2 – Изображения с оптического микроскопа поверхности компактных образцов:
а) с глицерином и (б) без глицерина

Информация о технологических режимах, используемых при изготовления образцов, приведена в таблице 1. На первом этапе порошковые продукты заполнен в пресс-форму и прессован холодной

форме, затем спрессованную порошки поставили с пресс-формой в муфельную печь и нагревали. На последнем этапе нагретые образцы снова прессовали и остался в прессе в течение определенного периода времени. Последующие после прессования образцы охлаждали при комнатной температуре и исследовали. В цилиндрических образцах изготовленного без пластификатора по сравнению с пуассоновской частью, было обнаружено, более низкую плотность в противоположном направлении (~32 %). В прямоугольных образцах плотность в часть без пуансона составляла ~40 % (рис. 3). Если мы посмотрим на соотношение между высотой и диаметром образца, увидим, что высота прямоугольного образца намного меньше, чем у других размеров, но плотность большая. Этой явлении можно объяснить взаимосвязанной контактной природой частиц.

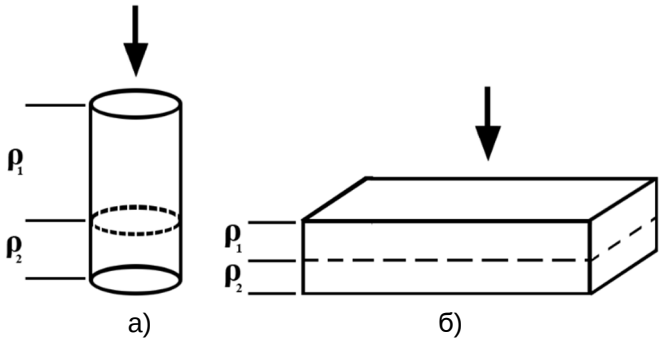


Рисунок 3 – Распределение неравенства плотность в компактных образцах, спрессованных в виде а) цилиндрический и б) прямоугольный (ρ_1 – высокая плотность, ρ_2 – низкая плотность)

Плотность образцов измеряли с использованием метода Архимеда. Для этого образцы помещали в цилиндр, содержащий воду и отмечено объемы. Плотности были найдены с использованием следующей формулы:

$$\rho = \frac{m}{(V_2 - V_1)},$$

где m – масса образца, V_2 – объем образца с водой, V_1 – объем воды

Метод масляного погружения образцов (стандарт: JIS D 4418: 1996) был использован для определения пористость. Для более точных результатов были использованы прямоугольные формы с широкой поверхностью для измерения пористости. Образцы изначально хранили при комнатной температуре в течение 24 часов на эксикаторе. Затем образцы помещали в заполненный маслом контейнер и сохранился пече в течение 90 часов при температуре 90 °C ±1 °C. В экспериментах использовалась сырая нефть с легкая фракция 0,850 г/см³. Образцы, извлеченные из печи, для охлаждения маслой после сохранения при комнатной температуре в течение 12 часов, несколько раз протирали с сухой тканью. Масса образцов взвешивалась в электронных весах до и после погружения. Процент пористость были рассчитаны по следующей формуле:

$$\text{Пористость (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{\rho} \; x \; \frac{1}{V} \; x \; 100,$$

где m_1- масса образца до погружения в нефтью (г), m_2 – масса образца после погружения в нефтью (г); ρ – плотность нефти (г/см³) и V – объем образца (см³).

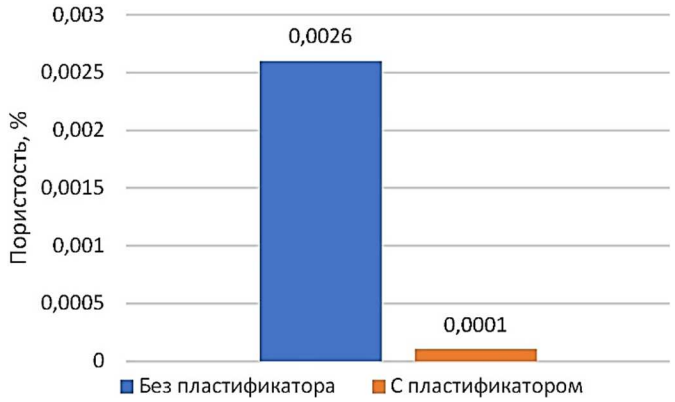


Рисунок 4 – Сравнение пористости в композитах с пластификатором и без пластификатора

Измерение физических показателей показало, что глицерин и борная кислота более эффективны (табл. 3). Самые низкие значение были в образцах с воском. На рисунке 4 сравнивается пористость образцов с глицерином и без глицерина. Хотя оба результата являются приемлемыми для фрикционных материалов, присутствие глицерина в процессе формования уменьшило не только распределение плотности во всех направлениях, но также минимизировало пористость.

Анализ результатов показывал, что, среди факторов, время нагрева в пече, выпуск прессы несколько раз для выделения газов при сжатии как влияющие факторы на высокие физические характеристики в вышеупомянутых образцах. Кроме того, были обнаружени различия в образцах в зависимости от типа и количества пластификаторов. Таким образом, введение борной кислоты и воска не было эффективным при устранении трещин на поверхности и структуре образцов цилиндра. Хотя борная кислота улучшает образование компонентов, когда она составляет менее 10 %, обнаружено, что на поверхности при наблюдении с помощью оптического микроскопа имеются поры. Использование борная кислота более 10 % неэффективно. А использование воска не дало никакого эффекта. Канифоль также мало влиял на формирование структуры. Однако было обнаружено, что глицерин очень эффективен в устранение трещин. Очевидно, что чем выше высота, тем больше потребуется пластификатор. По этой причине, в отличие от цилиндрических образцов, количество пластификаторов в прямоугольных образцах было меньше. Чрезмерное использование смазочных материалов может изменить исходный размер объема, прессованный шихту и нарушив его функцию. Таким образом, присутствие большого количества пластификатора приводит к тому, что связь металл-металл между частицами заменяется связью металл-смазка, что приводит к резкому снижению твёрдость материала. Среди пластификаторов наиболее эффективным был глицерин. Его использование в более высоком проценте было неэффективно. Изображения на оптическом микроскопе Amscope показанные на рисунке 2, можно увидеть большое количество пор на поверхности образцов, которые не содержат глицерин. По сравнению с образцом глицерина структура поверхности имеет большую разницу.

Таблица 3 – Сравнение влияния пластификаторов на физические свойства композитов

Пластификаторы	Плотность (г/см³)	Пористость (%)	Смазочные материалы
Глицерин	2,247	0,0001	Парафин
Борная кислота	2,236	0,0002	Парафин
Воск	2,213	0,0007	Парафин
Канифоль	2,231	0,0002	Парафин

В образце прессованный с глицерином пористость была минимальной. Глицерин, использованный для образцов цилиндра 15–20 % и для прямоугольных образцов 5–10 %, дали лучшие результаты. Кроме того, воск, нанесенный на стенку пресс-формы в качестве смазки, был более целенаправленным и положительно влиял на формирование гладкой поверхности.

Результаты, изложенные в тезисе, помогут в разработке новых фрикционных или антифрикционных композиционных материалов с использованием методов порошковой металлургии.

Литература

1. Bharat Bhushan. Principles and Applications of Tribology, Second Edition, John Wiley & Sons, 2013, p. 1006
2. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. Новые композиционные материалы : учебное пособие. – Тамбов : Изд-во ГОУВПОТГТУ, 2011. – 80 с.
3. Rajan B.S., Balaji M.A.S., Sathickbasha K., Hariharasakthisudan P. Influence of binder on thermomechanical and tribological performance in brake pad // Tribology in industry. – 2018. – Vol. 40 (4). – P. 654–669.
4. Crăciun Andrei Lucian, Pinca-Bretotean Camelia. Advanced Materials with Natural Fibred Reinforced Aluminiu Composite for Automotive Brake Disc, Solid State Phenomena, Trans Tech Publications, 2016, p. 91–96.
5. Гиршов В.Л., Котов С.А., Цеменко В.Н. Современные технологии в порошковой металлургии : учеб. пособие / В.Л. Гиршов, С.А. Котов, В.Н. Цеменко. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 385 с.

References

1. Bharat Bhushan. Principles and Applications of Tribology, Second Edition, John Wiley & Sons, 2013, p. 1006.
2. Tyalina L.N., Minaev A.M., Pruchkin V.A. New Composite Materials : a textbook. – Tambov : State University of Applied Sciences, 2011. – 80 p.
3. Rajan B.S., Balaji M.A.S., Sathickbasha K., Hariharasakthisudan P. Influence of binder on thermomechani-cal and tribological performance in brake pad // Tribology in industry. – 2018. – Vol. 40 (4). – P. 654–669.
4. Crăciun Andrei Lucian, Pinca-Bretotean Camelia. Advanced Materials with Natural Fibred Reinforced Aluminiu Composite for Automotive Brake Disc, Solid State Phenomena, Trans Tech Publications, 2016, p. 91–96.
5. Virshov V.L., Kotov S.A., Tsemenko V.N. Modern technologies in powder metallurgy: a training manual / V.L. Virshov, S.A. Kotov, V.N. Tsemenko. – Saint Petersburg : Polytechnic University Publishing House, 2010. – 385 p.

УДК 661.666.2

МЕСТНЫЕ ГРАФИТОВЫЕ РУДЫ ТАСКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЗБЕКИСТАНА

●●●●●●

LOCAL GRAPHITE ORES OF THE TAZKAZGAN DEPOSIT OF UZBEKISTAN

Якубов Салимжон Иминжанович
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт общей неорганической химии
Академии Наук Республики Узбекистан
salimjon@yandex.ru

Турсунов Агзам Салимжон угли
докторант,
Ташкентского химическо-технологического института

Адылов Джалол Камалович
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт общей неорганической химии
Академии Наук Республики Узбекистан

Турдиалиев Умид Мухтаралиевич
доктор технических наук, ректор,
Андижанский машиностроительный институт

Аннотация. Данная статья посвящена состоянию и изученности местных графитовых руд Тасказганского месторождения Узбекистана, возможности использования их различных отраслях промышленности, а также поставки за пределы республики Узбекистан. Рассмотрены вопросы обогащение графитовых руд флотационными методами. Приведены категории и балансовые запасы графитовых тасказганского месторождения.

Ключевые слова: Тасказган, графит, убогие руды, генетические тапы, геологические исследование, балансовые запасы, обогащение, флотация, категории запасов.

Yakubov Salimjon Iminzhanovich
Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Institute of General Inorganic Chemistry
Academy of Sciences
of the Republic of Uzbekistan
salimjon@yandex.ru

Tursunov Agzam Salimjon ugli
Doctoral student,
Tashkent institute of chemical technology

Adylov Jalol Kamalovich
Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Institute of general inorganic chemistry
Academy of Sciences
of the Republic of Uzbekistan

Turdialiev Umid Mukhtaralievich
Doctor of Technical Sciences, Rector,
Andijan engineering institute

Annotation. This article is devoted to the state and knowledge of local graphite ores of the Tazkazgan deposit in Uzbekistan, the possibility of using them in various industries, as well as supplies outside the Republic of Uzbekistan. The problems of graphite ore dressing by flotation methods are considered. The categories and balance reserves of graphite deposits of the Tazkazgan are given.

Keywords: Tazkazgan, graphite, poor ores, genetic tapas, geological exploration, balance reserves, enrichment, flotation, stock categories.

Как известно, что свыше 90 % запасов скрытокристаллического графита приходится на доли Мексики, КНР, России, и Республику Кореи. Наиболее крупным переработчиком является Китай, который имеет 45 % мирового производства графита. После КНР следуют Республика Корея, Индия, Бразилия, Мексика, Канада, Чехия. Украина и Россия являются наибольшими добытчиками среди бывших союзных республик. В мировом рынке основными потребителями графита являются Япония, США, Франция, Англия, Австралия [1].

Графит применяется в различных отраслях промышленности: сталелитейной, чугунолитейной, электротехнической, химической, нефтяной, газовой и др. В нефтегазовой промышленности используется для «сухого» бурения скважин (графит марки ГЛ, ГЛС). Однако использование его в значительной степени зависит от структурных особенностей руд, содержания в них графитового углерода, возможностей тонкого помола графита и другие.

Выделяют следующие генетические типы месторождений графита [2]: метаморфические, пневматолитово-гидротермальные, пегматитовые, собственно магматические, контактово-метасоматические.

Наибольшее значение имеют метаморфические месторождения. Они образуются в результате глубокого регионального метаморфизма осадочных пород, первоначально содержавших рассеянное органическое вещество, или вследствие метаморфизма каменного угля.

К месторождениям этого типа относятся: на территории России Ногинское и Курейское (Красноярский край), за рубежом – месторождения Мексики и Южной Кореи.

Пневматолитово-гидротермальные месторождения встречаются преимущественно среди гнейсов. Графитовые тела образуются в результате заполнения полостей трещин графитом и

высокотемпературными растворами. Крупные тела графита, имеющие промышленное значение, встречаются редко; наиболее известны крупнейшие залежи Шри-Ланки.

В пегматитах редко наблюдаются промышленные концентрации графита, обычно он встречается в виде мелких чешуек и радиально-лучистых агрегатов. Чаще всего графит развивается в зальбандах, изредка – в центральных частях жил. Небольшие месторождения этого генетического типа известны в Канаде, США и Италии.

Собственно-магматические месторождения графита приурочены к интрузивным и эффузивным породам различного состава – от кислых и щелочных до ультраосновных.

Источником углерода могут быть газообразные соединения исходной магмы, а также ассимилированные этой магмой породы (карбонатные или содержащие органические остатки). Примером может служить Ботогольское месторождение в Восточных Саянах.

Контактово-метасоматические месторождения приурочены к контактам гибридных интрузивных и карбонатных пород. На контактах карбонатные породы превращены в графитоносные скарны. Содержание графитного углерода обычно составляет 5–20 %. Месторождения этого типа немногочисленны и развиты преимущественно в восточной части Канады. К данному генетическому типу относится Тасказганское месторождение в Узбекистане.

Крупное месторождение графитов (рис. 1) в Узбекистане так называемое Тасказганское, расположено на западе хребта Кульжуктау (горы Бельтау), Пешкунского района Бухарской области, в 9 км от поселка Джангельды, в 95 км к западу от железнодорожной станции Караката. Рельеф площади низкогорный с абсолютными высотными отметками от 300 до 400 м.

Рисунок 1 – Заброшенный участок Тасказганского месторождение графитовых руд

Геологическими исследованиями установлены [3] что площадь месторождения сложена карбонатными отложениями силура-среднего девона (известняки, доломиты), прорванными многочисленными интрузивными телами позднекарбонового передотит-морит-габбрового комплекса. В южной части месторождения наблюдаются мелкие тела гранитов раннепермского возраста. По всему месторождению распространены многочисленные позднепермские дайки диоритов. Интрузивные тела габброидов большей частью согласно залегают среди известняков и доломитов. Карбонатные породы в свою очередь образуют среди магматических пород многочисленные останцы различной величины и формы. На площади месторождения наблюдается густая сеть разрывных нарушений. Наиболее широко распространены нарушения на контактах габброидов с останцами карбонатных пород. По разрывам развиты зоны интенсивного дробления и гидротермального изменения пород. Мощность зон от 5-10 м до 40 м, протяженность – 150–350 м, редко 500–600 м и более. Падение зон крутое – 50–85°. С зонами гидротермального изменения пород связаны основные графитовые тела. Кроме того, графитовые тела встречаются вблизи контактов габброидов и карбонатных пород, редко в самих габбро.

Всего выявлено около 100 графитовых тел. Шесть из них, наиболее крупных, изучены детально, тринадцать мелких с детальностью категории C_2, остальные представлены отдельными выходами, вскрытыми единичными выработками. Форма рудных тел жило-и линзообразная (четкообразная), залегание субсогласное с вмещающими породами. Нередко графитовые тела разделяются на сближенные субпараллельные ветви, разделенные слабо графитизированными породами.

Большая часть основных графитовых рудных тел, представляющих промышленную ценность, сосредоточена в юго-восточной части месторождения на северо-западе выделено два крупных тела и залежь «Меридиональная». Мелкие тела распределены на месторождении равномерно.

Протяженность рудных тел на юге-востоке месторождения по простиранию 470–840 м, по падению – 120–265 м (единичное – 540 м).

В северо-западной части месторождения – 175–450 м и 116–160 м, соответственно. Мощность рудных тел, вошедших в подсчет запасов, по сечениям изменяется от 0,5 до 51 м, средняя по рудным телам – от 6 до 18,7 м, средняя по месторождению 10,5 м.

С поверхности (до глубины 15 м по отдельным рудным телам) по графитовым залежам развита зона экзогенного выветривания, с образованием кальцита, гипса, глинистых минералов, слюд.

Месторождение неоднократно разведывалось в течение 1928–75 г.г. Периодически отрабатывалось (рис. 2). Добыча велась открытым способом (карьер), доводка добытой руды до кондиционного содержания графита (25 %) осуществлялась ручной отсортировкой руд. Максимальная годовая производительность достигала 1,2 тонн товарного графита (ГОСТ 170022-71 марка ГЛС-4).

Графитовые руды с содержанием графита более 25 % с 1942 г. в молотом виде использовались Ташкентским заводом сельскохозяйственного машиностроения для: производства краски в виде пасты для натирки стержней и в жидком виде для окраски стержней и сухих форм, повышения огнеупорности формовочных материалов, футеровки ковшей и груш конвертора.

Рисунок 2 – Участки эпизодически проведенных добычных работ на графитовые руды

Из месторождения эпизодически (1929–1995 г.г., в основном в небольших объемах) графиты поставлялось потребителям, таким как Узбекскому металлургическому комбинату, в России производственному объединению «Коминефть», Нижнетагильский, Серовский металлургические заводы, Красноярский графитовая фабрика, в Украине – Запорожсталь, в Казахстане – Чимкентский завод. Кроме того, графит Тасказгана вывозили в Польшу, Чехословакию. В 1952 году фабрикой «Сакко и Ванцетти» получено карандашный графит.

Запасы и прогнозные ресурсы: на 01.01.2008 г. государственный баланс учитывает запасы графита в количестве: по категориям A_2 + B + C_1 + C_2 – руда 6183,8 тыс. т., из них A_2 – 777,3 тыс. т.; B – 890,3 тыс. т.; C_1 – 718,8 тыс. т., C_2 – 3797,4 тыс. т. Общие перспективные запасы графитовых руд установлены в размере 25 млн т.

В зависимости от содержания графитового углерода (СГУ) Тасказганские графитовые руды разделены на четыре условные категории, т.е. на:

- убогие с СГУ 5 –10 % (составляют 30 % от общего объема руд);
- бедные с СГУ – 10–20 % (составляют 40 % от общего объема руд);
- среднее с СГУ – 20–30 % (составляют 20 % от общего объема руд);
- богатые с СГУ – более 30 % (составляют 10 % от общего объема руд).

Геологические и технологические исследования подтверждает его пригодности их к переработке с дальнейшим получением графитовых концентратов, отвечающим стандартам. По действующим ГОСТам и ТУ зольность товарных концентратов должен быть в пределах от 25 % для литейного графита до 1,5 % для карандашного графита [4, 5].

Графит относится к наиболее легко флотируемым минералам, но его флотируемость зависит от величины характера примесей и степени окисления поверхности. Флотацию графита обычно проводят с использованием керосина (0,2–2,5 кг/т) и вспенивателя (соснового масла, Т-66 и др.) в щелочной (pH = 8–10) обычно содовой, известкой или кислой (pH = 4–5) сернокислотной среде.

В работе [6] описано флотация графитовой руды с использованием местного реагента UGK – универсального пенообразователя. При трехкратном технологическом флотоционном обогащении

получен концентрат, содержащий 78,62 % углерод. Отобранные графитовые руды тасказганского месторождения имели среднее содержание графита 17,1 %.

Таким образом, местные тасказганские графитовые руды геологически изучены и проведены исследования обогатимость по графиту; месторождения разведан и подсчитан запасы по категориям A_2 + B + C_1 + C_2 – руда 6183,8 тыс. т.; установлены пригодность графитовых руд в машиностроении, металлургии; получен карандашный графит; широко исползованы не только отечественной промышленностью, но зарубежными компаниями как в России, Украине, Казахстане, Польше, Чехословакии.

Литература

1. Брагина В.И., Бакшеева И.И. Разработка технологии обогащения графитовых руд. – М. : ГИАБ, 2012. – С. 133–137.
2. Графит : Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. – М., 2007. – 32 с.
3. Минерально-сырьевые ресурсы Узбекистана. – Т. Фан, 1977. – Ч. 2. – 553 с.
4. Деркач Ф.А. – Л. : «Химия» Л., 1968.
5. Малая горная энциклопедия в 3-х томах / под ред. В.С. Белецкого. – Донецк : Донбасс, 2004.
6. Турсунов А.С. [и др.]. Исследования процесса флотационного обогащения графитовой руды месторождения Тасказган Республики Узбекистан // Научный журнал Universum. – 2019. – № 10 (67). – С. 42–47.

References

1. Bragina V.I., Baksheeva I.I. Development of graphite ore processing technology. – M. : GIAB, 2012. – P. 133–137.
2. Graphite : Methodical recommendations on application of classification of reserves of deposits and prognostic resources of solid minerals. – M., 2007. – 32 p.
3. Mineral resources of Uzbekistan. 3. – T. Fan, 1977. – Part 2. – 553 p.
4. Derkach F.A. – L. : «Chemistry» L., 1968.
5. A Small Mountain Encyclopedia in 3 volumes / edited by V.S. Beletsky. – Donetsk : Donbass, 2004.
6. Tursunov A.S. [et al.]. Studies of the process of flotation enrichment of graphite ore of the Taskazgan birthplace of the Republic of Uzbekistan // Scientific journal Universum. – 2019. – № 10 (67). – P. 42–47.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ
В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

*****

ELECTRIC EQUIPMENT
IN OIL AND GAS BRANCH

УДК 665.642.2

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ

●●●●●●

CONTROL SYSTEM OF ENERGY LOSS

Абзарли Матин Мубариз
магистрант кафедры управления
и системной инжинерии,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
abzerli95@gmail.com

Аннотация. Выбор устройства и программного обеспечения позволяет оптимизировать параметры качества системы и контролировать погрешности измерений, а также размер параметров измерений.

Ключевые слова: потеря электроэнергии, асинхронные двигатели, передача энергии, частота, амплитуда, фаза.

Abzarli Matin Mubariz
Master of Department Control
and System Engineering,
Azerbaijan state university
of oil and industry
abzerli95@gmail.com

Annotation. Choosing device and software is optimizing quality parameters of the system and controlling errors in measurement also the size of the measurement parameters.

Keywords: electricity loss, asynchronous motors, power transmission, frequency, amplitude, phase.

It is often required effective use electricity from the electrical grid for increasing efficiency of production. The main problem in this situation it is how to decrease electricity loss. The main part of the loss is in the asynchronous motors which have power transmission. There are some consumer of electricity which have inductance character. They are also have power losses and they producing reactive power [1].

In thus thesis we will see how to improve efficiency of using electricity and controlling active and reactive power. It is recommended to create control system for measuring main parameters of the electrical devices. For measuring voltage with control system we need to know frequency, amplitude and phase.

Choosing device and software is optimizing quality parameters of the system and controlling errors in measurement also the size of the measurement parameters. At the same times provides using measurement and conversion.

The first results show that this system will reduce power loss and harmful compensation [2].

Литература

7. Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. – М. : НУ ЭНАС, 2002. – 280 с.

8. Воротницкий В.Э., Заслонов С.В., Туркина О.В. Методы и средства расчета, анализа и снижения потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям. – М. : 2006. – 167 с.

References

7. Zhelezko Yu.S. Calculation, analysis and rationing of the electric power losses in the electrical networks. – M. : NU ENAS, 2002. – 280 p.

8. Vorotnitskiy V.E., Zaslonov S.V., Turkina O.V. Methods and means for calculation, analysis and reduction of the electric energy loss at its transmission through the electric networks. – M. : 2006. – 167 p.

УДК 621.31, 62-83, 621.313.33

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЗИНОМОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

●●●●●●

APPLICATION OF POSITIONS FOR DETERMINATION OF OPTIMAL VALUES OF PARAMETERS OF SPECIAL ELECTRIC DRIVES

Афанасьев Виктор Леонидович
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
buguvix@mail.ru

Еременко Сергей Сергеевич
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
ss.erema@mail.ru

Шаго Ярослав Юрьевич
магистрант,
Кубанский государственный
технологический университет

Геккиев Мурат Магаметович
магистрант,
Кубанский государственный
технологический университет

Кондратенко Сергей Евгеньевич
магистрант,
Кубанский государственный
технологический университет

Губский Максим Игоревич
магистрант,
Кубанский государственный
технологический университет

Afanasiev Viktor Leonidovich
Graduate student,
Kuban state technological university
buguvix@mail.ru

Eremenko Sergey Sergeevich
Graduate student,
Kuban state technological university
ss.erema@mail.ru

Shago Yaroslav Yuryevich
Master 's degree,
Kuban state technological university

Gekkiyev Murat Magametovich
Master 's degree,
Kuban state technological university

Kondratenko Sergey Evgenyevich
Master 's degree,
Kuban state technological university

Gubsky Maxim Igorevich
Master 's degree,
Kuban state technological university

Аннотация. В статье показано применение позиномов для определения оптимальных значений параметров специальных электрических приводов. Применение метода геометрического программирования для решения задачи минимизации позиномов позволяет определить оптимальные значения параметров специальных электрических приводов.

Ключевые слова: слова специальный электрический привод, управляемый асинхронный каскадный электропривод, методы оптимизации, электромеханическое преобразование энергии, электромагнитная система.

Annotation. The article shows the use of postimers to determine the optimal values of parameters of special electric drives. Using the geometric programming method to solve the problem of minimization of positions allows to determine optimal values of parameters of special electric drives.

Keywords: special electric drive, controlled asynchronous cascade electric drive, optimization methods, electromechanical transformation of energy, electromagnetic system.

Использование новых устройств [1, 2] в различных отраслях промышленности, модернизация технологий заставляет решать задачи моделирования устройств [3, 4], создания новых методов расчета [5, 6] для определения параметров электрического привода [7, 8]. Для этого необходимо правильно определять электромагнитные [9, 10], конструктивные характеристики [11, 12] и их изменение [14].

Рассмотрим одну их таких задач – задача оптимального планирования. Излагаемая ниже задача является примером задачи оптимального планирования, которая приводит к минимизации позинома.

В техническом проекте общие затраты g представляют собой сумму затрат на компоненты ui; так:

$$g = u_1 + u_2 + \cdots + u_n. \quad (1)$$

Часто затраты на компоненты могут быть выражены через степенную функцию:

$$u_i = c_i t_1^{a_{i1}} t_2^{a_{i2}} \cdots t_m^{a_{im}}. \quad (2)$$

Здесь коэффициент c_i – положительная постоянная, а показатели степени a_{ij} – произвольные вещественные числа. Параметры проекта t_1, t_2, ..., t_m считаются положительными переменными. При этих ограничениях функция g будет называться позиномом. Во многих случаях законы природы (или законы экономики) прямо приводят к таким функциям. В других случаях эта функциональная зависимость дает хорошее соответствие с опытом в широком диапазоне параметров t_j.

Метод геометрического программирования особенно удобен для решения задачи минимизации позиномов. Характерной особенностью геометрического программирования является то, что в нем основную роль играют члены u_i, входящие в позиномы g. Обычно в задачах такого типа внимание концентрируется в первую очередь на определении независимых переменных t_j. В настоящем методе, напротив, все усилия направлены на определение минимальных затрат и относительного вклада различных членов в эти минимальные затраты. Только после этого ставится вопрос об определении оптимальных значений параметров t_j.

Использование позиномов позволит правильно исследовать электромеханические процессы, происходящие в специальных электрических приводах, создавать [14] и корректировать [15, 16] программные продукты для моделирования таких систем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям, договор № 14695ГУ/201.

Литература

1. Афанасьев В.Л. Управляемый каскадный электрический привод / В.Л. Афанасьев, В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // патент на полезную модель RU 191959 U1, 28.08.2019, заявка № 2019111630 от 16.04.2019.

2. Карандей В.Ю. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 08 (132). – С. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.

3. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimum modeling and design of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev. Advances in Engineering Research conference proceedings. Vol. 157, 242–247 pp., 2018. doi:10.2991/aime-18.2018.47.

4. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052002, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052002.

5. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of efficiency of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69–74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.

6. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052003, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052003.

7. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, T. 5, 052009, 2018. doi: 10.1088/1755-1315/194/5/052009.

8. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.

9. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода аксиальной конструкции / В.Ю. Карандей, В.Н. Кишко, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 10 (134). – С. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.

10. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода цилиндрической конструкции / В.Ю. Карандей, В.В. Квочкин, В.Л. Афанасьев, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 09 (133). – С. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.

11. Карандей В.Ю. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06 (120). – С. 563–574. – IDA [article ID]: 1201606039. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/39.pdf

12. Карандей В.Ю. Подход к определению магнитных параметров управляемого асинхронного каскадного электрического привода с уточненной геометрией / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06 (120). – С. 575–586. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf

13. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.

14. Карандей В.Ю. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев,

Ф.С. Абанин, В.В. Квочкин, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06 (120). – С. 587–605. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf

15. Попов Б.К. Программа для расчета магнитной системы ротора методом магнитных цепей / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614047, зарегистрировано 30.06.2008 г.

16. Попов Б.К. Программа расчета токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614048, зарегистрировано 30.06.2008 г.

References

1. Afanasiev, V.L. Controlled cascade electric drive / V.L. Afanasiev, V.Yu. Karandey, B.K. Popov // Patent for useful model RU 191959 U1, 28.08.2019, application number 2019111630 of 16.04.2019.

2. Karandey V.Yu. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / V.Yu. Karandey, V.L. Afanas'ev // Polythematic network electronic scientific journal of Kuban state agrarian university. – 2017. – № 08 (132). – P. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.

3. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimum modeling and design of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev. Advances in Engineering Research conference proceedings. Vol. 157, 242–247 pp., 2018. doi:10.2991/aime-18.2018.47.

4. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052002, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052002.

5. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of efficiency of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69–74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.

6. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052003, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052003.

7. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, T. 5, 052009, 2018. doi: 10.1088/1755-1315/194/5/052009.

8. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.

9. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model of the controlled asynchronous cascade electric drive component of the axial design / V.Yu. Karandey, V.N. Kishko, V.L. Afanasiev V.V. Kvochkin // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. – 2017. – № 10 (134). – P. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.

10. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model of the controlled asynchronous cascade electric drive component of the cylindrical design / V.Yu. Kvochkin, V.L. Afanas'ev, V.N. Kishko // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. – 2017. – № 09 (133). – P. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.

11. Karandey V.Yu. Development of the approach to the magnetic flux calculation of a single coil group of the winding stator of the controlled asynchronous cascade electric drive component / V.Yu. Kvochkin, V.N. Kishko // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (Kuban State Agrarian University Scientific Journal). – Krasnodar : Kuban State Agrarian University, 2016. – № 06 (120). – P. 563–574. – IDA [article ID]: 1201606039. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/39.pdf

12. Karandey V.Yu. Approach to determination of the magnetic parameters of the controlled asynchronous cascade electric drive with the specified geometry / V.Yu. Karandey, Yu. Karandey, V.L. Afanasyev. – Krasnodar : Kuban State Agrarian University, 2016. – № 06 (120). – P. 575–586. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf

13. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special elec-tric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineer-ing and Modern Technologies (FarEastCon) 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.

14. Karandey V.Yu. Development of the electromagnetic parameters calculation algorithm for the controlled asynchronous cascade electric drive component stator / V. Yu. Karandey, Yu.Yu. Karandey, V.L. Afanasyev, F.S. Abanin, V.V. Kvochkin, V.N. Kishko // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban state agrarian university (Kuban scientific journal). – Krasnodar : Kuban State Agrarian University, 2016. – № 06 (120). – P. 587–605. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf

15. Popov B.K. Program for the rotor magnetic system calculation by a magnetic circuit method / B.K. Popov, V.Yu. Karandey // Registration certificate for Computer RU № 2008614047, registered 30.06.2008.

16. Popov B.K. Program for the stator and rotor current calculation in a cascade electric drive / B.K. Popov, V.Yu. Karandey // Program registration certificate for Computer RU № 2008614048, registered 30.06.2008.

УДК 621.31, 62-83, 621.313.33

ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ НА ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СРЕДНЕГО

●●●●●●

OPTIMIZATION OF SPECIAL ELECTRIC DRIVES BASED ON GEOMETRIC AVERAGE

Афанасьев Виктор Леонидович
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
buguvix@mail.ru

Карандей Юрий Юрьевич
ПАО «РОССЕТИ»

Аннотация. В статье показан путь оптимизации специальных электрических приводов на основе геометрического среднего. Решение задачи позволяет получить соответствующее взвешенное геометрическое среднее. Такой подход позволяет решать задачи оптимизации специальных электрических приводов.

Ключевые слова: слова специальный электрический привод, управляемый асинхронный каскадный электропривод, методы оптимизации, геометрическое среднее электромеханическое преобразование энергии, электромагнитная система.

Afanasiev Viktor Leonidovich
Graduate student,
Kuban state technological university
buguvix@mail.ru

Karandey Yury Yuryevich
PJSC ROSSETI

Annotation. The article shows the way to optimize special electric drives based on geometric average. The solution of the problem allows to obtain the corresponding weighted geometric average. This approach allows to solve problems of optimization of special electric drives.

Keywords: special electric drive, controlled asynchronous cascade electric drive, optimization methods, geometrical average, electromechanical transformation of energy, electromagnetic system.

Электрический привод является одним из основных потребителей электрической энергии. Для реализации технологического процесса на производстве используют различные виды электрических приводов. Для различные отраслей промышленности необходимы специальные электрические приводы [1, 2]. Проектирование и создание таких типов электроприводов является довольно сложной задачей. Необходимо создать новые модели устройств [3, 4], новых методов расчета [5, 6], определить оптимальных параметры электрического привода [7, 8], мощности и момента на валу привода [9, 10]. Такие подходы позволяют довольно точно определять искомые параметры [11, 12] и решать задачи оптимизации [13, 14].

Одним из подходов для реализации задачи оптимального проектирования специальных электрических приводов – использование геометрического среднего.

Для исследования задачи минимизации позинома используется неравенство, согласно которому арифметическое среднее не превосходит геометрического среднего. Для краткости мы назовем его геометрическим неравенством. Простейшим геометрическим неравенством является такое неравенство:

$$\frac{1}{2}U_1+\frac{1}{2}U_2 \geq U_1^{1/2}U_2^{1/2}, \qquad (1)$$

где U_1 и U_2 – неотрицательные числа. Чтобы доказать это, заметим, что:

$$(U_1-U_2)^2 \geq 0$$

или

$$U_1^2-2U_1U_2+U_2^2 \geq 0,$$

откуда:

$$U_1^2+2U_1U_2+U_2^2 \geq 4U_1U_2.$$

Извлечение квадратного корня из последнего неравенства дает неравенство (1). Заметьте, что геометрическое неравенство становится равенством тогда и только тогда, когда $U_1 = U_2$. В качестве первого обобщения неравенства (1) рассмотрим арифметическое среднее четырех неотрицательных чисел U_1, U_2, U_3 и U_4. Тогда из (1) следует, что:

$$\frac{1}{4}U_1+\frac{1}{4}U_2+\frac{1}{4}U_3+\frac{1}{4}U_4 \geq \left(\frac{U_1+U_2}{2}\right)^{1/2}\left(\frac{U_3+U_4}{2}\right)^{1/2}.$$

Применяя (1) еще два раза, получаем:

$$\frac{1}{4}U_1+\frac{1}{4}U_2+\frac{1}{4}U_3+\frac{1}{4}U_4 \geq U_1^{1/4}U_2^{1/4}U_3^{1/4}U_4^{1/4}.$$

Это другой пример геометрического неравенства. Ясно, что неравенство является строгим неравенством, если $U_1 \neq U_2$. Из соображений симметрии следует, что является равенством тогда и только тогда, когда $U_1 = U_2 = U_3 = U_4$.

Приравнивая некоторые числа U_i, можно получить взвешенное среднее. Так, предположим, что $U_2 = U_3 = U_4$. Тогда неравенство (4) можно переписать в виде:

$$\frac{1}{4}U_1+\frac{3}{4}U_2 \geq U_1^{1/4}U_2^{3/4}. \quad (2)$$

Левая часть этого неравенства представляет собой взвешенное арифметическое среднее чисел U_1 и U_2 с весами 1/4 и 3/4. Правая часть дает соответствующее взвешенное геометрическое среднее.

Применение этого метода совместно с другими оптимизировать электромеханические процессы, происходящие в специальных электрических приводах и создавать программные продукты для моделирования таких систем [15, 16].

Литература

1. Афанасьев В.Л. Управляемый каскадный электрический привод / В.Л. Афанасьев, В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // патент на полезную модель RU 191959 U1, 28.08.2019, заявка № 2019111630 от 16.04.2019.
2. Карандей В.Ю. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 08 (132). – С. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.
3. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода аксиальной конструкции / В.Ю. Карандей, В.Н. Кишко, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 10 (134). – С. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.
4. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода цилиндрической конструкции / В.Ю. Карандей, В.В. Квочкин, В.Л. Афанасьев, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 09 (133). – С. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.
5. Карандей В.Ю. Разработка подхода к расчету магнитного потока одной катушечной группы обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06 (120). – С. 563–574. – IDA [article ID]: 1201606039. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/39.pdf
6. Карандей В.Ю. Подход к определению магнитных параметров управляемого асинхронного каскадного электрического привода с уточненной геометрией / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06 (120). – С. 575–586. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf
7. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.
8. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.
9. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052003, 2018. doi:10.1088/1757-899X/327/5/052003.
10. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, T. 5, 052009, 2018. doi: 10.1088/1755-1315/194/5/052009.
11. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of efficiency of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69–74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.
12. Карандей В.Ю. Разработка алгоритма расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода / В.Ю. Карандей, Ю.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев, Ф.С. Абанин, В.В. Квочкин, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар : КубГАУ, 2016. – № 06 (120). – С. 587–605. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf
13. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimum modeling and design of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev. Advances in Engineering Research conference proceedings. Vol. 157, 242–247 pp., 2018. doi: 10.2991/aime-18.2018.47.

14. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052002, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052002.

15. Попов Б.К. Программа для расчета магнитной системы ротора методом магнитных цепей / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614047, зарегистрировано 30.06.2008 г.

16. Попов Б.К. Программа расчета токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614048, зарегистрировано 30.06.2008 г.

References

1. Afanasiev V.L. Controlled cascade electric drive / V.L. Afanasiev, V.Yu. Karandey, B.K. Popov // Patent for useful model RU 191959 U1, 28.08.2019, application number 2019111630 of 16.04.2019.

2. Karandey V.Yu. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / V.Yu. Karandey, V.L. Afanas'ev // Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University. – 2017. – № 08 (132). – P. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.

3. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model of the controlled asynchronous cascade electric drive component of the axial design / V.Yu. Karandey, V.N. Kishko, V.L. Afanasiev, V.V. Kvochkin // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban state agrarian university. – 2017. – № 10 (134). – P. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.

4. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model of the controlled asynchronous cascade electric drive component of the cylindrical design / V.Yu. Karandey, V.V. Kvochkin, V.L. Afanasyev, V.N. Kishko // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. – 2017. – № 09 (133). – P. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.

5. Karandey V.Yu. Development of the approach to the magnetic flux calculation of a single coil group of the winding stator of the controlled asynchronous cascade electric drive component / V.Yu. Karandey, Yu.Yu. Karandey, V.L. Afanasiev, V.V. Kvochkin, V.N. Kishko // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (Kuban State Agrarian University Scientific Journal). – Krasnodar : Kuban State Agrarian University, 2016. – № 06 (120). – P. 563–574. – IDA [article ID]: 1201606039. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/39.pdf

6. Karandey V.Yu. Approach to determination of the magnetic parameters of the controlled asynchronous cascade electric drive with the specified geometry / V.Yu. Karandey, Yu.Yu. Karandey, V.L. Afanasyev. – Krasnodar : Kuban State Agrarian University, 2016. – № 06 (120). – P. 575–586. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/40.pdf.

7. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.

8. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special elec-tric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.

9. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052003, 2018. doi:10.1088/1757-899X/327/5/052003.

10. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, T. 5, 052009, 2018. doi: 10.1088/1755-1315/194/5/052009.

11. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of efficiency of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69–74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.

12. Karandey V.Yu. Development of the electromagnetic parameters calculation algorithm for the controlled asynchronous cascade electric drive component stator / V.Yu. Karandey, Yu.Yu. Karandey, V.L. Afanasiev, F.S. Abanin, V.V. Kvochkin, V.N. Kishko // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban state agrarian university (Kuban scientific journal). – Krasnodar : Kuban State Agrarian University, 2016. – № 06 (120). – P. 587–605. – URL : http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf.

13. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimal modeling and design of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev. Advances in Engineering Research conference proceedings. Vol. 157, 242–247 pp., 2018. doi: 10.2991/aime-18.2018.47.

14. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052002, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052002.

15. Popov, B.K. Program for the rotor magnetic system calculation by the magnetic circuits method / B.K. Popov, V.Yu. Carandey // Registration certificate for computer RU № 2008614047, registered 30.06.2008.

16. Popov, B.K. Program for the stator and rotor current calculation in a cascade electric drive / B.K. Popov, V.Yu. Karandey // Program registration certificate for Computer RU № 2008614048, registered 30.06.2008.

УДК 621.315.6

ОЦЕНКА РАСХОДА РЕСУРСА БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

●●●●●●

EVALUATION OF PAPER INSULATION RESOURCES FOR POWER TRANSFORMER

Багаутдинова Л.З.
Казанский государственный энергетический университет
lecia_90@mail.ru

Аннотация. Актуальной задачей в ситуации износа силового трансформаторного оборудования является прогнозирование ресурса изоляции. Автором ведутся исследования по известной методике с помощью моделирования, которое позволяет спрогнозировать износ изоляции на длительный сроки.

Ключевые слова: интеграл старения, силовой трансформатор, износ изоляции, прогноз, модели технического состояния и факторов эксплуатации.

Bagautdinova L.Z.
Kazan State Energy University
lecia_90@mail.ru

Annotation. An urgent task in the situation of power transformer equipment wear is to predict the insulation resource. The author conducts research on a well-known method using modeling, which allows you to predict the wear of insulation for a long time.

Keywords: aging integral, power transformer, insulation wear, forecast, models of the technical condition and operating factors.

Для силовых трансформаторов (СТ) – актуальной научно-технической задачей является оценка текущего состояния и прогнозирование остаточного ресурса трансформаторного оборудования. При сроке службы силового трансформатора состояние изоляции является определяющим фактором. В процессе эксплуатации бумажно-масляная изоляция подвергается влиянию повышенной температуры, увлажнению, окислению. Эти факторы оказывают существенное влияние на ее техническое состояние в каждый определенный момент времени, и, соответственно, на срок службы трансформатора [1].

Одним из расчетных методов определения расхода ресурса изоляции обмоток СТ является формула интеграла старения, корректировка которой предложена в работах [1, 2]:

$$L(t_0, t_0 + T) = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} \left(\frac{K}{K_{\text{БАЗ}}}\right)^{2,05} * \left(\frac{W}{W_{\text{БАЗ}}}\right)^{1.493} * exp\left[\ln 2 \frac{(\theta_h - 98)}{\Delta}\right] dt,$$

где $L(t_0, t + T)$ – износ изоляции в интервале времени, который начинается в момент t_0 и имеет длительность T; К, $K_{\text{БАЗ}}$ – текущий и базовый показатель кислотности масла, выраженный в мг КОН/г, соответственно; W, $W_{\text{БАЗ}}$ – текущий и базовый показатель влагосодержания бумажной изоляции, выраженный в % от массы, соответственно; θ_h – температура наиболее нагретой точки изоляции выраженная в °С; Δ – интервал температур θ_h, на котором происходит, при прочих равных условиях, удвоение износа изоляции, Δ = 6 °С или 7 °С в соответствии с международными и российскими стандартами [3].

Подынтегральное выражение в формуле (1) можно представить в виде:

$$V = V_K * V_W * V_\theta,$$

где V – относительная скорость старения бумажной изоляции СТ (за единицу принята скорость старения высушенной и пропитанной маслом бумаги с остаточным содержанием влаги 0,3 % и температуре 98 °С [4]); V_K – относительная скорость старения изоляции, зависящая от степени окисленности трансформаторного масла; V_W – относительная скорость старения изоляции, зависящая от степени увлажненности бумаги; V_θ – скорость термического износа изоляции. Формула (1) справедлива для обычной трансформаторной бумаги. Скорость V_θ, вычисляемая по формуле (3), будет отличаться при использовании термически улучшенной бумаги.

При расчетах используются значения для аппроксимации исходных данных с помощью степенной функции от времени t:

$$V_W = \left(\frac{W(t)}{W_{\text{БАЗ}}}\right)^{1,493}.$$

Результаты расчетов показали, что при увеличении значения W при неизменных значениях других исходных данных пропорциональное отношение V_W, V_θ и V_K резко возрастает.

Цель исследования заключается в повышении достоверности оценки расхода ресурса бумажной изоляции СТ. Для достижения поставленной цели необходимо:

- рассмотреть возможность расширения базы исходных данных для оценки скорости старения;
- провести коррекцию формулы интеграла старения;
- выполнить компьютерное моделирование, которое позволит определить разницу в полученных значениях прогнозируемого износа.

Для оценки влияния изменений V_W, V_θ и V_K под действием внешних воздействий на СТ в период эксплуатации формулы (1) и (5) реализованы как блок оценки износа ОИ в модели для прогнозирования процессов износа изоляции. Данная модель включает вектора параметров прогноза (ПП), модели факторов эксплуатации (ФЭ), технического обслуживания (ТО), технического состояния (ТС) БИ и ТМ, а также генератор меток времени (МВ).

Модель ТС БИ построена на основе уравнения теплового баланса СТ. Она позволяет определить тренд температуры θ_h на основании трендов тока нагрузки I_d, температуры охлаждающей среды θ_a и бинарной переменной управления охлаждением «РЕЖИМ ОХЛ.». Параметрами модели ТС БИ являются напряжение нагрузки U_d, потери P_{xx} холостого хода. По результатам тепловых испытаний расчетным путем определяются следующие параметры СТ: теплоемкость С, тепловое сопротивление «СТ – внешняя среда» в режимах естественного R_N и принудительного R_F охлаждения.

Модель ТС ТМ выполняет расчет трендов показателей W и K на основе экспертных оценок [4] по формулам:

$$W(t) = W_0 + M_W(t - T_{TO});$$
$$K(t) = K_0 + M_K(t - T_{TO}),$$

где W_0, K_0 – показатели W и K в момент начала эксплуатации и после завершения ТО; M_W, M_K – коэффициент приращения показателей W и K в процессе старения ТМ.

Модель ФЭ прогнозирует уровень тока I_d и температуры θ_a. В качестве модели температуры охлаждающей среды θ_a использована двойная синусоидальная функция [3], которая дополнена компонентой многолетних климатических изменений.

Входные параметры и структура тренда I_d зависят от требований к точности прогноза расхода ресурса изоляции, наличия данных мониторинга параметров СТ в периоды предшествующие моменту прогноза, детальности данных о предполагаемых нагрузках СТ в период прогноза. В качестве модели I_d использована модель:

$$I_d = P_{\text{г}} * I_{\text{г}av} * N_{\text{г}} + \Delta I_{d\text{г}} * P_c(N_{d\text{г}}) * \Delta I_{dc} * P_d(N_c),$$

где $P_{\text{г}}$ – коэффициент изменения среднегодового тока; $I_{\text{г}av}$ – среднегодовой ток нагрузки на момент прогноза; $\Delta I_{d\text{г}}$ – среднегодовое изменение тока нагрузки; P_c – коэффициент среднесуточных изменений; ΔI_{dc} – среднесуточные изменения тока нагрузки; $P_d(N_{d\text{н}})$ – коэффициент зависимости от дня недели; $N_{d\text{г}}$ – номер дня в неделе.

Для расчета прогнозируемого тренда тока I_d используются следующие исходные данные данные:

$P_{\text{г}}$ = 0,000415; $I_{\text{г}av}$ = 244,2 А; ΔI_{dc} = 20 А; $\Delta I_{d\text{г}}$ = 20 А.

Модель ТО формирует команды на включение охлаждения РЕЖИМ ОХЛ и техническое обслуживание масла ТО основываясь на входных данных уставки охлаждения θ_0 и режимах ТО ТМ (плановое, по техническому состоянию), базовых показателях ТМ ($K_{\text{БАЗ}}$, $W_{\text{БАЗ}}$) а также выходных данных модели ТС (θ_h, W, K). В контуре регулирования температуры модель ТО содержит релейный регулятор. В контуре ТО ТМ модель ТО содержит блоки сравнения текущего модельного времени с временем планового ТО; текущих значений W, K с максимально допустимыми W_{max}, K_{max}.

Команда ТО представляет собой логическое ИЛИ перечисленных результатов сравнения. По этой команде текущие значения K и W в блоке ТС ТМ уменьшаются до $K_{\text{БАЗ}}$, $M_{\text{БАЗ}}$.

С использованием формул (1) проведено компьютерное моделирование расхода ресурса изоляции СТ в течение предстоящих десяти лет эксплуатации.

По данной методике автором ведутся исследования для трансформатора ТДЦ 125 000/110 со сроком эксплуатации более 25 лет.

Проведенное моделирование по уточненной формуле интеграла старения показало снижение влияния влажности при высоких ее содержаниях ($W \geq 3$ %) на износ изоляции СТ на 45 %. Однако из-за того, что в таких условиях СТ работает 10–20 % процентов времени, снижение износа L составляет 22,4 %.

Полученные значения в большей степени отвечают практическому опыту эксплуатации СТ. Использование дополнительных данных для моделирования скорости старения бумажной изоляции существенно изменяет полученные результаты. Компьютерная модель износа изоляции с применением

уточненной формулы позволяет выполнить моделирование износа изоляции в течение 25 лет эксплуатации и провести сравнительный анализ полученных результатов, который показал фактическое уменьшение износа.

Литература

1. Василевский В.В. Оценка расхода бумажной изоляции силового маслонаполненного трансформатора с помощью уточненной формулы интеграла старения // ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА. – Издательство: Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»(Харьков) ISSN: 2074-272XeISSN: 2309-3404; Електротехніка і електромеханіка. – 2015 – № 1. – С. 16–19.

2. Васин В.П., Долин А.П. Ресурс изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов // Электро. – 2008. – № 3. – С. 12–17.

3. Васин В.П., Долин А.П. К задаче оценки остаточного ресурса изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов // Новое в российской электроэнергетике. – 2008. – № 3. – С. 42–55.

4. Васин В.П., Долин А.П. Ресурс изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2008. – №3. – С. 12–17.

5. ИЕС 60076-7 Ed. 1: Power transformers – Part 1: Loadin guide for oil-immersed power transformers. Vol. 14/512/FDИS. Sept. 2005.

References

1. Vasilevsky V.V. Estimation of paper insulation consumption of a power oil-filled transformer using a refined formula of the integral of aging // ELECTROMECHANIKA. – Publishing House: National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute» (Kharkov) ISSN: 2074-272XeISSN: 2309-3404; Electrical engineering and electrical engineering. – 2015 – № 1. – P. 16–19.

2. Vasin V.P., Dolin A.P. Insulation resource of power oil-filled transformers // Electro. – 2008. – № 3. – P. 12–17.

3. Vasin V.P., Dolin A.P. To the task of assessing the residual insulation resource of power oil-filled transformers // New in the Russian electric power industry. – 2008. – № 3. – P. 42–55.

4. Vasin V.P., Dolin A.P. Insulation resource of power oil-filled transformers // ELECTRO. Electrical engineering, electric power industry, electrical industry. – 2008. – № 3. – P. 12–17.

5. IEC 60076-7 Ed. 1: Power transformers – Part 1: Loadin guides for oil-immersed power transformers. Vol. 14/512 / FDIS. Sept. 2005.

УДК 621.316.3

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

●●●●●●

THE ASSAYING OF OPERATION MODES OF THE GENERATOR HIGH-VOLTAGE SWITCHES

Баландин Виталий Сергеевич
магистр,
старший преподаватель
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Нешина Елена Геннадьевна
магистр,
старший преподаватель
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Дуйсенбаева Молдир Серикбековна
магистр,
преподаватель кафедры
энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Пономарев Антон Анатольевич
Магистрант 1 курса
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет
m_o_l_d_i_r_89@mail.ru

Balandin Vitaliy Sergeevich
Master's degree,
Senior lecturer
of the Department of energy systems,
Karaganda state technical university

Neshina Yelena Gennadievna
Master's degree,
Senior lecturer
of the Department of energy systems,
Karaganda state technical university

Duisenbayeva Moldir Serikbekovna
Master's degree,
teacher of the Department of energy systems,
Karaganda state technical university

Ponomarev Anton Anatolyevich
1st year master's student
of the Department of energy systems,
Karaganda state technical university
m_o_l_d_i_r_89@mail.ru

Аннотация. Электроэнергетические системы, как и их элементы в процессе эксплуатации постоянно находятся под воздействием разнообразных внешних и внутренних факторов: неблагоприятные атмосферные явления, повышенная влажность, агрессивных сред, пыли, механических и электрических нагрузок и т.д. В настоящее время износ электрооборудования сетевых и генерирующих компаний превышает 60 %. Выключатель высокого напряжения является основным коммутационным аппаратом в электрических установках. Он служит для отключения и включения цепи в разных режимах: длительная нагрузка, перегрузка, короткое замыкание, холостой ход, несинхронная работа. Наиболее тяжелой и ответственной операцией является отключение токов КЗ и включение на существующее короткое замыкание.

Ключевые слова: высоковольтные выключатели, дуга Майера, дуга Касси, коммутационные способности, генераторные выключатели.

Annotation. Electric power systems, as well as their elements, are constantly under the influence of various external and internal factors during operation: adverse atmospheric phenomena, high humidity, aggressive environments, dust, mechanical and electrical loads, etc. currently, the wear of electrical equipment of network and generating companies exceeds 60 %. The high-voltage switch is the main switching device in electrical installations. It is used to disable and enable the circuit in different modes: long-term load, overload, short circuit, idle, non-synchronous operation. The most difficult and responsible operation is to turn off the short-circuit currents and switch on the existing short circuit.

Keywords: high-voltage switches , Friend Major, Duk Cassi, switching capacity, generator switches.

При установке генераторных высоковольтных выключателей в электрических сетях мощных блоков, необходимо рассмотреть ряд задач для анализа требований к системе мер, обеспечивающих надежную эксплуатацию изоляции электрооборудования блока. К этим задачам можно отнести:

- Разработку математической модели высоковольтного выключателя, сравнение собственного переходного восстанавливающегося напряжения – СПВН (не учитываются процессы в дуге), и переходного восстанавливающегося напряжения – ПВН (при учёте процессов в дуге).

- Анализ собственных переходных восстанавливающихся напряжений, возникающих на контактах генераторных выключателей при отключении токов короткого замыкания в цепях блоков, и формирование требований к отключающей и коммутационной способности высоковольтных выключателей;
- Исследование процессов, сопровождающих включение высоковольтных выключателей блоков при отключённом генераторном выключателе.

Основы математического описания дуговых процессов в выключателях заложены еще в середине прошлого века, исследователями Касси [1] и Майером [2] ими были получены первые зависимости проводимости дуги от тока и напряжения дуги, которые показывали электрические свойства реального дугового промежутка между контактами в выключателях. Полученные уравнения в силу несовершенства не учитывали ряда факторов, которые, влияют на процессы возникновения дуги, например – свойства контактного материала, температуру дуги, размер и др. Однако, экспериментальные исследования [3] доказали, что уравнения Майера и Касси при опытном нахождении некоторых параметров, входящих в состав математических уравнений, достаточно точно описывают дуговые процессы в выключателях, и построенные на их основе математические модели имеют хорошую сходимость с экспериментальными результатами.

Процесс гашения дуги в элегазовых выключателях происходит при прохождении током нулевого значения, при этом проводимость дуги представляет собой нелинейную величину, значение которой изменяется в различных стадиях отключения тока. Успешность же отключения тока зависит как от величины тока, так и от конструкции контактной системы. Однако, экспериментальными путём [4] было установлено, что при достижении нелинейной проводимостью дуги величины порядка 106 Ом, происходит её гашение. В противном случае будут иметь место повторные зажигания, и дуга в выключателе будет продолжать гореть до перехода тока промышленной частоты через нулевое значение. Сразу же после успешного гашения дуги, между контактами выключателя начинаются процессы восстановления напряжения, но некоторое время из-за большого разогрева межконтактного промежутка, когда диэлектрические свойства элегаза ещё не восстановились в полной мере, между контактами протекает небольшой ток, который зафиксирован экспериментально и получен на компьютерной модели.

Выражения (1) и (2) представляют собой уравнения Майера и Касси. Уравнение Касси (2) описывает процесс горения дуги при больших токах, то есть в начальной стадии расхождения контактов до момента перехода тока через ноль, в то время как уравнения Майера (1) отражает поведение дугового промежутка в момент перехода тока непосредственно через нулевое значение:

$$\frac{1}{g_m}\frac{dg_m}{dt} = \frac{1}{\tau_m}\left(\frac{ui}{P_0} - 1\right). \quad (1)$$

$$\frac{1}{g_c}\frac{dg_c}{dt} = \frac{1}{\tau_c}\left(\frac{u^2}{U_c^2} - 1\right). \quad (2)$$

где g_c, g_m, τ_c, τ_m – проводимости дуги и постоянные времени, P_0 – отводимая тепловая мощность, U_c – напряжение, u, i – напряжение и ток в дуге.

Как видно из уравнений, на каждом шаге решения уравнений в качестве выходной переменной является проводимость межконтактного промежутка. Математическая реализация данных уравнений выполнена в пакете MATLAB Simulink. Проверка модели производилась применительно к элегазовому выключателю Siemens на класс напряжения 110 кВ, так как для этого выключателя в [4] экспериментально были получены коэффициенты, входящие в уравнения (1) и (2). Амплитуда отключаемого тока КЗ в экспериментах составляла I_m = 19 кА. $\tau_т$ = 0.27 мкс, P_0 = 6200 Вт, τ_c = 0,8 мкс, U_c = 2250 В.

Рассмотрим экспериментальный контур рисунок 1, моделирующий КЗ на линии с параметрами, приведенными в таблице 1 [5], и проведём анализ моделей, предложенных Касси и Майером.

Таблица 1 – Параметры экспериментального контура для исследования моделей дуги

Параметр контура	Значение
Д1, Ом	29,8
R2, Ом	450
LI, Гн	3,52e-03
L2, Гн	5,28e-3
L3, Гн	6,256e-4
C1, Ф	1,98e-6
C2, Ф	1,93e-9
Ет, В	59196

Для того чтобы модель была полной и адекватной, необходимо использовать как модель дуги Майера, так и модель дуги Касси.

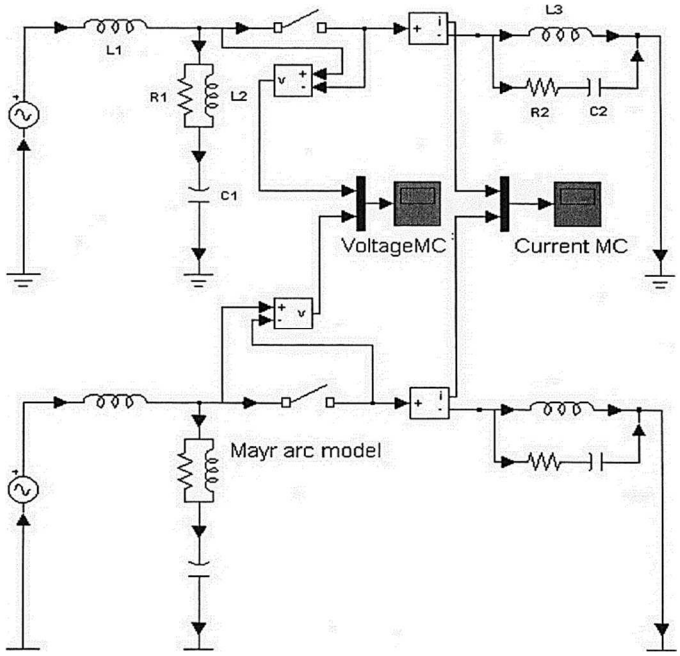


Рисунок 1 – Экспериментальный контур для исследования моделей дуги

Объединение двух моделей в одну позволит рассчитывать процессы на всём временном интервале отключения: как в момент прохождения тока через ноль, так и между полупериодами. Тем не менее, математическая модель, разработанная Хабеданком [4] показывает хорошее совпадение с экспериментальными данными [5], при четырёх неизвестных параметрах, определяемых уравнениями Майера и Касси. Согласно разработанной теории, проводимость дуги (1) и (2) представлялась в виде (3):

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{g_m} + \frac{1}{g_c}. \qquad (3)$$

В компьютерной модели элегазового выключателя, реализация уравнения (3) производится аналогично реализации (1) и (2). Модель дуги Хабеданка на базе уравнений Майера и Кассии также реализована в пакете MATLAB Simulink, при использовании исходных данных, приведенных в [4, 5]. На рисунке 2 представлена компьютерная осциллограмма напряжения и тока между контактами элегазового выключателя с использованием объединённой модели дуги Хабеданка.

Таким образом, на рисунке 2 приведена полная картина изменения напряжения и тока между контактами выключателя в процессе его отключения.

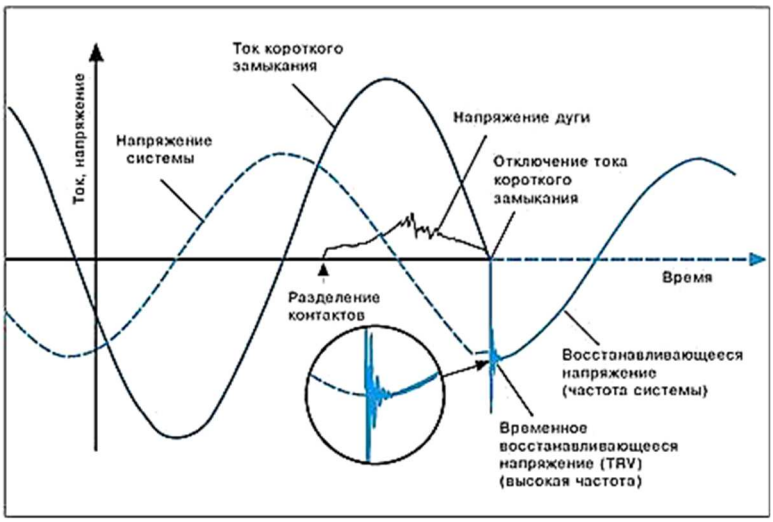


Рисунок 2 – Ток и напряжение между контактами элегазового выключателя при отключении

Рассматривая уравнения математической модели, на каждом шаге в качестве выходной переменной будет являться проводимость межконтактного промежутка. Математическая реализация уравнений Майера и Касси выполнена в программе MATLAB Simulink. Проверка модели произведена на элегазовом выключателе Siemens на напряжение 110 кВ, так как для этого выключателя в [5] экспериментально были получены необходимые коэффициенты.

Анализ сравнительных процессов между контактами выключателя при учёте и не принятия в учёт процессов в дуге показал, что не учёт процессов в дуге не приводит к серьезной ошибке, но только при определении скорости восстанавливающего напряжения или после успешного гашения дуги в реальной конструкции, действующего элегазового выключателя [5].

Требования, выдвигаемые к отключающей способности выключателей, определяются, в основном величиной отключаемого тока. То есть, надежность отключение короткого замыкания зависит как от величины отключаемого тока, при данном классе напряжения, определяющем разрывную мощность выключателя, так и от СПВН [5].

Для обеспечения надежного отключения трехфазных КЗ в цепи генераторного блока величина дополнительной емкости, устанавливаемой со стороны трансформатора, и может быть принята на уровне не менее 270 нФ, а со стороны генератора – на уровне 110–140 нФ. Как видно из рисунка 3, при отключении произошло два повторных зажигания дуги. Согласно расчётам и исходным данным [5], ток КЗ на уровне I_m = 57–58 кА является предельным для выключателя SIEMENS – 110 kV, с регламентируемым амплитудным током КЗ I_m = 54 кА, можно сделать вывод, что моделирование выключателя в виде идеального ключа даёт достоверную информацию о скорости восстановления напряжения, так как процессы после погасания дуги в сравниваемых моделях практически одинаковы.

Модель элегазового выключателя, предложенная Хабеданком на основе уравнений Майера и Касси с экспериментальными параметрами [3] для выключателя SIEMENS 110 kV позволяет моделировать дуговые процессы при отключении токов КЗ. Результаты, полученные с помощью компьютерного моделирования, практически полностью совпадают с результатами, полученными при отключении реального аппарата.

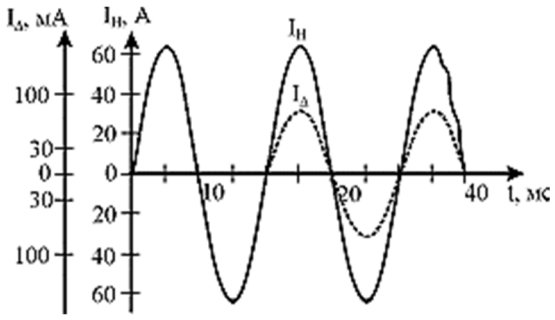


Рисунок 3 – Процессы изменения тока на контактах элегазового выключателя SIEMENS – 110

Модель элегазового выключателя, предложенная Хабеданком на основе уравнений Майера и Касси с экспериментальными параметрами [3] для выключателя SIEMENS 110 kV позволяет моделировать дуговые процессы при отключении токов КЗ. Результаты, полученные с помощью компьютерного моделирования, практически полностью совпадают с результатами, полученными при отключении реального аппарата.

Сравнительный анализ процессов между контактами выключателя при учёте и не учёте процессов в дуге показал, что не учёт процессов в дуге не приводит к ошибке при определении скорости восстанавливающегося напряжения после успешного погасания дуги в реальной конструкции элегазового выключателя.

Основная сложность при создании универсальной модели элегазового выключателя заключается в определении параметров уравнений Майера и Касси, которые могут быть найдены либо опытным путём, при проведении специальных экспериментов, либо путем осциллографирования процессов отключения в реальных конструкциях.

Литература

1. Cassie A.M. Theorie Nouvelle des Arcs de Rupture et de la Rigidite des Circuits, C1GRE Report 102, 193 pp. 588–608.

2. Mayr O. Beitrage zur Theorie des Statischen und des Dynamichen Lichtbogens, Archiv fur Elektrotechnik, Band 37, Heft 12, 1943, pp. 588–608.

3. Беляков Н.Н., Кадомская К.П. Процессы при однофазном автоматическом повторном включении линий высоких напряжений / под редакцией М.Л. Левинштейна. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.

4. Bizjak P., Zunko D. Combined model Circuit Breaker for Use in Digital Simulation Programs, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19., pp. 174-181, Jan. 2004.
5. Нешина Е.Г. Исследование и разработка мер, повышающих надежность эксплуатации изоляции электрооборудования ТЭС : дисс. … м-ра тех. наук. – М., 2012. – 56 с.

References

1. Cassie A.M. Theorie Nouvelle des Arcs de Rupture et de la Rigidite des Circuits, C1GRE Report 102, 193 pp. 588–608.
2. Mayr O. Beitrage zur Theorie des Statischen und des Dynamichen Lichtbogens, Archiv fur Elektrotechnik, Band 37, Heft 12, 1943, pp. 588–608.
3. Belyakov N.N., Kadomskaya K.P. Processes at single-phase automatic re-energization of the high voltage lines / edited by M.L. Levinstein. – M. : Energoatomizdat, 1991. – 256 p.
4. Bizjak P., Zunko D. Combined model Circuit Breaker for Use in Digital Simulation Programs, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19., pp. 174–181, Jan. 2004.
5. Neshina E.G. Research and development of the measures increasing the operation reliability of the TPP electrical equipment isolation : dissertation. ... mr. of technical sciences. – M., 2012. – 56 p.

УДК 621.314.58

ПРИМЕНЕНИЕ ИНВЕРТОРОВ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (В СОСТАВЕ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ОТ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ)

●●●●●●

APPLICATION OF INVERTERS AT OBJECTS OIL AND GAS INDUSTRY (IN COMPOSITION OF FREQUENCY CONVERTERS, IN COMPOSITION OF POWER SUPPLY SYSTEMS PHOTOELECTRIC CONVERTERS)

Белов Антон Алексеевич
кандидат технических наук
belov.anton.7@mail.ru

Кашин Александр Яковлевич
командир корабля (на самолетах АН-26)
jlms_1@mail.ru

Шкода Валентин Васильевич
кандидат педагогических наук, доцент,
доцент кафедры физики и электротехники,
Краснодарского высшего военного
авиационного училища летчиков
vshkoda@mail.ru

Сидоренко Вера Степановна
кандидат педагогических наук, профессор,
преподаватель кафедры физики и электротехники,
Краснодарского высшего военного
авиационного училища летчиков
vera_sidorenko_47@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены обобщенные схемы применения инверторов в составе ПЧ и ФЭП на объектах нефтегазовой промышленности.

Ключевые слова: инвертор, преобразователь частоты, фотоэлектрический преобразователь.

Belov Anton Alexeevich
Candidate of Technical Sciences
belov.anton.7@mail.ru

Kashin Aleksandr Yakovlevich
Aircraft commander (to the Antonov An-26)
jlms_1@mail.ru

Skoda Valentin Vasilyevich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of physics and electrical engineering,
Krasnodar Air Force institute for pilot
vshkoda@mail.ru

Sidorenko Vera Stepanovna
Candidate of Technical Sciences, Professor,
lecturer of the Department of physics
and electrical engineering,
Krasnodar Air Force institute for pilot
vera_sidorenko_47@mail.ru

Annotation. In this article provides generalized schemes for the using of the inverters in composition of frequency converters and photoelectric converters at oil and gas facilities.

Keywords: inverter, frequency converter, photoelectric converter.

В данной работе применены следующее сокращения:

АВР – автоматический ввод резерва.
АИМ – амплитудно-импульсная модуляция.
АКБ – аккумуляторные батареи.
ВИМ – время-импульсная модуляция.
ВЭУ – ветроэлектрическая установка.
ВИЭ – возобновляемые источники энергии.
ИБП – источник бесперебойного электроснабжения.
ИП – инверторный преобразователь (от ВИЭ).
ОНГП – объект(ы) нефтегазовой промышленности.
ПЧ – преобразователь частоты.
РУ – распределительное устройство.
СМ – ступенчатая модуляция.
УС – управляющий сигнал.
ФЭП – фотоэлектрические преобразователи.
ШИМ – широтно-импульсная модуляция.

Инверторы – устройства, преобразующие постоянный ток в переменный с неизменной или регулируемой частотой [1].

В настоящее время инверторы и устройства на их основе находят все большее применение в промышленности и в быту [1, 2].

В данной работе рассмотрим применение инверторов в составе ПЧ электропривода и в составе систем электроснабжения ОНГП от ФЭП, преимущества и недостатки их использования.

Примечание: подразумевается, что силовые каскады обозначенных в работе инверторов выполнены на современной элементной базе: MOSFET или IGBT транзисторах.

Вначале рассмотрим применение инверторов в составе ПЧ.

Цель применения ПЧ – управление электродвигателем привода механизмов технологических установок с помощью изменения напряжения и/или частоты.

Следует отметить, что на ОНГП в качестве указанных технологических установок подразумеваются, в первую очередь, различного вида насосы (диафрагменные, гидропоршневые, магистральные, винтовые, штанговые и т.д.).

Обобщенная схема ПЧ, работающего на трехфазный электродвигатель (М), приведена на рисунке 1 [3].

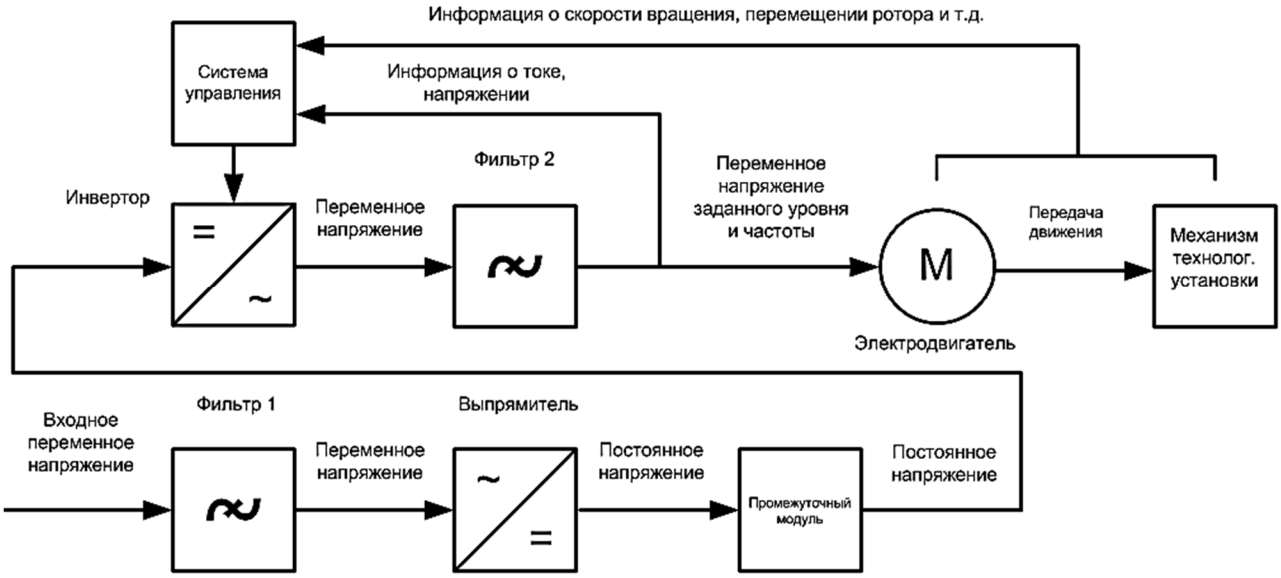


Рисунок 1 – Обобщенная блок-схема ПЧ, работающего на трехфазный электродвигатель

Входное переменное напряжение (однофазное или трехфазное) преобразуется выпрямителем в постоянное. В качестве промежуточного модуля в звене постоянного тока может быть применен дополнительный электрофильтр, схема снижения пусковых токов [3], вход электропитания от автономного источника постоянного тока [4, 5] и др.

Инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное трехфазное (в данной схеме) заданной частоты и амплитуды. Обычно система управления инвертором построена на основе логических элементов или контроллера. Регулировка частоты и уровня напряжения осуществляется системой управления в зависимости от параметров обратной связи (напряжения, тока, скорости вращения ротора, положения ротора и т.д.). Следует отметить, что система управления может иметь несколько заданных режимов работы в зависимости от технологического назначения электродвигателя (рис. 1). Режим работы частотного преобразователя может быть выбран автоматически или (и) оператором. Примечние: в данной работе подразумевается, что инверторы

Фильтр 1 – препятствует попаданию возникающих в ПЧ помех в питающую сеть.

Фильтр 2 – служит для снижения помех от инвертора на выходе ПЧ.

К элементам преобразователя могут быть подключены датчики контрольно-измерительных приборов и системы мониторинга.

Необходимо отметить, что подавляющее большинство ПЧ работают с инверторами ШИМ или (и) ВИМ типа преобразования. Однако, при малых и средних мощностях, возможно применение АИМ инверторов (другое название – СМ-инверторы), что позволит уменьшить индуктивность, емкость, объем и массу фильтров в ПЧ [6, 7].

Основные преимущества применения ПЧ, имеющих в своей структуре инвертор, на ОНГП следующие:

– экономия электроэнергии (от 30 до 60 %) [8];
– плавное управление, снижающее вероятность гидроударов [8];
– снижение пусковых токов;
– возможность применения нескольких параллельных насосов различной производительности в одной магистрали [8].

Основные недостатки применения частотных преобразователей:

– достаточно высокая стоимость;
– генерация помех в питающую сеть и, как следствие, необходимость установки фильтров (рис. 1).

Рассмотрим применение устройств (систем) на основе инверторов в части электропитания ОНГП от ФЭП.

Обобщенная структурная блок-схема электроснабжения ОНГП приведена на рисунке 2. В данной схеме не показаны повышающие/понижающие трансформаторы, напряжения питающих фидеров, коммутационные устройства и уровни напряжения.

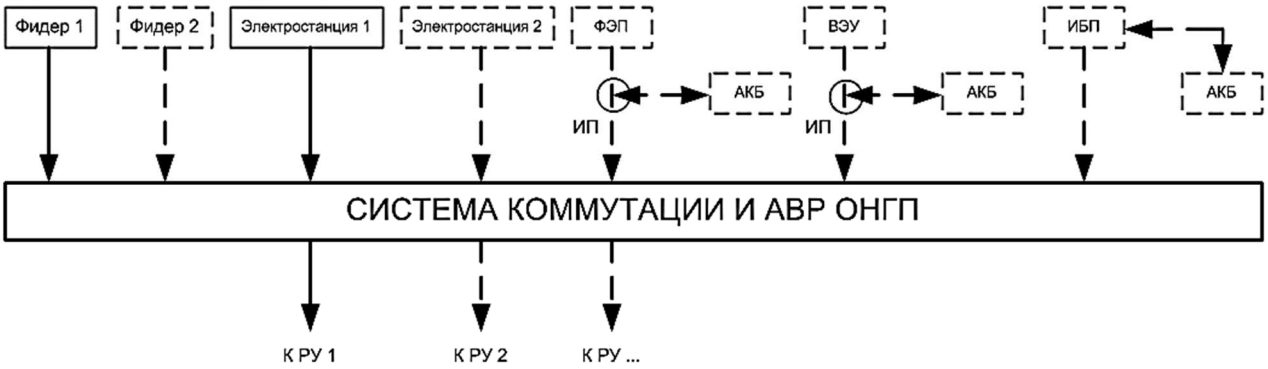


Рисунок 2 – Обобщенная структурная блок-схема электроснабжения ОНГП

В зависимости от удаленности от стационарных сетей и требований к надежности, электроснабжение ОНГП может осуществляться:

– от одного или двух фидеров (вводов) стационарной электросети;
– без фидеров (вводов) стационарной электросети (удаленный объект);
– от одной питающей собственной электростанции (газовой, дизельной или другого типа);
– от нескольких питающих собственных электростанции (газовых, дизельных или другого типа);
– с использованием одной резервной электростанции (часто дизельной, газовой);
– с использованием нескольких собственных резервных электростанций (часто дизельных, газовых);
– при использовании ФЭП без АКБ (гибридная система);
– при использовании ВЭУ без АКБ (гибридная система);
– при использовании ФЭП с АКБ;
– при использовании ВЭУ с АКБ;
– при использовании ФЭП с АКБ (гибридная система);
– при использовании ВЭУ с АКБ (гибридная система);
– при использовании ИБП с АКБ (обычно ИБП применяются для бесперебойного электропитания при проведении коммутационных переключений, запуске резервной электростанции).

В схеме рисунка 2 преобразователи на основе инверторов от ВИЭ показаны как «ИП». Контроллер ФЭП, контроллер ВЭУ могут быть встроены в ИП или выполнены в виде отдельных устройств.

Рассмотрим обобщенную схему электропитания ОНГП от ФЭП (рис. 3).

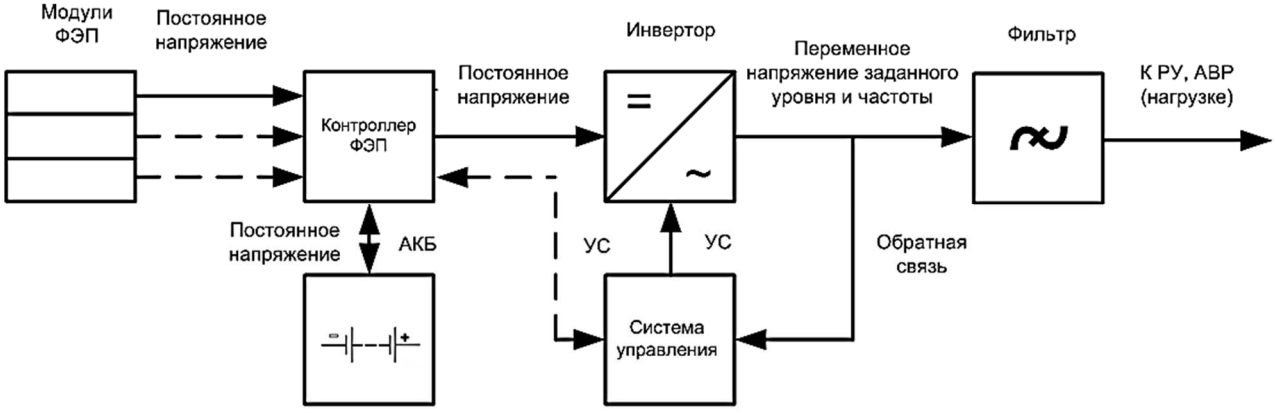


Рисунок 3 – Обобщенная блок-схема электропитания ОНГП от ФЭП с применением инвертора

Модули ФЭП преобразуют энергию фотонов света в электрическую энергию постоянного напряжения. ФЭП соединяются между собой последовательно и (или) параллельно для получения номинальных выходных параметров мощности, напряжения и тока. Модули ФЭП подключаются к контроллеру или подключаются напрямую к инвертору.

Контроллер ФЭП выполняет следующие основные функции:

– повышения отдаваемой мощности модулями ФЭП (работа с точкой максимальной мощности ФЭП);

– заряда АКБ;

– разряда АКБ на нагрузку.

АКБ используются для накопления электрической энергии от ФЭП и отдачи ее в нагрузку в темное время суток или при дефиците мощности от ФЭП.

Инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное однофазное или трехфазное. Обычно система управления инвертором построена на основе логических элементов или контроллера.

Формирование напряжения (тока) заданной частоты и уровня напряжения осуществляется системой управления в зависимости от параметров обратной связи (напряжения, тока, коэффициента мощности).

Фильтр служит для снижения помех от инвертора на его выходе.

К элементам инвертора, контроллера ФЭП (контроллера заряда АКБ) и системы управления могут быть подключены датчики контрольно-измерительных приборов и системы мониторинга.

Следует отметить, что подавляющее большинство инверторов в подобных системах работают по принципам преобразования напряжения ШИМ или (и) ВИМ типа. Однако, при малых и средних мощностях, возможно применение СМ-инверторов, что позволит уменьшить индуктивность, емкость, объем и массу выходного фильтра (рис. 3) [6, 7, 9].

Основная область применения систем на базе ФЭП при электропитании ОНГП: автономные объекты малой мощности (электроузлы запорной арматуры, установки электрохимической защиты, оборудование линейной телемеханики и связи и др.) [10].

Главные преимущества применения систем электроснабжения ОНГП на базе ФЭП с применением инверторов:

– снижение электропотребления в дневное время от стационарной сети или снижение расхода топлива/газа от генератора при параллельной работе (гибридный режим);

– отсутствие необходимости подвоза топлива к объекту для генераторов; снижение количества и стоимости проведения капитальных и текущих ремонтов генераторов объекта (при их наличии);

– повышение экологичности объекта.

Основным недостатком данных систем является их достаточно высокая стоимость [10].

Таким образом, применение инверторов в преобразователях частоты и системах электропитания на базе ФЭП на объектах нефтегазовой промышленности способствует снижению затрат на электроэнергию, повышению уровня технологичности, автоматизации и экологичности данных объектов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230009 р_а.

Литература

1. Кулик В.Д. Силовая электроника. Автономные инверторы, активные преобразователи : учеб. пособ. / ГОУВПО СПбГТУРП. – СПб., 2010. – 90 с. – ил. 59.

2. Гельман М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.

3. Трехфазный привод. Основы. KEB ANTRIEBSTECHNIK. Ревизия 00.00.000-5E06 12/96. – 88 с.

4. Ливинский А.П., Редько И.Я., Филин В.М. Пути решения проблем автономного электроснабжения потребителей удаленных регионов России // Энергетик. – 2010. – № 4. – С. 2–6.

5. Новоселов Б.Н. СОПТ: компактное комплексное решение // Статьи; Сайт журнала «Информатизация и Системы Управления в Промышленности». – Январь 2020. – URL : https://isup.ru/articles/43/8370

6. Кашин Я.М., Белов А.А. Сравнительная характеристика широтно-импульсных модуляторов и ступенчатых модуляторов-инверторов : Информационная безопасность – актуальная проблема современности. Совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов в области информационной безопасности // Сб. трудов IV–V Всерос. НТК, г. Геленджик 2012 г. – Краснодар : ФВАС, 2012. – С. 169–170.

7. Кашин Я.М., Белов А.А. Перспективы применения ступенчатых модуляторов-инверторов в различных областях производства и быта : Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского (3; 12) // Сборник научных статей III Международной научно-практической конференции «Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского» 18–19 декабря 2012 года; М-во обороны Рос. Федерации, Фил. Воен. учеб.-науч. центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013. – С. 150–151.

8. Патисов Р. Частотные преобразователи ABB в нефтегазовой промышленности // Control engineering Россия. – 2014. – № 6 (54). – С. 64–68.

9. Гайтова Т.Б., Кашин Я.М., Белов А.А. Моделирование ступенчато-модулированного инвертора со стабилизацией выходного напряжения при работе от модулей фотоэлектрических элементов. Расчет характеристик и исследование работы // Вестник АГУ. – 2013. – № 3 (122). – С. 74–89.

10. Туровин О.А., Огнев Е.Н., Кочнев А.Е. Применимость ветро-солнечной энергетики в качестве альтернативного источника электроснабжения нефтяных объектов компании // PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2017. – № 2 (4). – С. 69–74.

References

1. Kulik V.D. Power Electronics. Autonomous inverters, active converters : study guide / SEI HD SPbGTURP. – SPb., 2010. – 90 p.

2. Gelman M.V. Converting equipment: study guide / M.V. Gelman, M.M. Dudkin, K.A. Preobrazhensky. – Chelyabinsk : Publishing Center of SUSU, 2009. – 425 p.

3. Three-phase drive. The basics. KEB ANTRIEBSTECHNIK. Revision 00.00.000-5E06 12/96. – 88 p.

4. Livinsky A.P., Redko I.Ya., Filin V.M. Ways to solve the problems of autonomous power supply to consumers in remote regions of Russia // Energetik. 2010. No 4. – P. 2–6.

5. Novoselov B.N. OCS: compact integrated solution // Articles [Electronic resource]; Site of the journal «Informatization and Management Systems in Industry». January 2020. – URL : ttps://isup.ru/articles/43/8370

6. Kashin Ya.M., Belov A.A. Comparative characteristics of pulse-width modulators and step modulators-inverters : Information security – an urgent problem of our time. Improving educational technologies for training specialists in the field of information security // CSP IV–V All-Russia SC, Gelendzhik 2012. – Krasnodar : FVAS, 2012. – P. 169–170.

7. Kashin, Y.M., Belov, A.A. Prospects for the use of step modulators-inverters in various fields of production and life : Scientific Readings named after Professor N.E. Zhukovsky (3; 12) // Collection of scientific articles of the III International Scientific and Practical Conference “Scientific Readings named after Professor N.E. Zhukovsky» December 18–19, 2012 / Defense Ministry of the Russian Federation. Federation. Filial The military E-S Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2013. – P. 150–151.

8. Patisov R. Frequency converters ABB in the oil and gas industry // Control engineering Russia. – 2014. – № 6 (54). – P. 64–68.

9. Gaitova T.B., Kashin Y.M., Belov A.A. Modeling a step-modulated inverter with stabilization of the output voltage when working from modules of photovoltaic cells. Calculation of characteristics and research work // Vestnik AGU. – 2013. – № 3 (122). – P. 74–89.

10. Turovin O.A., Ognev E.N., Kochnev A.E. Applicability of wind-solar energy as an alternative source of power supply to oil facilities of the company // PRONEFT. Professionally about oil. – 2017. – № 2 (4). – P. 69–74.

УДК 621.316

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА, ДЛЯ ВЫБОРА СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ НОМИНАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ 20 КВ

●●●●●●

STUDY OF THE ECONOMIC CURRENT DENSITY FOR SELECTING CROSS-SECTIONS OF CONDUCTORS WITH A NOMINAL VOLTAGE OF 20 KV

Биличенко Аркадий Петрович
магистр, старший преподаватель
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет

Нешина Елена Геннадьевна
магистр, старший преподаватель
кафедры энергетические системы,
Карагандинский государственный
технический университет
Arkan80@list.ru

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос методики выбора сечений проводников и определения технико-экономической целесообразности применения напряжения 20 кВ в современных условиях.
Предложены новые значения экономической плотности тока, соответствующие современным экономическим условиям. Установлено, что при выборе сечений проводов и жил кабелей по экономической плотности тока необходимо учитывать номинальное напряжение сети, и шкалу значений экономической плотности тока необходимо дифференцировать по сравнению с применяемой в настоящее время.

Ключевые слова: номинальное напряжение, экономическая плотность тока, сечение проводников, плотность тока, 20 кВ.

Bilichenko Arkadiy Petrovich
Master's degree, Senior lecturer
of the Department of energy systems,
Karaganda state technical university

Neshina Yelena Gennadievna
Master's degree, Senior lecturer
of the Department of energy systems,
Karaganda state technical university
Arkan80@list.ru

Annotation. The article deals with the issue of methods for selecting conductor cross-sections and determining the technical and economic feasibility of using 20 kV voltages in modern conditions.
New values of economic current density corresponding to modern economic conditions are proposed. It is established that when choosing the cross sections of wires and cable cores according to the economic current density, it is necessary to take into account the nominal voltage of the network, and the scale of values of the economic current density must be differentiated more than currently used.

Keywords: rated voltage, economic current density, conductor cross-section, current density, 20 kV.

Сегодня в Казахстане, как и во всем развивающемся мире строится много новых городских районов, поселков, линий электропередачи в сельской местности, производится реконструкция существующих сетей, т.к. существующие в большинстве городов кабельные и воздушные линии электропередач напряжением 6, 10 кВ не справляются с возросшей нагрузкой и во многих случаях физически изношены. Современные мировые тенденции в развитии электрических сетей свидетельствуют о стремлении многих развитых стран к внедрению более высоких классов напряжения, например, 20 кВ, что позволит уменьшить объем использования цветного металла, уменьшить потери электрической энергии и увеличить дальность ее передачи [1].

Возникает вопрос, на каком напряжении рационально передавать электрическую энергию для характерных групп потребителей? Рассмотрение вопросов, связанных с данной тематикой, имеет как теоретическое, так и практическое значение.

Одной из существующих проблем является отсутствие современных значений экономической плотности тока для выбора проводов и кабелей напряжением 20 кВ. Приведенные в ПУЭ значения не учитывают факта появления проводов СИП, кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и существенного изменения стоимости электрической энергии. Этим обоснуется необходимость исследования экономической плотности тока – $J_{эк}$ для сетей 20 кВ в зависимости от изменившейся стоимости электрической энергии, номенклатуры кабельно-проводниковой продукции, роста электрической нагрузки во времени.

Традиционный метод экономически обоснованного выбора сечения проводов и кабелей основан на показателях экономической плотности тока. Предложения по совершенствованию методики технико-экономического обоснования выбора сечений проводников на основе современных стоимостных показателей публиковались неоднократно. Использование устаревших экономических показателей ухудшают технико-экономические показатели сети. Исходные условия для экономически обоснованного сечения проводов и кабелей очевидны: с увеличением сечения возрастает стоимость ЛЭП, но

снижаются потери электрической энергии и соответственно затраты на потерянную электроэнергию. Таким образом, сечение выбирается по критерию минимума дисконтированных затрат на сооружение линии и потери в течение определенного периода ее эксплуатации.

В действующей методике выбора сечений проводов и жил кабелей по экономической плотности тока отсутствуют рекомендации по определению той расчетной нагрузки, по которой следует определять расчетное сечение, кроме общего указания о необходимости учета перспективы развития на срок не менее 5 лет. Кроме того, необходимо учитывать ежегодный рост стоимости электроэнергии [2].

Выбор сечения проводников необходимо осуществлять по некоторому расчетному значению тока, учитывающему изменение нагрузки по годам расчетного периода.

Расчетный ток, А:

$$I_{расч} = I_0 \cdot (1 + q \cdot t), \quad (1)$$

где I_0 – расчетный ток, соответствующий начальному расчетному периоду, А; q – коэффициент, учитывающий динамику роста нагрузки, о.е.; t – расчетный период, год.

Исходя из методики определения дисконтированных затрат получается [3],

$$З = К + \sum_{t=t_0}^{T_р} \frac{И_{о.р.} + И_{пот}}{(1+Е)^t} =\rightarrow min, \quad (2)$$

где К – капитальные затраты на сооружение линии электропередачи, тыс. тенге; $T_р$ – расчетный период, год; $И_{о.р.}$ – издержки на обслуживание и ремонт объекта на шаге t, тенге; $И_{пот}$ – издержки на возмещение потерь энергии на шаге t, тенге; Е – норма дисконта, о.е.

При составлении технико-экономической модели экономической плотности тока принимаются следующие допущения:

1. Линейная зависимость стоимости сооружения 1 км линии ($К_0$) от сечения.
2. Отличием погонного активного сопротивления от омического можно пре небречь.

Экономическая плотность тока, А/мм², определяется:

$$J_{ЭК} = \frac{I_{расч}}{F_{экон}}, \quad (3)$$

где $I_{расч}$ – расчетный ток, соответствующий начальному расчетному периоду, принимается, что $I_{расч}$ = I0, А.

Путем выполнения численных исследований были получены коэффициенты динамики роста нагрузки и стоимости электрической энергии на примере города Нур-Султан, таблица 1, рисунок 1.

Таблица 1 – Анализ динамики роста электропотребления в г. Нур-Султан

Год	Электропотребление, W, %
2015	100
2016	101,19
2017	103,69
2018	104,38
2019	106,19

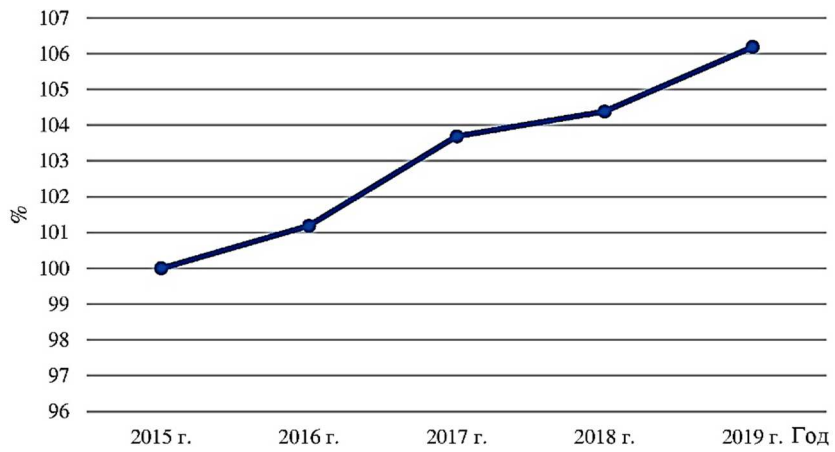


Рисунок 1 – Анализ динамики роста электропотребления в г. Нур-Султан

В таблице 2 и рисунке 2 приведена динамика роста стоимости электроэнергии с 2015 по 2019 год.

Таблица 2 – Динамика роста стоимости электроэнергии

Год	СН, тенге/кВт·ч (без учета НДС)
2015	9,12
2016	9,74
2017	10,55
2018	11,60
2019	12,17

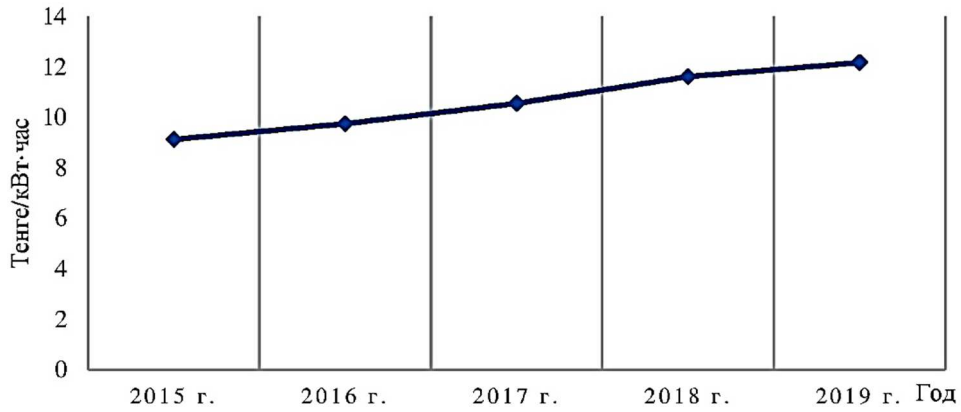


Рисунок 2 – Анализ динамики роста стоимости электроэнергии

В таблице 2 приведены коэффициенты динамики роста нагрузки и стоимости электроэнергии, полученные с помощью аппроксимации приведенных зависимостей.

Таблица 3 – Коэффициенты динамики роста нагрузки (q) и стоимости электрической энергии (z)

q, о.е	0,0141
z, о.е	0,074

Для сравнения с нормативными показателями экономической плотности тока, приведенными в ПУЭ, производится расчет значений экономической плотности тока при современных стоимостях линий электропередачи и цене электрической энергии. Расчеты выполнены при следующих значениях параметров формулы 2: $T_р$ = 5 лет; t_0 = 1, т.е. строительство завершается за первый год; $\alpha_{обсл}$ = 2,3 %, стоимость электроэнергии C_0 = 12,17 тенге/(кВт·час), норма дисконта E = 0,12. Кроме того выполнены расчеты с учетом динамики роста нагрузки и стоимости электроэнергии. Результаты расчетов экономической плотности тока представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения экономической плотности тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм², при числе часов использования максимума нагрузки в год			
	Более 1000 до 3000		Более 3000 до 5000	Более 5000
Неизолированные провода и шины напряжением 20 кВ				
алюминиевые	ПУЭ	1,3	1,1	1,0
	Расчет без учета динамики	0,746	0,447	0,301
	Расчет с учетом динамики	0,816	0,495	0,425
Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена 20 кВ				
алюминиевые	Расчет	1,754	1,039	0,667

Анализируя полученные значения экономической плотности тока, можно сделать вывод, что в условиях конкретного проектирования величина экономической плотности существенно отличается от нормированной величины. Так, например, значение экономической плотности тока, приведенное в ПУЭ, [4] для неизолированных алюминиевых проводов и шин при $T_м$ = 1000…3000 часов составляет $j_{эк}$ = 1,3. Значение экономической плотности тока, рассчитанное на основе реальной стоимости проводников и электроэнергии, составляет $j_{эк}$ = 0,746. Значение экономической плотности тока, рассчитанное с учетом динамики роста нагрузки и стоимости электрической энергии, составляет $j_{эк}$ = 0,816. Полученные новые значения экономической плотности тока ближе к значениям, которые приняты в странах с развитой рыночной экономикой [5].

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы: для использования традиционных методик выбора, экономически обоснованного сечения проводов и кабелей на основе экономической плотности тока должны быть пересчитаны таблицы показателей экономической плотности тока для различных вариантов исходных данных. Однако неопределенность большинства технических и экономических показателей, влияющих на экономически обоснованное значение сечения проводников, постоянное изменение стоимости кабельно-проводниковой продукции и строительства ЛЭП, цены на электроэнергию не позволяют рассчитать экономическую плотность так, чтобы они были актуальны в течение длительного периода. Произведенные расчеты показали, что за пять лет значения экономической плотности тока изменяются на 21 %. Поэтому эти таблицы периодически должны обновляться в соответствии с изменением исходных данных.

Существующая тенденция к увеличению цены на электроэнергию, а также стоимости кабельных и воздушных ЛЭП, еще больше снижает значение экономической плотности тока, оправдывая применение больших сечений для эффективного использования электроэнергии. Учет реального значения экономической плотности тока при проектировании кабельных и воздушных линий электропередачи повышает обоснованность принятых решений.

Значения экономической плотности тока должны быть более дифференцированы по времени максимальных нагрузок и приведены на каждую тысячу часов.

Капитальные затраты на линии 10, 20 и 35 кВ имеют разные значения, следовательно, значения экономической плотности тока для различных напряжений не могут быть одинаковыми.

Стоимость электрической энергии влияет на значения экономической плотности тока, а т.к. цены на электроэнергию во всех регионах Республики Казахстан разные, следовательно, значения экономической плотности тока должны быть дифференцированы по конкретным регионам.

Выводы: Получены новые значения экономической плотности тока, соответствующие современным экономическим условиям. Эти значения существенно отличаются от приведенных в ПУЭ, и их рекомендуется применять для выбора сечений проводников линий номинальным напряжением 20 кВ. Установлено, что при выборе сечений проводов и жил кабелей по экономической плотности тока необходимо учитывать номинальное напряжение сети, и шкалу значений Jэкон необходимо более дифференцировать по сравнению с применяемой в настоящее время.

Литература

1. Ибрагимова С.В. Электрические сети и системы. – Костанай, 2016. – 137 с.
2. Методические указания по проектированию городских и поселковых электрических сетей : РДС РК 4.04-191-2002.
3. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – М. : ЭНАС, 2009. – 3-е изд., перераб. и доп. – 392 с.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) РК. – Астана, 2017.
5. Oeding D., Oswald B.R. Elektrische Kraftwerke und Netze, 6. Auflage, Springer 2012, 452 p.

References

1. Ibragimova S.V. Electrical networks and systems. – Kostanai, 2016. – 137 p.
2. Methodical instructions for designing of the city and settlement electric networks : RDS RK 4.04-191-2002.
3. Reference book on designing of the electrical networks / Under edition of D.L. Faibisovich. – M. : ENAS, 2009. – 3rd ed., pererabot. i dop. – 392 p.
4. Rules of electrical installations (PUE) RK. – Astana, 2017.
5. Oeding D., Oswald B.R. Elektrische Kraftwerke und Netze, 6. Auflage, Springer 2012, 452 p.

УДК 621.313

АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

●●●●●●

ANALYSIS OF DOMESTIC AND FOREIGN OIL SEPARATION PLANTS

Гайтов Багаудин Хамидович
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
kkllev1@mail.ru

Ким Владислав Анатольевич
магистрант 2 курса
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
vladk-kub@mail.ru

Шаршак Алексей Александрович
магистрант 1 курса
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
vip.sharshak@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена рассмотрению и анализу отечественных и зарубежных установок для переработки нефти.

Ключевые слова: центробежный сепаратор, сепарация нефти, изобретения, патент.

Gaitov Bagaudin Khamidovich
Doctor of technical Sciences, Professor,
Professor of the Department
of electrical engineering
and electrical machines,
Kuban state technological university
kkllev1@mail.ru

Kim Vladislav Anatolievich
2nd year master's degree student
Department of electrical engineering
and electrical machines,
Kuban state technological university
vladk-kub@mail.ru

Sharshak Alexei Alexandrovich
1st year master's degree student
Department of electrical engineering
and electrical machines,
Kuban state technological university
vip.sharshak@mail.ru

Annotation. This article is devoted to the review and analysis of domestic and foreign oil separation plants.

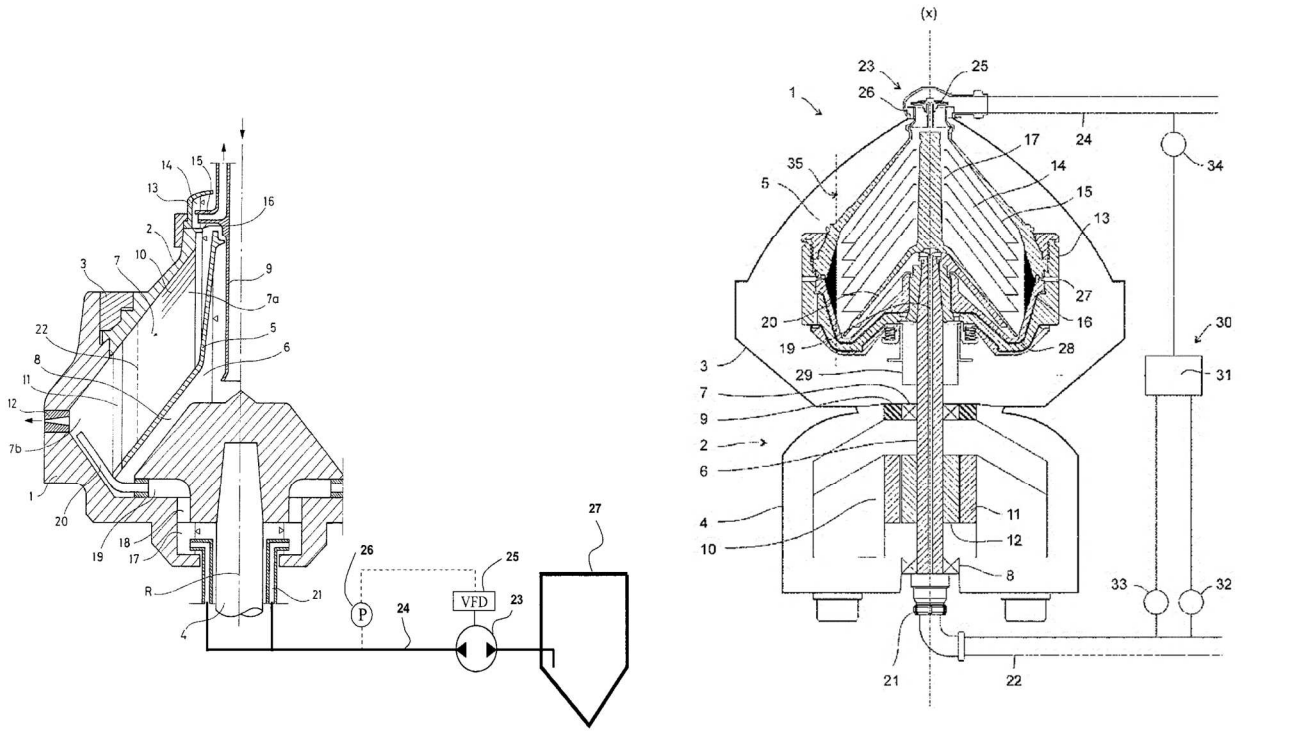
Keywords: centrifugal separator, oil separation, inventions, patent.

На кафедре электротехники и электрических машин ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» в ходе работ по созданию перспективной энерго- и ресурсосберегающей установки для переработки нефти на базе электромеханических преобразователей энергии совмещенной конструкции для выявления недостатков существующих конструкций и определения перспектив по их модернизации был произведен анализ отечественных и зарубежных установок для переработки нефти.

Были рассмотрены центробежный сепаратор и способ сепарирования [1], сепаратор [2], нефтегазоочистной сепаратор [3], саморазгружающийся сепаратор жидкости [4], нефтяной сепаратор [5], сепаратор жидкости/жидкой эмульсии использующий электростатические силы [6].

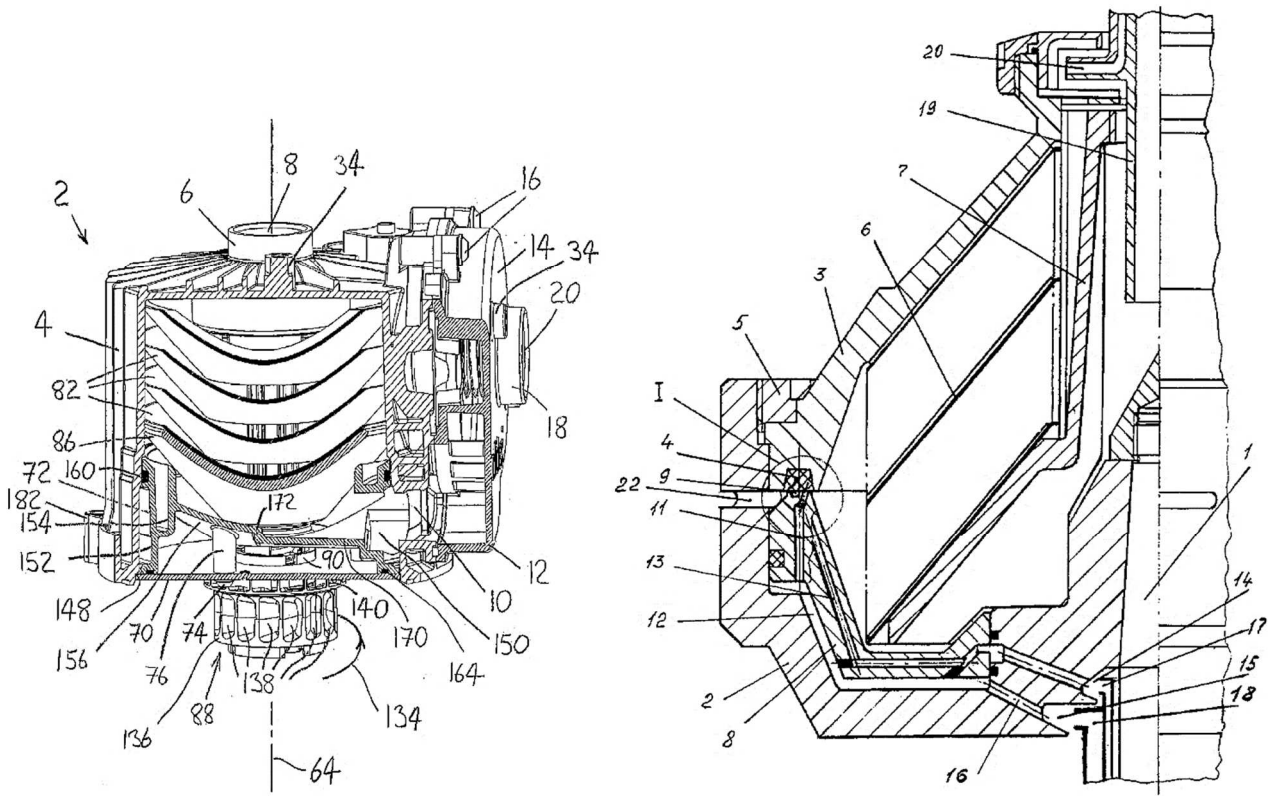
После проведенного анализа конструкции и принципа работы данных нефтяных центробежных сепараторов было обнаружено, что несмотря на оригинальные предложения по загрузке или выгрузке сепарируемого продукта, а также идеи по увеличению эффективности разделительных тарелок в барабане сепаратора, нефтяные центробежные сепараторы [1–6] обладают следующими недостатками:

– низкие массогабаритные характеристики из-за наличия в конструкции редуктора;
– повышенные стоимостные характеристики из-за наличия в конструкции редуктора;
– низкая надежность сепаратора из-за наличия дополнительных узлов;
– низкая энергоэффективность установки центробежного сепаратора из-за наличия в конструкции редуктора.



а) б)

Рисунок 1 – нефтяные центробежные сепараторы:
а) центробежный сепаратор и способ сепарирования; б) сепаратор



а) б)

Рисунок 2 – нефтяные центробежные сепараторы:
а) нефтегазоочистной сепаратор; б) саморазгружающийся сепаратор жидкости

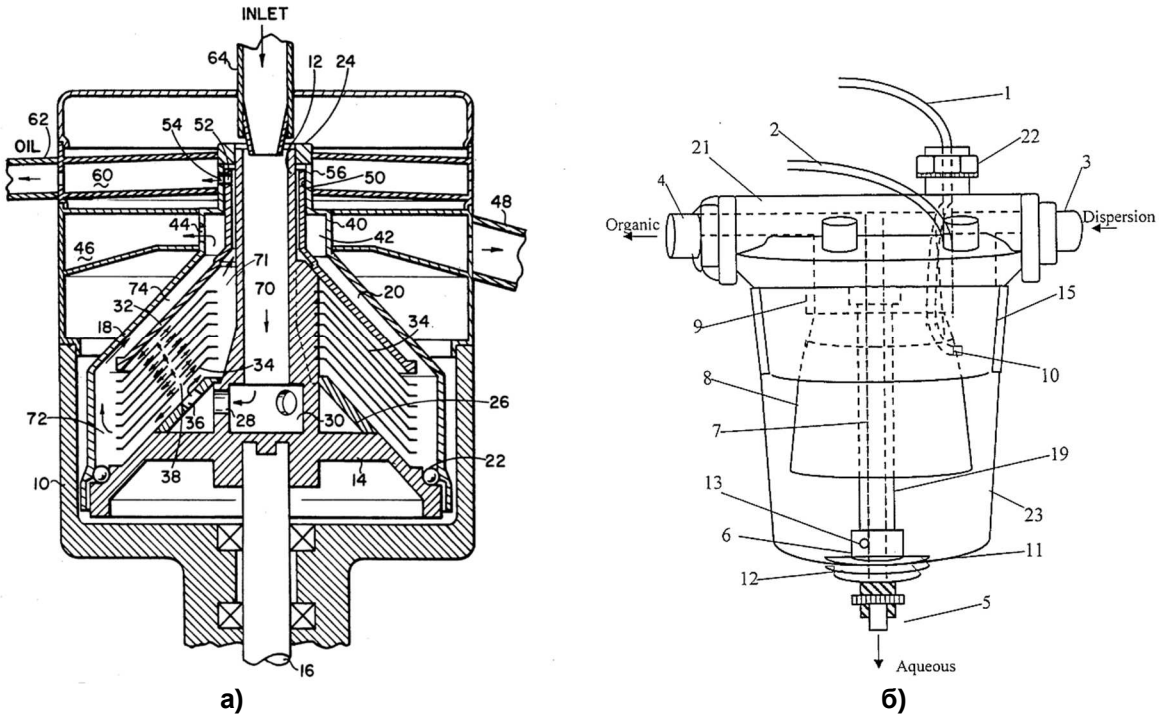


Рисунок 3 – нефтяные центробежные сепараторы:
а) нефтяной сепаратор; б) сепаратор жидкости/жидкой эмульсии использующий электростатические силы

Рассмотренные нефтяные центробежные сепараторы можно объединить в одну группу, а именно сепараторы с предварительным подогревом сепарируемого продукта. Схема технологической цепочки подготовки нефти в которой работают вышеупомянутые сепараторы показана рисунке 4. Неочищенная нефть (из скважины) нагревается в подогревателе 5, а после с помощью соединительной трубки 6 подается в барабан сепаратора 1. Сепаратор состоит из следующих узлов: электродвигателя 4, соединенного муфтой 3 с редуктором, с другой стороны редуктор связан с помощью червячной передачи 2 с валом сепаратора, на котором жестко установлен барабан сепаратора 1.

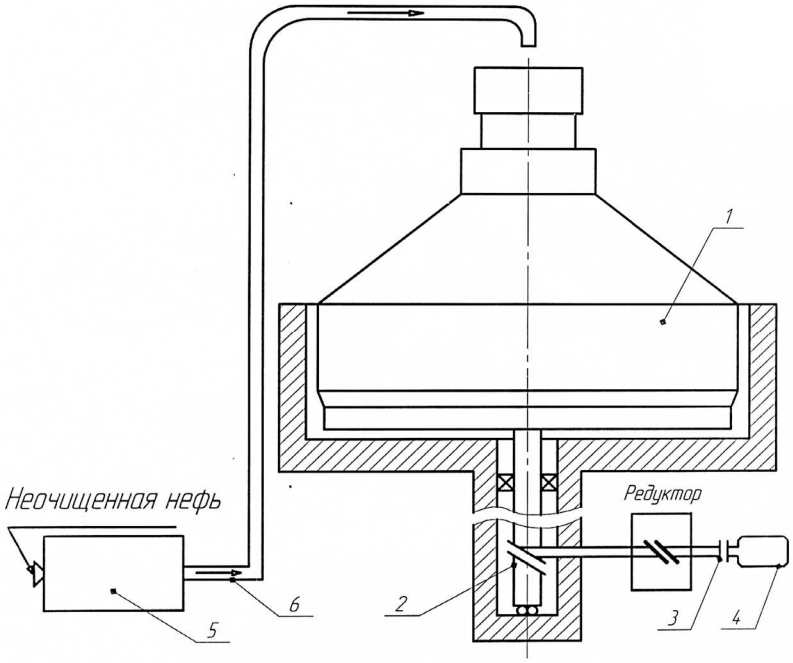


Рисунок 4 – Схема практической реализации технологической цепочки подготовки нефти

По причине ежегодного увеличения спроса на нефть и параллельного увеличения нагрузки на электрические сети и их износа, разработка перспективной энерго- и ресурсосберегающей установки

для переработки нефти на базе электромеханических преобразователей энергии совмещенной конструкции выглядит особо актуальной.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230010 р_а.

Литература

1. Пат. 2480291 Российская Федерация, МПК7 B04B 1/08, B04B 13/00. Центробежный сепаратор и способ сепарирования / Хурнасти Л.; заявитель и патентообладатель Альфа Лаваль Корпорейт АБ. – № 2011139108/05; заявл. 18.02.10; опубл. 27.04.13, Бюл. № 12.

2. Пат. 2 233 709 Российская Федерация, МПК7 B04B 11/02, F04D 1/14, B23Q 11/10. Сепаратор / Строуккен К., Риддерстроле Р., Монтано Й.; заявитель и патентообладатель Альфа Лаваль АБ. – № 2001130054/12; заявл. 21.03.00; опубл. 10.08.2004, Бюл. № 22.

3. Пат. 2501592 Российская Федерация, МПК7 B01D 45/12, B04B 1/08. Нефтгазоочистной сепаратор / Тернблом О., Элиассон Т., Бурмейстер Я., Поген М., Стьернсверд П.; заявитель и патентообладатель Альфа Лаваль Корпорейт АБ. – № 2012106326/05; заявл. 10.07.09; опубл. 20.12.2013, Бюл. № 35.

4. Пат. 2232644 Российская Федерация, МПК7 B04B 1/08, B04B 11/02. Саморазгружающийся сепаратор жидкости / Старокожев В.А., Старокожев А.В., Старокожев А.В., Литвинов В.А.; заявитель и патентообладатель Старокожев В.А., Старокожев А.В., Старокожев А.В., Литвинов В.А. – № 2002102851/13; заявл. 31.01.02; опубл. 20.07.2004, Бюл. № 20.

5. Пат. 5316029A США, МПК7 B08B 3/04. Нефтяной сепаратор / Кэмпбелл У.Р., Робинсон Ф.Л., Перри Б.А., Швиферт Д.; заявитель и патентообладатель Separation Oil Services, Inc. – № 880141; заявл. 07.05.92; опубл. 31.05.1994.

6. Пат. 2377397A Великобритания, МПК7 B01D 17/06, B03C 9/00, B04C 9/00. Сепаратор жидкости/жидкой эмульсии использующий электростатические силы / Гадири М., Эоу Д.С.; заявитель и патентообладатель Гадири М., Эоу Д.С. – № 0117023.2; заявл. 12.07.01; опубл. 15.01.2003.

References

1. Pat. 2480291 Russian Federation, IPC7 B04B 1/08, B04B 13/00. Centrifugal separator and method for separation / Hurnasti L.; applicant and patentee Alfa Laval corporate AB. – № 2011139108/05; application. 18.02.10; publ. 27.04.13, Byul. № 12.

2. Pat. 2 233 709 Russian Federation, IPC7 B04B 11/02, F04D 1/14, B23Q 11/10. The Separator / Stroucken K., Ridderstrale R., Montano Rd.; applicant and patentee Alfa Laval AB. – № 2001130054/12; claim. 21.03.00; publ. 10.08.2004, Byul. № 22.

3. Pat. 2501592 Russian Federation, IPC7 B01D 45/12, B04B 1/08. Oil and gas treatment separator / Turnblom O., Eliasson T., Burmeister Y., Pogen M., Stjernsverd P.; applicant and patent holder Alfa Laval Corporation AB. – № 2012106326/05; application. 10.07.09; publ. 20.12.2013, Byul. № 35.

4. Pat. 2232644 Russian Federation, IPC7 B04B 1/08, B04B 11/02. Self-unloading separator liquid / Strokov V.A., Strekozov A.V., Strokov A.V., Litvinov V.A.; applicant and patentee Strokov V.A., Strekozov A.V., Strokov A.V., Litvinov V.A. – № 2002102851/13; Appl. 31.01.02; publ. 20.07.2004, Byul. № 20.

5. Pat. 5316029A USA, IPC7 B08B 3/04. Oil separator / Campbell W. R., Robinson F.L., Perry B.A., Schwifert D.; applicant and patentee of Separation Oil Services, Inc. – № 880141; declared. 07.05.92; publ. 31.05.1994.

6. Pat. 2377397A UK, IPC7 B01D 17/06, B03C 9/00, B04C 9/00. Liquid/liquid emulsion separator using electrostatic forces / Gadiri M., Eou D.S.; applicant and patent holder Gadiri M., Eou D.S. – № 0117023.2; applicant. 12.07.01; publ. 15.01.2003.

УДК 620.92

ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАГИСТРАЛЬНОГО НАСОСНОГО АГРЕГАТА

●●●●●●

STUDY OF STABILITY OF OPERATION OF FREQUENCY-CONTROLLED ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE THE OF MAIN PUMP UNIT

Димукашева Гульназ Ержановна
студент группы БАЭ-17-01
кафедры электротехника
и электрохозяйство предприятий
факультета автоматизации
производственных процессов,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
dimukashevage@mail.ru

Стрельников Дмитрий Сергеевич
студент группы МАЭ02-19-01
кафедры электротехника
и электрохозяйство предприятий
факультета автоматизации
производственных процессов,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
dimastreln@mail.ru

Зекрин Булат Ринатович
студент группы БАЭ-16-01
кафедры электротехника
и электрохозяйство предприятий
факультета автоматизации
производственных процессов,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
bzekr1998@yandex.ru

Хазиева Регина Тагировна
Кандидат технических наук,
доцент кафедры электротехника
и электрохозяйство предприятий,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
khazievart@mail.ru

Аннотация. В данной статье анализируются режимы работы частотно-регулируемого магистрального насосного агрегата при провалах питающего напряжения.

Ключевые слова: электропривод, магистральный насос, асинхронный двигатель, частотное регулирование, преобразователь частоты, математическая модель, коэффициент полезного действия.

Dimukasheva Gulnaz Erzhanovna
Student of the BAE-17-01 group
of the Department of electrical Engineering
and electrical management of enterprises
of the faculty of automation
of production processes,
Ufa state petroleum technological university
dimukashevage@mail.ru

Strelnikov Dmitry Sergeevich
Student of the MAE02-19-01 group
of the Department of electrical Engineering
and electrical management of enterprises
of the faculty of automation
of production processes,
Ufa state petroleum technological university
dimastreln@mail.ru

Zekrin Bulat Rinatovich
student of the BAE-16-01 group
of the Department of electrical Engineering
and electrical management of enterprises
of the faculty of automation
of production processes,
Ufa state petroleum technological university
bzekr1998@yandex.ru

Khazieva Regina Tagirovna
Candidate of technical Sciences,
Associate Professor of the Department
electrical Engineering
and electrical enterprises
khazievart@mail.ru

Annotation. This article analyzes the stability of a frequency-controlled main pumping unit in case of voltage dips.

Keywords: electric drive, main pump, asynchronous motor, frequency control, frequency Converter, mathematical model, efficiency.

Асинхронные электродвигатели, составляющие большую часть электрических машин на сегодняшний день, используются как основные преобразователи электрической энергии в механическую [1]. Из-за нарушений устойчивой работы электрических машин нарушается работа

технологических процессов. Это приводит к тяжелым последствиям, устранение которых занимает много времени и сил оперативного персонала. Актуальной и значимой становится в наши дни проблема экономии потребления электроэнергии. Большое количество электродвигателей эксплуатируются нерационально ввиду малоэффективной системы регулирования или её отсутствия. Большинство из этих двигателей используются для магистральных насосных агрегатов. Использование современных технологий частотно-регулируемого электропривода позволяет сэкономить не менее 20 % электроэнергии по сравнению с классическими методами регулирования [2].

Для исследования устойчивости был рассмотрен режим работы электропривода с частотой $f = 50$ Гц. Модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода магистрального насосного агрегата, построенная в среде Simulink пакета MatLab, с помощью которой была исследована устойчивость при исчезновении напряжения, изображена на рисунке 1. Модель содержит: трехфазный программируемый источник напряжения, неуправляемый выпрямитель, низкочастотный фильтр – LC фильтр, IGBT инвертор, управляющийся ШИМ-генератором импульсов, модель электродвигателя и блок, в котором реализована модель насоса относительно момента сопротивления на валу приводного двигателя [2].

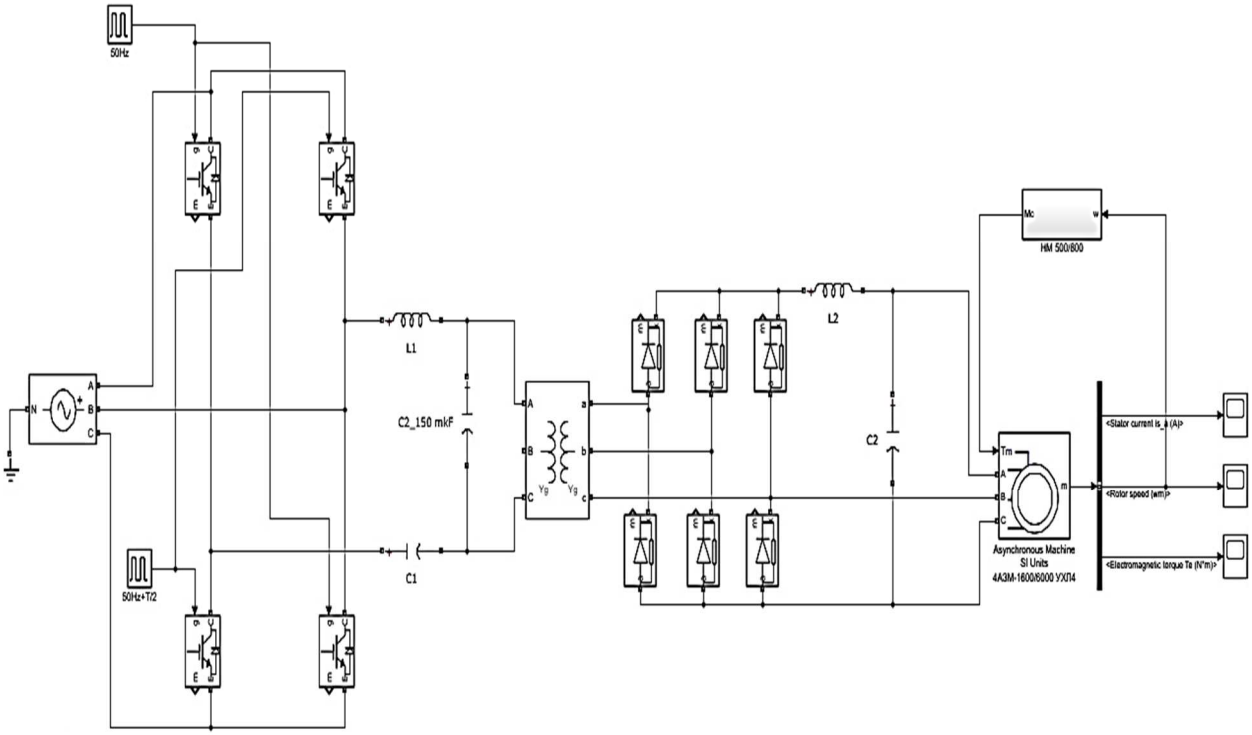


Рисунок 1 – Модель высоковольтного частотно-регулируемого асинхронного электропривода

Модель насоса относительно создаваемого им момента сопротивления на валу приводного двигателя представлена на рисунке 2.

В окне настроек блока Three-Phase Programmable Voltage Source был задан период исчезновения напряжения $U = 0$ с 10 по 16 с последующим его восстановлением до значения $0{,}5U_{\text{ном}}$. В окне настройки данных блока Block Parameters: Asynchronous Machine SI Units были заданы параметры, которые были получены в результате расчетов схемы замещение асинхронной машины, схема замещения приведена на рисунке 3 [4].

Существуют два принципа, позволяющих управлять частотными преобразователями – скалярный и векторный.

Скалярный – это принцип, управления который изменяет значения амплитуды и питающего напряжения по следующему закону:

$$\frac{U}{f^n} = const \text{ , где n } n \geq 1.$$

Преимущества данного способа – это доступность и простота в реализации частотного управления.

Векторный принцип – это принцип, который позволяет максимально приблизить параметры асинхронного электропривода к характеристикам привода постоянного тока. Достигается данная особенность благодаря разделению каналов регулирования потокосцепления и скорости вращения электродвигателя.

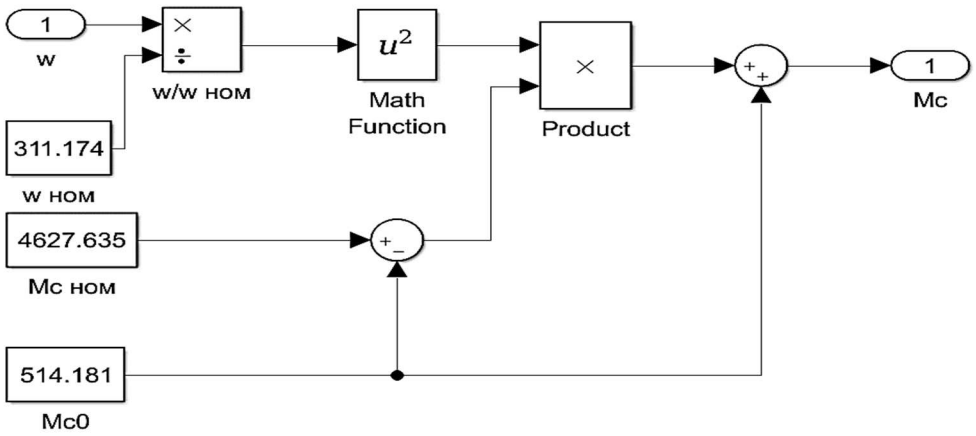


Рисунок 2 – Модель насоса относительно момента сопротивления

Для регулирования скорости АД используется скалярное частотное регулирование, которое является наиболее целесообразным, эффективным и перспективным способом регулирования для турбомеханизмов. При частотном регулировании, с целью поддержания постоянства магнитного потока, при одновременном изменении частоты, необходимо изменять напряжение в следующем соотношении $\frac{U}{f^2} = const$ (закон частотного управления для вентиляторной нагрузки).

Механическая характеристика магистрального насоса имеет сложную форму с падающим участком. Рабочий участок механической характеристики магистрального насоса может быть описан уравнением:

$$M_C = M_{C0} + (M_{C.ном} - M_{C0}) \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}}\right)^2, \quad (1)$$

где $M_{C.ном}$ – момент сопротивления производственного механизма при номинальной угловой скорости вращения вала; M_{C0} – момент сопротивления от трения в движущихся частях производственного механизма; ω – угловая скорость турбомеханизма; $\omega_{ном}$ – номинальная угловая скорость вращения вала.

Асинхронный двигатель при медленно изменяющемся возмущении постепенно нагружается до значения опрокидывающего момента.

Предельное снижение скорости вращения электродвигателей – до границы опрокидывания – может определяться величиной критического скольжения. В этом случае может быть применен обычный критерий устойчивости асинхронного электродвигателя:

$$\frac{dM_д}{ds} > 0 \text{ при } M_c = const \text{ или } \frac{dM_д}{ds} - \frac{dMc}{ds} > 0 \text{ при Mc = Mc (n)},$$

где Мд – вращающий момент электродвигателя; Мс – сопротивление на валу электродвигателя.

Эти неравенства означают, что при снижении напряжения режим работы электродвигателя должен сохраняться на устойчивой части его механической характеристики.

Величина опрокидывающего момента асинхронного электродвигателя зависит от напряжения и частоты:

$$M_{max}(U,f) = M_{max}\left(\frac{U}{f}\right)^2, \quad (2)$$

где M_{max} – кратность опрокидывающего момента электродвигателя при номинальных значениях напряжения и частоты.

На основании этой зависимости и критерия устойчивости можно определить допустимый провал напряжения по условию сохранения устойчивой работы включенных электродвигателей:

$$\Delta U_{max} \le \left(1 - f\sqrt{\left(\frac{Mc.кр}{Mmax}\right)}\right) \cdot 100\ \%, \quad (3)$$

где Мс.кр – момент сопротивления на валу электродвигателя при критическом скольжении для вентиляторного момента.

Указанный критерий определяет устойчивость работы всей электроустановки в целом, ибо если электродвигатели в процессе затормаживания достигнут критический скольжений, то полные их сопротивления и коэффициент мощности резко уменьшаться и ток в цепи питания возрастает [6].

При быстром изменении возмущения динамический момент $J\frac{d\omega}{dt}$, алгебраически складывается с электромагнитным моментом двигателя [7].

Инерция (запасенная системой энергия) также имеет большее влияние на работу привода.

Для анализа устойчивости и режима работы двигателя при возмущении в питающей сети сравниваются значения вращающего электромагнитного момента двигателя и тормозного статического момента механизма [8].

В случае, если электромагнитный момент двигателя больше тормозного статического момента механизма, то возникает положительный динамический момент, что приведет к дальнейшему возрастанию скорости, пока не наступит установившийся режим.

В другом варианте, если электромагнитный момент двигателя меньше тормозного статического момента механизма, то возникает отрицательный динамический момент, он будет противодействовать движению привода, будет наблюдаться снижение скорости и двигатель будет тормозить, пока не наступит установившийся режим [9].

Двигатель работает устойчиво, если он вернулся в изначальное состояние после прекращения возмущении в сети [10].

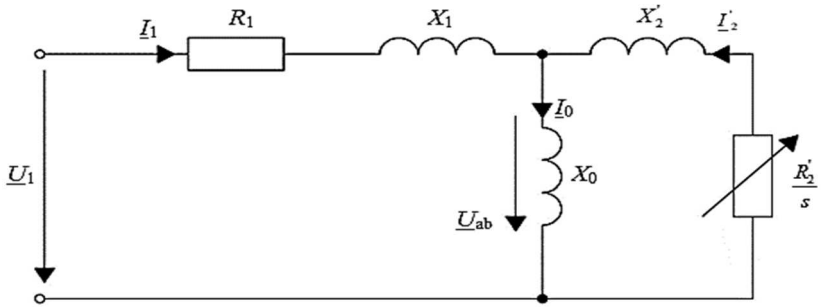


Рисунок 3 – Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

В начальный момент времени t = 0 с осуществляется запуск электродвигателя. При этом он плавно и быстро разгоняется до номинальной скорости вращения и в момент времени t = 4 с выходит на номинальный режим работы, который длится на промежутке времени с 4 по 10 с. В период времени t = 10 с происходит исчезновение напряжения.

На рисунке 4 представлены полученные в результате моделирования осциллограммы угловой скорости ротора, электромагнитного момента и тока одной фазы статора при исчезновении напряжения с 10 по 16 с и с последующим его восстановление до 50 % от номинального значения (рис. 5).

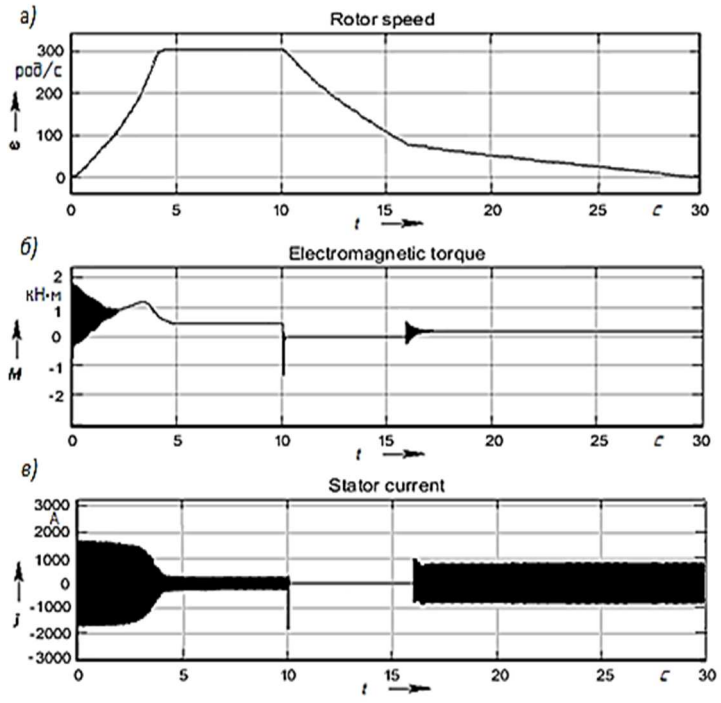


Рисунок 4 – Осциллограммы при исчезновении напряжения:
а – угловой скорости ротора; б – электромагнитного момента; в – тока одной фазы статора

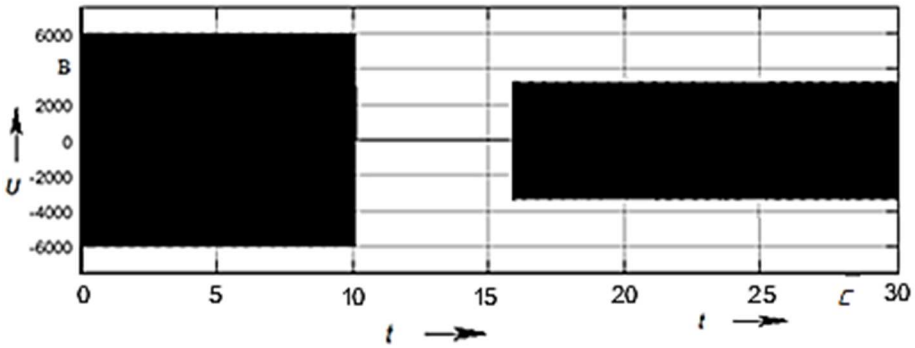


Рисунок 5 – Осциллограмма напряжения в сети 6 кВ
при исчезновении напряжения и его восстановления до 50 %

Как видно из графика угловой скорости ротора (рисунок 4а) при исчезновении питания в момент времени t = 10 с значение скорости снижается до нуля, так как появился тормозной момент, под действием которого двигатель начинает процесс торможения.

Электромагнитный момент сохраняет постоянство за счёт установившихся значении напряжения за исключением временного интервала электромагнитных переходных процессов (рис. 4б) и восстанавливается до значения 1 кН·м в момент времени t = 16 с.

В результате исследования было выявлено, что при восстановлении напряжения до 0,5Uном в момент времени t = 16 с в АД происходят броски тока.

При исчезновении напряжения в момент времени t = 16 с случилось опрокидывание двигателя, потому что значение скольжения s при торможении оказалось больше значения предельного скольжения s_пр. Следовательно, момент сопротивления механизма стал больше максимального момента двигателя и появился отрицательный динамический момент – ΔMдин, самозапуск не был обеспечен. В реальных условиях это могло бы привести к нарушению технологического процесса. Двигатель не вернулся в исходное состояние после прекращения воздействия, значит он работает неустойчиво.

При выбеге возможно использование динамического торможения, которое в отличие от режима свободного выбега, когда торможение осуществляется лишь за счет момента статического сопротивления, характеризуются появлением тормозных моментов, за счет которых остановка двигателя происходит за более короткое время. Но в данной работе такой вид торможения не применяется и не рассматривается, так как цель данной работы является анализ устойчивости электродвигателя.

На рисунке 6 видно, что чем ниже частота напряжения, питающего электродвигатель, тем ниже относительное снижение скорости вращения двигателя за время исчезновения напряжения. Потери мощности при частотном регулировании невелики, поскольку не сопровождаются увеличением скольжения. Получаемые при этом механические характеристики обладают высокой жесткостью. Следовательно, преобразователь частоты повышает устойчивость работы электропривода и магистрального насоса, что является преимуществом при обеспечении бесперебойности технологического процесса.

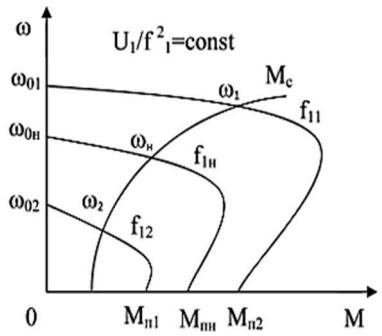


Рисунок 7 – Механические характеристики асинхронного электродвигателя
для нагрузки вентиляторного характер

В процессе исследования показано, что устойчивость работы преобразователя частоты и привода чувствительна к провалам напряжения в сети питания. Устойчивость также зависит от режима работы привода, при котором происходит провал напряжения. С уменьшением потребляемой мощности возрастает устойчивость привода.

Был сделан вывод, что вопрос обеспечения устойчивости асинхронного двигателя имеет большое значение. Так как нарушение технологического процесса по причине аварии, вызванное нарушением

устойчивости работы электрических машин, приводит к серьёзным последствиям, на ликвидацию которых затрачивается большое количество времени. Также данный вопрос актуален не только для МНА, но и для поршневых и газопоршневых насосов.

Восстановление напряжения должно быть таким, чтобы значение скольжения при затормаживании оказалось меньше значения предельного скольжения. Также не допускать появления отрицательного динамического момента, в таком случае будет обеспечен самозапуск электродвигателя.

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. – М. : Академия, 2007. – С. 101–102.
2. Проектирование систем частотного регулирования : каталог. – М. : Dandoss, 2012. – 4 с.
3. Горюнов В.Н., Хацевский К.В., Шагаров А.А, Шагаров Д.А. Исследование влияния полупроводниковых преобразователей на питающую сеть на основе математических моделей // Омский научный вестник. – 2013. – № 2 (120). – С. 125–126.
4. Радин В.И. Электрические машины: Асинхронные машины. – М. : Высш. шк., 1988. – С. 98–101.
5. Епифанов А.П. Основы электропривода. – СПб. : Лань, 2009. – 192 с.
6. Коломиец А.П. Электропривод и электрооборудование. – М. : КолосС, 2007. – 328 с.
7. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М. : Энергия, 1979. – 456 с.
8. Tong W. Mechanical Design of Electric Motors. Rad-ford, CRC Press Publ., 2017, pp. 321–322.
9. Paul C., Oleg W., Scott D. Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. Radford, Wiley-IEEE Press Publ., 2002, pp. 407–408.
10. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода. – М. : Энергоиздат, 1981. – С. 32–33.

References

1. Belov M.P., Novikov V.A., Rassudov L.N. Automated electric drive of typical production mechanisms and technological complexes. – M. : Academy Publ., 2007. – P. 101–102.
2. Design of frequency control systems: catalog. – M. : Danfoss publ., 2012. – 4 p.
3. Goryunov V.N., Khatsevsky K.V., Shagaditch A.A., Shagarov D.A. Investigation of the effect of semiconductor converters on the power supply network based on mathematical models // Omsk Scientific Herald. – 2013. – № 2 (120). – P. 125–126.
4. Radin V.I. Electric machines: Asynchronous machines. – M. : Higher School Publ., 1988. – P. 98–101.
5. Epifanov A.P. Fundamentals of electric drive. – St. Petersburg : Lan Publ., 2009. – 192 p.
6. Kolomiets A.P. Electric drive and electrical equipment. – M. : KolosS Publ., 2007. – 328 p.
7. Zhdanov P.S. Stability issues of electrical systems. – M. : Energy Publ., 1979. – 456 p.
8. Tong W. Mechanical Design of Electric Motors. Radford, CRC Press Publ., 2017, pp. 321–322.
9. Paul C., Oleg W., Scott D. Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. Radford, Wiley-IEEE Press Publ., 2002, pp. 407–408.
10. Chilikin M.G. General course of electric drive. – M.: Energoizdat Publ., 1981. – P. 32–33.

УДК 62

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ШЕСТОГО ПОРЯДКА С ШЕСТЬЮ КОРНЯМИ КРАТНОСТЬЮ ОДИН ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

●●●●●●

THE ANALYSIS OF TRANSIENT CHARACTERISTICS OF A SIXTH ORDER SYSTEM WITH SIX ONE-TIME SOLUTIONS OF THE CHARACTERISTIC EQUATION

Добробаба Юрий Петрович
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлин Алексей Георгиевич
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры
информационных систем и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Печёнкин Олег Андреевич
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
pchn257@mail.ru

Аннотация. В статьях выполнен анализ переходных характеристик систем шестого порядка: с одним корнем кратности шесть характеристического уравнения [1]; с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения [2]; с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения [3]; с одним корнем кратностью четыре и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения [4]; с двумя корнями кратностью три характеристического уравнения [5]; с одним корнем кратностью три, с одним корнем кратностью два и одним корнем кратностью один характеристического уравнения [6]; с одним корнем кратностью три и с тремя корнями кратностью один характеристического уравнения [7]. В данной статье анализируются переходные характеристики системы шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения.
Найдены переходные характеристики системы шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы шестого порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich
Candidate of technical sciences,
Associate professor,
Associate professor of department
of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Murlin Aleksey Georgievich
Candidate of technical sciences,
Associate professor,
Associate professor of department
of information systems and programming,
Kuban state technological university

Pechonkin Oleg Andreevich
Student,
Kuban state technological university
pchn257@mail.ru

Annotation. Articles analyze the transient characteristics of a sixth order systems: with six-time solution of the characteristic equation [1]; with five-time solution and one-time solutions of the characteristic equation [2]; with four-time solution and double solution of the characteristic equation [3]; with four-time solution and two one-time solutions of the characteristic equation [4]; with two triple solutions of characteristic equation [5]; with triple solution, double solution and one-time solution of characteristic equation [6]; with triple solution and three one-time solutions of characteristic equation [7]. This article analyzes the transient characteristics of a sixth order system with six one-time solutions of the characteristic equation.
Transitional characteristics of sixth order systems with six one-time solutions of the characteristic equation with a zero degree polynomial and a first degree polynomial in numerator of transfer function are found.

Keywords: transition characteristic, sixth order characteristic equation system, the solution of the characteristic equation.

Передаточная функция системы шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{60}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1) \cdot (T_4 p + 1) \cdot (T_5 p + 1) \cdot (T_6 p + 1)},$$

где T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 и T_6 – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции шестого порядка. При этом выполняются условия $T_1 > T_2 > T_3 > T_4 > T_5 > T_6$.

Корни характеристического уравнения системы шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения:

$p_1 = -\frac{1}{T_1}$; $p_2 = -\frac{1}{T_2}$; $p_3 = -\frac{1}{T_3}$; $p_4 = -\frac{1}{T_4}$; $p_5 = -\frac{1}{T_5}$; $p_6 = -\frac{1}{T_6}$.

Переходная характеристика системы шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения и её первых пяти производных соответственно равны:

$h_{60}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_3 \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + K_4 \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + K_5 \cdot e^{-\frac{t}{T_5}} + K_6 \cdot e^{-\frac{t}{T_6}} + K_7$;

$h_{60}^{(1)}(t) = -\frac{K_1}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_3}{T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{K_4}{T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} - \frac{K_5}{T_5} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}} - \frac{K_6}{T_6} \cdot e^{-\frac{t}{T_6}}$;

$h_{60}^{(2)}(t) = \frac{K_1}{T_1^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_2}{T_2^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_3}{T_3^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{K_4}{T_4^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + \frac{K_5}{T_5^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}} + \frac{K_6}{T_6^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_6}}$;

$h_{60}^{(3)}(t) = -\frac{K_1}{T_1^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_2^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_3}{T_3^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{K_4}{T_4^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} - \frac{K_5}{T_5^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}} - \frac{K_6}{T_6^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_6}}$;

$h_{60}^{(4)}(t) = \frac{K_1}{T_1^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_2}{T_2^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_3}{T_3^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{K_4}{T_4^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + \frac{K_5}{T_5^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}} + \frac{K_6}{T_6^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_6}}$;

$h_{60}^{(5)}(t) = -\frac{K_1}{T_1^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_2^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_3}{T_3^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{K_4}{T_4^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} - \frac{K_5}{T_5^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}} - \frac{K_6}{T_6^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_6}}$.

Так как начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$h_{60}(0) = 0$;
$h_{60}^{(1)}(0) = 0$;
$h_{60}^{(2)}(0) = 0$;
$h_{60}^{(3)}(0) = 0$;
$h_{60}^{(4)}(0) = 0$;
$h_{60}^{(5)}(0) = 0$;
$h_{60}(\infty) = 1$,

а начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$h_{60}(0) = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7$;

$h_{60}^{(1)}(0) = -\frac{K_1}{T_1} - \frac{K_2}{T_2} - \frac{K_3}{T_3} - \frac{K_4}{T_4} - \frac{K_5}{T_5} - \frac{K_6}{T_6}$;

$h_{60}^{(2)}(0) = \frac{K_1}{T_1^2} + \frac{K_2}{T_2^2} + \frac{K_3}{T_3^2} + \frac{K_4}{T_4^2} + \frac{K_5}{T_5^2} + \frac{K_6}{T_6^2}$;

$h_{60}^{(3)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^3} - \frac{K_2}{T_2^3} - \frac{K_3}{T_3^3} - \frac{K_4}{T_4^3} - \frac{K_5}{T_5^3} - \frac{K_6}{T_6^3}$;

$h_{60}^{(4)}(0) = \frac{K_1}{T_1^4} + \frac{K_2}{T_2^4} + \frac{K_3}{T_3^4} + \frac{K_4}{T_4^4} + \frac{K_5}{T_5^4} + \frac{K_6}{T_6^4}$;

$h_{60}^{(5)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^5} - \frac{K_2}{T_2^5} - \frac{K_3}{T_3^5} - \frac{K_4}{T_4^5} - \frac{K_5}{T_5^5} - \frac{K_6}{T_6^5}$;

$h_{60}(\infty) = K_7$,

то справедлива зависимость: $K_7 = 1$.

При этом справедлива система уравнений:

$$K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + 1 = 0; \quad (1)$$

$$-\frac{K_1}{T_1} - \frac{K_2}{T_2} - \frac{K_3}{T_3} - \frac{K_4}{T_4} - \frac{K_5}{T_5} - \frac{K_6}{T_6} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{K_1}{T_1^2} + \frac{K_2}{T_2^2} + \frac{K_3}{T_3^2} + \frac{K_4}{T_4^2} + \frac{K_5}{T_5^2} + \frac{K_6}{T_6^2} = 0; \quad (3)$$

$$-\frac{K_1}{T_1^3} - \frac{K_2}{T_2^3} - \frac{K_3}{T_3^3} - \frac{K_4}{T_4^3} - \frac{K_5}{T_5^3} - \frac{K_6}{T_6^3} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{K_1}{T_1^4} + \frac{K_2}{T_2^4} + \frac{K_3}{T_3^4} + \frac{K_4}{T_4^4} + \frac{K_5}{T_5^4} + \frac{K_6}{T_6^4} = 0; \quad (5)$$

$$-\frac{K_1}{T_1^5} - \frac{K_2}{T_2^5} - \frac{K_3}{T_3^5} - \frac{K_4}{T_4^5} - \frac{K_5}{T_5^5} - \frac{K_6}{T_6^5} = 0. \quad (6)$$

Из уравнения (2) следует, что:

$$K_6 = -\frac{T_6}{T_1}\cdot K_1 - \frac{T_6}{T_2}\cdot K_2 - \frac{T_6}{T_3}\cdot K_3 - \frac{T_6}{T_4}\cdot K_4 - \frac{T_6}{T_5}\cdot K_5. \quad (7)$$

Из уравнений (3) и (7) следует, что:

$$K_5 = -\frac{T_5^2}{T_1^2}\cdot\frac{T_1-T_6}{T_5-T_6}\cdot K_1 - \frac{T_5^2}{T_2^2}\cdot\frac{T_2-T_6}{T_5-T_6}\cdot K_2 - \frac{T_5^2}{T_3^2}\cdot\frac{T_3-T_6}{T_5-T_6}\cdot K_3 - \frac{T_5^2}{T_4^2}\cdot\frac{T_4-T_6}{T_5-T_6}\cdot K_4\,, \quad (8)$$

тогда уравнение (7) примет вид:

$$K_6 = \frac{T_6^2}{T_1^2}\cdot\frac{T_1-T_5}{T_5-T_6}\cdot K_1 + \frac{T_6^2}{T_2^2}\cdot\frac{T_2-T_5}{T_5-T_6}\cdot K_2 + \frac{T_6^2}{T_3^2}\cdot\frac{T_3-T_5}{T_5-T_6}\cdot K_3 + \frac{T_6^2}{T_4^2}\cdot\frac{T_4-T_5}{T_5-T_6}\cdot K_4\,. \quad (9)$$

Из уравнений (4), (8) и (9) следует, что:

$$K_4 = -\frac{T_4^3}{T_1^3}\cdot\frac{(T_1-T_5)\cdot(T_1-T_6)}{(T_4-T_5)\cdot(T_4-T_6)}\cdot K_1 - \frac{T_4^3}{T_2^3}\cdot\frac{(T_2-T_5)\cdot(T_2-T_6)}{(T_4-T_5)\cdot(T_4-T_6)}\cdot K_2 - \frac{T_4^3}{T_3^3}\cdot\frac{(T_3-T_5)\cdot(T_3-T_6)}{(T_4-T_5)\cdot(T_4-T_6)}\cdot K_3\,, \quad (10)$$

тогда уравнения (8) и (9) примут вид:

$$K_5 = \frac{T_5^3}{T_1^3}\cdot\frac{(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_6)}{(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_1 + \frac{T_5^3}{T_2^3}\cdot\frac{(T_2-T_4)\cdot(T_2-T_6)}{(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_2 + \frac{T_5^3}{T_3^3}\cdot\frac{(T_3-T_4)\cdot(T_3-T_6)}{(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_3\,; \quad (11)$$

$$K_6 = -\frac{T_6^3}{T_1^3}\cdot\frac{(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_5)}{(T_4-T_6)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_1 - \frac{T_6^3}{T_2^3}\cdot\frac{(T_2-T_4)\cdot(T_2-T_5)}{(T_4-T_6)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_2 - \frac{T_6^3}{T_3^3}\cdot\frac{(T_3-T_4)\cdot(T_3-T_5)}{(T_4-T_6)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_3\,. \quad (12)$$

Из уравнений (5), (9), (10), и (11) следует, что:

$$K_3 = -\frac{T_3^4}{T_1^4}\cdot\frac{(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_5)\cdot(T_1-T_6)}{(T_3-T_4)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_3-T_6)}\cdot K_1 - \frac{T_3^4}{T_2^4}\cdot\frac{(T_2-T_4)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_2-T_6)}{(T_3-T_4)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_3-T_6)}\cdot K_2\,, \quad (13)$$

тогда уравнения (10), (11) и (12) примут вид:

$$K_4 = \frac{T_4^4}{T_1^4}\cdot\frac{(T_1-T_3)\cdot(T_1-T_5)\cdot(T_1-T_6)}{(T_3-T_4)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_4-T_6)}\cdot K_1 + \frac{T_4^4}{T_2^4}\cdot\frac{(T_2-T_3)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_2-T_6)}{(T_3-T_4)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_4-T_6)}\cdot K_2\,, \quad (14)$$

$$K_5 = -\frac{T_5^4}{T_1^4}\cdot\frac{(T_1-T_3)\cdot(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_6)}{(T_3-T_5)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_1 - \frac{T_5^4}{T_2^4}\cdot\frac{(T_2-T_3)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_2-T_6)}{(T_3-T_5)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_2\,, \quad (15)$$

$$K_6 = \frac{T_6^4}{T_1^4}\cdot\frac{(T_1-T_3)\cdot(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_5)}{(T_3-T_6)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_1 + \frac{T_6^4}{T_2^4}\cdot\frac{(T_2-T_3)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_2-T_5)}{(T_3-T_6)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_2\,. \quad (16)$$

Из уравнений (6), (13), (14), (15) и (16) следует, что:

$$K_2 = -\frac{T_2^5}{T_1^5}\cdot\frac{(T_1-T_3)\cdot(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_5)\cdot(T_1-T_6)}{(T_2-T_3)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_2-T_6)}\cdot K_1\,, \quad (17)$$

тогда уравнения (13), (14), (15) и (16) примут вид:

$$K_3 = \frac{T_3^5}{T_1^5}\cdot\frac{(T_1-T_2)\cdot(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_5)\cdot(T_1-T_6)}{(T_2-T_3)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_3-T_6)}\cdot K_1\,; \quad (18)$$

$$K_4 = -\frac{T_4^5}{T_1^5}\cdot\frac{(T_1-T_2)\cdot(T_1-T_3)\cdot(T_1-T_5)\cdot(T_1-T_6)}{(T_2-T_4)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_4-T_6)}\cdot K_1\,; \quad (19)$$

$$K_5 = \frac{T_5^5}{T_1^5}\cdot\frac{(T_1-T_2)\cdot(T_1-T_3)\cdot(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_6)}{(T_2-T_5)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_1\,; \quad (20)$$

$$K_6 = -\frac{T_6^5}{T_1^5}\cdot\frac{(T_1-T_2)\cdot(T_1-T_3)\cdot(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_5)}{(T_2-T_6)\cdot(T_3-T_6)\cdot(T_4-T_6)\cdot(T_5-T_6)}\cdot K_1\,. \quad (21)$$

Из уравнений (1), (17), (18), (19), (20) и (21) следует, что:

$$K_1 = -\frac{T_1^5}{(T_1-T_2)\cdot(T_1-T_3)\cdot(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_5)\cdot(T_1-T_6)}, \quad (22)$$

тогда уравнения (17), (18), (19), (20) и (21) примут вид:

$$K_2 = \frac{T_2^5}{(T_1-T_2)\cdot(T_2-T_3)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_2-T_6)}\,; \quad (23)$$

$$K_3 = -\frac{T_3^5}{(T_1-T_3)\cdot(T_2-T_3)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_3-T_6)}\,; \quad (24)$$

$$K_4 = \frac{T_4^5}{(T_1-T_4)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_4-T_6)}\,; \quad (25)$$

$$K_5 = -\frac{T_5^5}{(T_1-T_5)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\,; \quad (26)$$

$$K_6 = \frac{T_6^5}{(T_1-T_6)\cdot(T_2-T_6)\cdot(T_3-T_6)\cdot(T_4-T_6)\cdot(T_5-T_6)}. \quad (27)$$

Таким образом, переходная характеристика системы шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$h_{60}(t) = -\frac{T_1^5}{(T_1-T_2)\cdot(T_1-T_3)\cdot(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_5)\cdot(T_1-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$
$$+\frac{T_2^5}{(T_1-T_2)\cdot(T_2-T_3)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_2-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_2}} -$$
$$-\frac{T_3^5}{(T_1-T_3)\cdot(T_2-T_3)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_3-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_3}} +$$
$$+\frac{T_4^5}{(T_1-T_4)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_4-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_4}} -$$
$$-\frac{T_5^5}{(T_1-T_5)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_5}} +$$
$$+\frac{T_6^5}{(T_1-T_6)\cdot(T_2-T_6)\cdot(T_3-T_6)\cdot(T_4-T_6)\cdot(T_5-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_6}} + 1;$$

$$h_{60}^{(1)}(t) = \frac{T_1^4}{(T_1-T_2)\cdot(T_1-T_3)\cdot(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_5)\cdot(T_1-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$
$$-\frac{T_2^4}{(T_1-T_2)\cdot(T_2-T_3)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_2-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_2}} +$$
$$+\frac{T_3^4}{(T_1-T_3)\cdot(T_2-T_3)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_3-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_3}} -$$
$$-\frac{T_4^4}{(T_1-T_4)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_4-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_4}} +$$
$$+\frac{T_5^4}{(T_1-T_5)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_5}} -$$
$$-\frac{T_6^4}{(T_1-T_6)\cdot(T_2-T_6)\cdot(T_3-T_6)\cdot(T_4-T_6)\cdot(T_5-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_6}}.$$

Передаточная функция системы шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции имеет вид:

$$W_{61}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1)\cdot(T_2 p + 1)\cdot(T_3 p + 1)\cdot(T_4 p + 1)\cdot(T_5 p + 1)\cdot(T_6 p + 1)},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции шестого порядка.

Переходная характеристика системы шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции принимает вид:

$$h_{61}(t) = -\frac{T_1^4(T_1-\tau)}{(T_1-T_2)\cdot(T_1-T_3)\cdot(T_1-T_4)\cdot(T_1-T_5)\cdot(T_1-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$
$$+\frac{T_2^4(T_2-\tau)}{(T_1-T_2)\cdot(T_2-T_3)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_2-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_2}} -$$
$$-\frac{T_3^4(T_3-\tau)}{(T_1-T_3)\cdot(T_2-T_3)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_3-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_3}} +$$
$$+\frac{T_4^4(T_4-\tau)}{(T_1-T_4)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_4-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_4}} -$$
$$-\frac{T_5^4(T_5-\tau)}{(T_1-T_5)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_5}} +$$
$$+\frac{T_6^4(T_6-\tau)}{(T_1-T_6)\cdot(T_2-T_6)\cdot(T_3-T_6)\cdot(T_4-T_6)\cdot(T_5-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_6}} + 1.$$

При этом, если $\tau = T_1$, то:

$$h_{61}(t) = -\frac{T_2^4}{(T_2-T_3)\cdot(T_2-T_4)\cdot(T_2-T_5)\cdot(T_2-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_2}} +$$
$$+\frac{T_3^4}{(T_2-T_3)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_3-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_3}} -$$

$$-\frac{T_4^4}{(T_2-T_4)\cdot(T_3-T_4)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_4-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_4}}+$$
$$+\frac{T_5^4}{(T_2-T_5)\cdot(T_3-T_5)\cdot(T_4-T_5)\cdot(T_5-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_5}}-$$
$$-\frac{T_6^4}{(T_2-T_6)\cdot(T_3-T_6)\cdot(T_4-T_6)\cdot(T_5-T_6)}\cdot e^{-\frac{t}{T_6}}+1\,.$$

Предположим: $T_1 = 0{,}25T$, $T_2 = 0{,}2T$, $T_3 = 0{,}175T$, $T_4 = 0{,}15T$, $T_5 = 0{,}125T$, $T_6 = 0{,}1T$.

Если $\tau = 0$, то:

$$h_{61}(t) = -\frac{1250}{9}\cdot e^{-4\cdot\frac{t}{T}}+\frac{2048}{3}\cdot e^{-5\cdot\frac{t}{T}}-\frac{16807}{18}\cdot e^{-\frac{40}{7}\cdot\frac{t}{T}}+486\cdot e^{-\frac{20}{3}\cdot\frac{t}{T}}-$$
$$-\frac{625}{6}\cdot e^{-8\cdot\frac{t}{T}}+\frac{64}{9}\cdot e^{-10\cdot\frac{t}{T}}+1.$$

Если $\tau = T_1$, то:

$$h_{61}(t) = -\frac{512}{3}\cdot e^{-5\cdot\frac{t}{T}}+\frac{2401}{6}\cdot e^{-\frac{40}{7}\cdot\frac{t}{T}}-324\cdot e^{-\frac{20}{3}\cdot\frac{t}{T}}+\frac{625}{6}\cdot e^{-8\cdot\frac{t}{T}}-$$
$$-\frac{32}{3}\cdot e^{-10\cdot\frac{t}{T}}+1.$$

Если $\tau = 2T_1$, то:

$$h_{61}(t) = \frac{1250}{9}\cdot e^{-4\cdot\frac{t}{T}}-1024\cdot e^{-5\cdot\frac{t}{T}}+\frac{31213}{18}\cdot e^{-\frac{40}{7}\cdot\frac{t}{T}}-1134\cdot e^{-\frac{20}{3}\cdot\frac{t}{T}}+$$
$$+\frac{625}{2}\cdot e^{-8\cdot\frac{t}{T}}-\frac{256}{9}\cdot e^{-10\cdot\frac{t}{T}}+1.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 1 в относительных единицах.

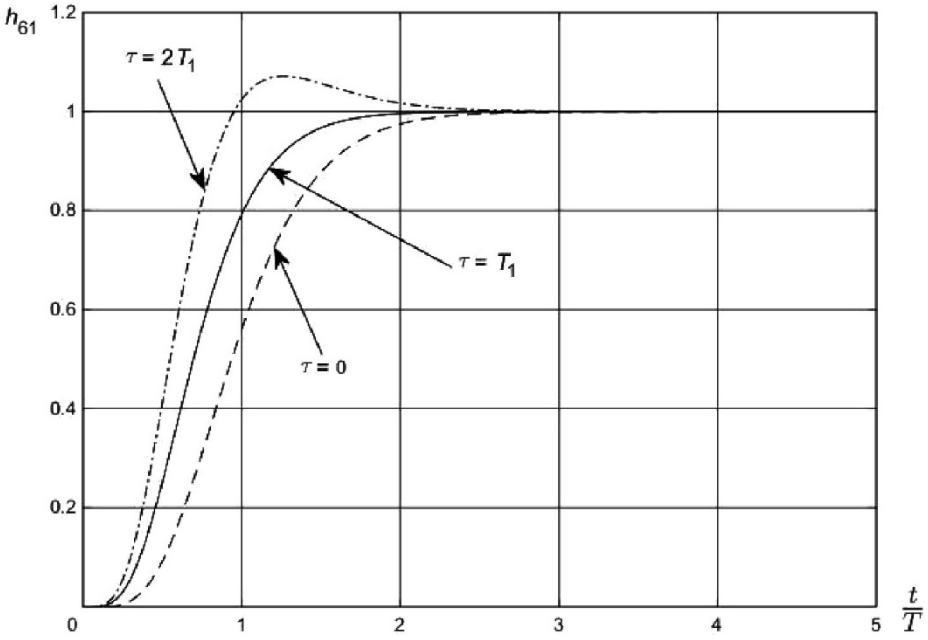


Рисунок 1 – Зависимость h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Вывод: получены переходные характеристики систем шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения как с полиномом нулевой степени, так и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции. Переходная характеристика системы шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции не имеет перерегулирования, если постоянная времени числителя меньше или равна большей по величине постоянной времени знаменателя.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019. – № 1. – С. 430–437.

2. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019. – № 3 – С. 234–239.

3. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019. – № 3. – С. 240–247.

4. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019. – № 3. – С. 248–254.

5. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с двумя корнями кратностью три характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019. – № 4. – С. 376–381.

6. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью три, с одним корнем кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019. – № 4. – С. 382–390.

7. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью три и с тремя корнями кратностью один характеристического уравнения // Наука. техника. технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019. – № 4. – С. 391–398.

References

1. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Serkin A.D., The analysis of transitional features of the system of the sixth order with multiple roots of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2019. – № 1. – P. 430–437.

2. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Pechonkin O.A., The analysis of transient characteristics of a sixth order system with five-time solution and one-time solution of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2019. – № 3. – P. 234–240.

3. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Pechonkin O.A., The analysis of transient characteristics of a sixth order system with four-time solution and double solution of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2019. – № 3. – P. 241–247.

4. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Pechonkin O.A., The analysis of transient characteristics of a sixth order system with four-time solution and two one-time solutions of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2019. – № 3. – P. 248–254.

5. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Pechonkin O.A., The analysis of transient characteristics of a sixth order system with two triple solutions of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2019. – № 4. – P. 376–381.

6. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Pechonkin O.A., The analysis of transient characteristics of a sixth order system with triple solution, double solution and one-time solution of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2019. – № 4. – P. 382–390.

7. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Pechonkin O.A., The analysis of transient characteristics of a sixth order system with triple solution and three one-time solutions of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2019. – № 4. – P. 391–398.

УДК 621.31, 62-83, 621.313.33

УПРАВЛЯЕМЫЙ КАСКАДНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД КАК СПОСОБ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВЕРХНЕГО ПРИВОДА БУРЕНИЯ

●●●●●●

CONTROLLED CASCADE ELECTRIC DRIVE AS A METHOD OF MODERNIZATION OF DRILLING UPPER DRIVE SYSTEMS

Карандей Владимир Юрьевич
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет
epp_kvy@mail.ru

Афанасьев Виктор Леонидович
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет

Афанасьева Инна Андреевна
магистрант,
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Проведенные исследования буровых систем показали растущий спрос на системы верхнего привода бурения, связанный с преимуществами над другими системами бурения заключающийся в: экономии времени за счет избегания прихвата буровой колонны, безопасность проведения работ, возможность быстрой подачи бурового раствора в скважину при спуске подъемных операций и д.р. Большинство СВП представлены гидравлическими и электрическими приводами. В связи в возросшим спросом на системы верхнего привода бурения требуется разработка усовершенствованных устройств.

Ключевые слова: специальный электрический привод, управляемый асинхронный каскадный электропривод, система верхнего привода бурения, электромеханическое преобразование энергии, электромагнитная система.

Karandey Vladimir Yuryevich
Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Head of department of Power supply
of the industrial enterprises,
Kuban state technological university
epp_kvy@mail.ru

Afanasiev Viktor Leonidovich
Graduate student,
Kuban state technological university

Afanasieva Inna Andreevna
Master 's degree,
Kuban state technological university

Annotation. Research of drilling systems have shown a growing demand for top drive drilling systems associated with advantages over other drilling systems consisting in: saving time by avoiding sticking of the drill string, safety of work, the ability to quickly supply drilling fluid to the well during the launch of lifting operations, etc. R. Most SVPs are represented by hydraulic and electric drives. Due to the increased demand for top drive drilling systems, the development of advanced devices is required.

Keywords: special electric drive, controlled by asynchronous cascade electric drive, top drilling drive system, electromechanical energy transformation, electromagnetic system.

К буровым установкам предъявляется особые требования [1, 2], особенно к основному элементу – системе силового верхнего привода [3, 4]. К нему предъявляются особые требования: соответствие мощности [5, 6] и гибкости характеристики условиям работы исполнительных механизмов [7, 8], достаточная надежность, долговечность, небольшая масса и экономическая эффективность [9, 10]. Под гибкостью характеристики понимают способность силового привода автоматически или при участии оператора быстро приспосабливаться в процессе работы к изменениям нагрузок и частот вращения исполнительных механизмов [11, 12]. Гибкость характеристики определяется коэффициентом приспособляемости, диапазоном собственного регулирования, частотой вращения валов силового привода и приемистостью двигателей. Приемистостью называют интенсивность протекания переходных процессов, т.е. время, в течение которого двигатель и силовой привод реагируют на изменение нагрузки.

В ходе анализа конструкции системы верхнего привода бурения (рис. 1) выявлены конструктивные элементы, которые можно подвергнуть модернизации: электрический привод, трансмиссия.

Применение управляемого каскадного электрического привода взамен классического однодвигательного электрического привода позволит улучшить механические характеристики электрического привода, так как управляемый каскадный электрический привод состоит из двух электродвигателей, и может найти применение при создании приводов с регулируемой частой вращения от 0 до двойной номинальной при постоянном моменте или приводов с удвоенным моментом при постоянной номинальной скорости вращения (рис. 2), в том числе реверсивных, а также при использовании любых других типов электрических приводов [13] .

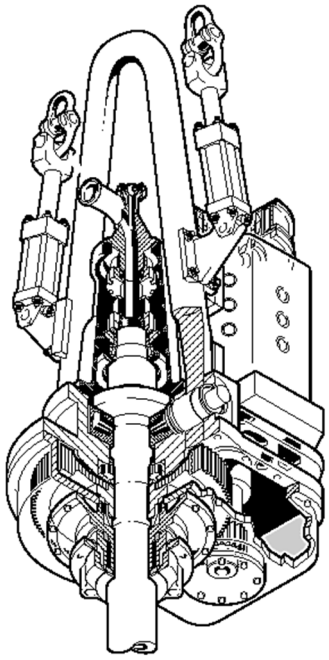


Рисунок 1 – Система СВП в разрезе

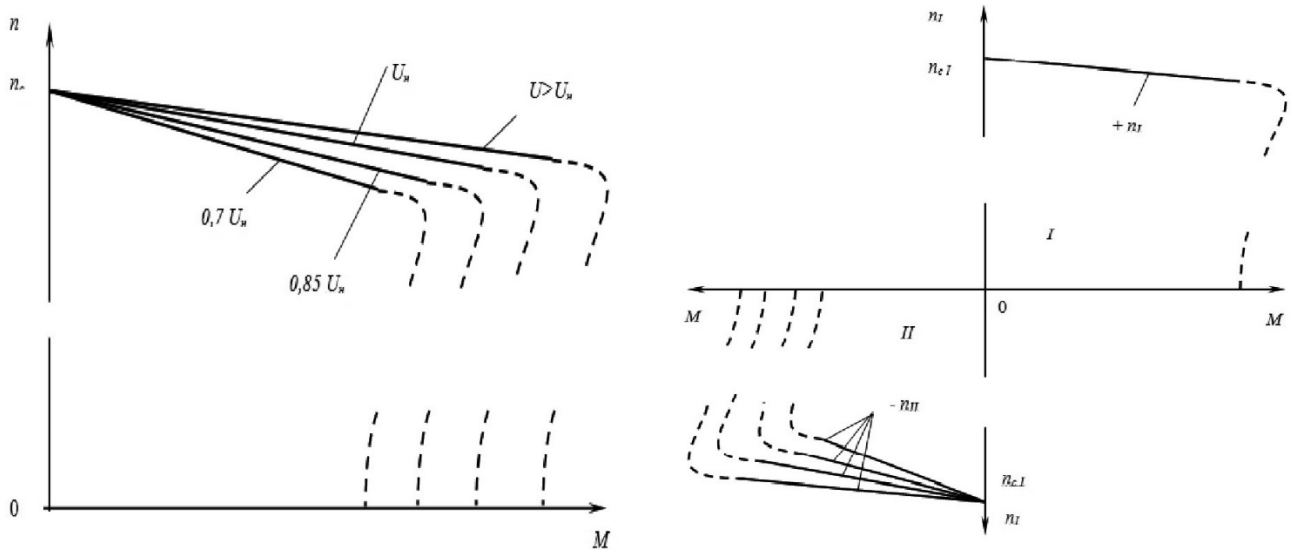


Рисунок 2 – Характеристики управляемого каскадного электрического привода

Разработаны два типа конструкции представленного электропривода: цилиндрическая и аксиальная. В ходе анализа разработанных конструкций наиболее приемлемой является аксиальная конструкция в виду своих компактных габаритов и равномерно направленных осевых усилий, что позволит снизить износ толевого троса.

Для расширения диапазона регулирования системы верхнего привода бурения необходимо разработать новые подходы к моделированию специальных электрических приводов [14, 15] и расчету электромагнитных параметров [16, 17]. Механически требуется отказаться от классического редуктора в пользу многоступенчатого планетарного редуктора, так как данные редуктор обладает рядом преимуществ: компактность; малая нагрузка, оказываемая на опоры; длительный эксплуатационный срок; повышенное передаточное отношение, большой диапазон регулирования.

Но главным преимуществом применения планетарного редуктора в связке с управляемым каскадным электрическим приводом – это способность планетарного редуктора, при взаимной блокировке звеньев превращаться впрямую передачу, что позволит в полной мере реализовать возможности управляемого каскадного электрического привода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям, договор № 14695ГУ/201.

Литература

1. Бакиров А.Т. Системы силового верхнего привода электрического и гидравлического исполнения. Основные характеристики, преимущества и недостатки : Современные проблемы нефтегазового оборудования / А.Т. Бакиров, В.Ф. Нуриахметов // Материалы Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 59–62.

2. Козярук А.Е. Энергоэффективные электромеханические комплексы горно-добывающих и транспортных машин // Записки Горного института. – 2016. – Т. 218. – С. 261–269.

3. Osipov O.I. Problems of implementation and adjustment of the modern electric drives // Russian Electrical Engineering. – 2015. – Vol. 86. – № 1. – С. 5–8.

4. Карандей В.Ю. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 08 (132). – С. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.

5. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052003, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052003.

6. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052002, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052002.

7. Ахметгаряев Р.Т., Андреев Н.К. Прямое управление моментом в электроприводе скважинных штанговых насосных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2011. – № 9–10. – С. 100–104.

8. Никулин О.В. Разработка алгоритма управления верхним приводом для бурения скважин с большим отклонением от вертикали / О.В. Никулин, А.А. Удовенко, В.С. Карабута // Газовая промышленность. – 2019. – № 1 (779). – С. 30–34.

9. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimum modeling and design of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // Advances in Engineering Research conference proceedings. Vol. 157, 242–247 pp., 2018. doi: 10.2991/aime-18.2018.47.

10. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of efficiency of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69–74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.

11. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, T. 5, 052009, 2018. doi: 10.1088/1755-1315/194/5/052009.

12. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.

13. Афанасьев В.Л. Управляемый каскадный электрический привод / В.Л. Афанасьев, В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // патент на полезную модель RU 191959 U1, 28.08.2019, заявка № 2019111630 от 16.04.2019.

14. Анучин А.С., Ханова Ю.М., Гуляев И.В. Разработка метода быстрого и точного моделирования электроприводов // Промышленная энергетика. – 2016. – № 4. – С. 28–33.

15. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.

16. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода аксиальной конструкции / В.Ю. Карандей, В.Н. Кишко, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 10 (134). – С. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.

17. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода цилиндрической конструкции / В.Ю. Карандей, В.В. Квочкин, В.Л. Афанасьев, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 09 (133). – С. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.

References

1. Bakirov A.T. Power top drive systems of electric and hydraulic execution. Main characteristics, advantages and disadvantages : Modern problems of the oil and gas equipment / A.T. Bakirov, V.F. Nuriakhmetov // Proc. of International scientific and technical conference. – 2019. – P. 59–62.

2. Koziaruk, A.E. Energy effective electromechanical complexes of the mining and transport machines // Notes of the Mining Institute. – 2016. – Vol. 218. – P. 261–269.

3. Osipov O.I. Problems of the modern electric drives and adjustment / Russian Electrical Engineering. – 2015. – Vol. 86. – № 1. – P. 5–8.

4. Karandey V.Yu. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / V.Yu. Karandey, V.L. Afanas'ev // Polythematic network electronic scientific journal of Kuban state agrarian university. – 2017. – № 08 (132). – P. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.

5. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052003, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052003.

6. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052002, 2018. doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052002.

7. Akhmetgariaev R.T., Andreev N.K. Direct torque control in the electric drive of the downhole downhole rod pumping units // Izvestia vysokhraneniya. Problems of power engineering. – 2011. – № 9–10. – P. 100–104.

8. Nikulin O.V. Development of the upper drive control algorithm for the wells with a large deviation from the vertical / O.V. Nikulin, A.A. Udovenko, V.S. Karabuta // Gas Industry. – 2019. – № 1 (779). – P. 30–34.

9. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimum modeling and design of special elec-tric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // Advances in Engineering Research conference proceedings. Vol. 157, 242-247 pp., 2018. doi: 10.2991/aime-18.2018.47.

10. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of efficiency of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69–74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.

11. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, T. 5, 052009, 2018. doi: 10.1088/1755-1315/194/5/052009.

12. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special elec-tric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineer-ing and Modern Technologies (FarEastCon) 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.

13. Afanasiev, V.L. Controlled cascade electric drive / V.L. Afanasiev, V.Yu. Karandey, B.K. Popov // Patent for useful model RU 191959 U1, 28.08.2019, application No. 2019111630 of 16.04.2019.

14. Anuchin A.S., Khanova Yu.M., Gulyaev I.V. Development of the fast and accurate modeling method for the electric power-electric drives // Industrial power engineering. – 2016. – № 4. – P. 28–33.

15. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.

16. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model of the controlled asynchronous cascade electric drive component of the axial design / V.Yu. Karandey, V.N. Kishko, V.L. Afanasiev, V.V. Kvochkin // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban state agrarian university. – 2017. – № 10 (134). – P. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.

17. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model of the controlled asynchronous cascade electric drive component of the cylindrical design / V.Yu. Kvochkin, V.L. Afanas'ev, V.N. Kishko // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. – 2017. – № 09 (133). – P. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.

УДК 621.313.33

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

●●●●●●

MATHEMATICAL MODEL OF A SYNCHRONOUS MACHINE

Квон Алексей Михайлович
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
alexdinasofi@yandex.ru

Автайкин Илья Николаевич
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
glubokovodnik@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается математическая модель явнополюсного синхронного двигателя, которая позволяет исследовать несимметричные режимы работы и межвитковые замыкания. Авторами предложены методики определения параметров модели и пути преобразования дифференциальных уравнений с целью проведения численных экспериментов.

Ключевые слова: математическое моделирование; явнополюсный синхронный двигатель; определение параметров; переход к матричной форме.

Kwon Alexei Mikhailovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Assistant Professor
of electrical engineering
and electrical machines,
Kuban state technological university
alexdinasofi@yandex.ru

Avtaikin Ilya Nikolaevich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Assistant Professor
of electrical engineering
and electrical machines,
Kuban state technological university
glubokovodnik@yandex.ru

Annotation. The paper considers a mathematical model of the explicit lucus synchronous motor, which allows to investigate asymmetrical modes of operation and intercircuits. The authors offer methods of definition of parameters of the model and ways of transformation of the differential equations for the purpose of carrying out of numerical experiments.

Keywords: mathematical simulation; explicit pole synchronous motor; parameter determination; transition to matrix form.

Синхронные двигатели активно применяются в нефтегазовой отрасли. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с асинхронными машинами. Максимальный вращающий момент меньше зависит от величины питающего напряжения, скорость вращения ротора синхронна с магнитным полем, характер машины может быть активным, индуктивным или емкостным, высокий КПД, большой воздушный зазор. Есть варианты синхронных двигателей с безщёточным возбуждением.

У синхронного двигателя есть ряд проблемных моментов. Скорость вращения ротора не регулируется, сложность пуска и самозапуска, вероятность выхода из синхронизма, малый пусковой момент. Данные проблемы могут быть успешно решены подбором правильного типа синхронной машины, усложнением конструкции двигателя или при помощи дополнительных внешних устройств.

На промысловых компрессорных станциях с поршневыми компрессорами применяются синхронные двигатели СДКП, на буровых установках СДЗ, СДБ, СДЗБ, СДБО. Взрывозащищенные синхронные двигатели СТДП применяются на нефтеперекачивающих станциях и компрессорных станциях магистральных газопроводов. Используются и синхронные двигатели СТД без взрывозащиты, которые устанавливаются за пределами насосных и компрессорных станций.

Двигатели основных технологических агрегатов, применяемые в нефтегазовой отрасли при бурении, добыче или транспорте обладают мощностями в десятки и сотни киловатт. Выход из строя такой ответственной электрической машины приводит к серьезным экономическим потерям, связанным с остановкой технологического процесса, вынужденным ремонтом. В связи с вышесказанным, возрастают требования к безаварийной работе синхронных машин. Один из путей решения этой проблемы – своевременное обнаружение аномальных режимов работы и признаков зарождающихся необратимых повреждений конструкции электрической машины на ранних стадиях.

Для решения такой задачи необходимо составить математическую модель, отвечающую требованиям высокой чувствительности, адекватности, информативности и сходимости с предполагаемым объектом моделирования. На следующих этапах полученная модель используется для получения экспериментальных данных, которые могут быть использованы в системах управления и контроля, также при принятии решений персоналом, обслуживающим технологические установки с синхронными двигателями.

Данная работа посвящена созданию математической модели явнополюсного синхронного двигателя. На этапе принятия решения о варианте схемы замещения, выбор пал на фазный статор в осях a-b-c и ротор в осях d-q. Данная схема наиболее информативна и удобна для практического применения. В обмотках статора будут протекать реальные токи, соответствующие физической модели рассматриваемого синхронного двигателя. Информацию с этих обмоток наиболее удобно снимать при помощи типовых измерительных систем, которые необходимо предусмотреть в процессе монтажа оборудования.

Разработанная схема замещения явнополюсного синхронного двигателя (рис. 1) предусматривает учет системы электроснабжения в каждой фазе $R_в$, $L_в$. Внутренние параметры обмоток учтены индуктивными и активными элементами. Наличие сопротивления Rш позволяет имитировать межвитковое замыкание в фазе, которое является одним из самых распространенных и сложновыявляемых аномалий в работе электрических машин. На роторе предполагаются обмотки возбуждения и демпферная.

Методика определения параметров представленной схемы изложена в [1]. Она опирается на решение оптимизационной задачи для сложной целевой функции F(Y), учитывающей максимальный момент в синхронном режиме, момент и ток при асинхронном пуске проектируемого или каталожного синхронного двигателя. Для решения задачи параметрической идентификации предлагается применить методы переменной метрики (квазиньютоновские методы), которые аппроксимируют матрицу Гессе.

Для уточнения параметров обмоточной части рекомендуется воспользоваться методикой из [2].

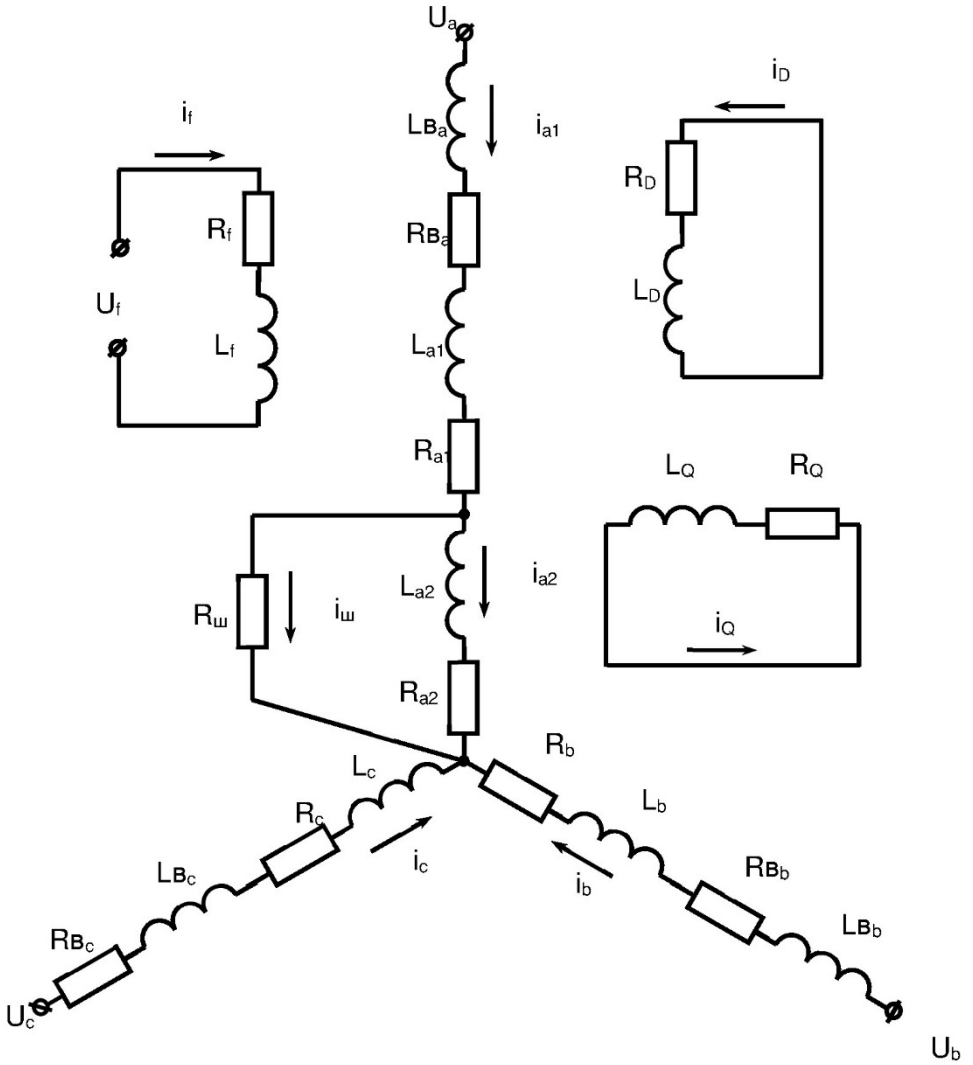


Рисунок 1

Система дифференциальных уравнений, входящая в состав математической модели исследуемой машины, составлена на основе законов Кирхгофа. Основная проблема, которая возникает при решении данной системы, состоит в том, что индуктивности и потокосцепления входящие в нее являются функциями положения ротора. То есть имеет место система с переменными коэффициентами. В случае установившегося режима работы эти коэффициенты будут периодическими.

$$\begin{cases} L_{ва}\dfrac{di_{a1}}{dt} + (R_{a1} + R_{ва})i_{a1} + \dfrac{d\Psi_{a1}}{dt} + R_{ш}i_{ш} - \\ -(R_b + R_{вb})i_b - \dfrac{d\Psi_b}{dt} - L_{вb}\dfrac{di_{вb}}{dt} = U_a - U_b; \\ -L_{вc}\dfrac{di_c}{dt} - (R_c + R_{вc})i_c - \dfrac{d\Psi_c}{dt} + (R_b + R_{вb})i_b + \\ + \dfrac{d\Psi_b}{dt} + L_{вb}\dfrac{di_{вb}}{dt} = U_b - U_c; \\ R_{a2}i_{a2} + \dfrac{d\Psi_{a2}}{dt} - R_{ш}i_{ш} = 0; \\ R_f i_f + \dfrac{d\Psi_f}{dt} = U_f; \\ R_D i_D + \dfrac{d\Psi_D}{dt} = 0; \\ R_Q i_Q + \dfrac{d\Psi_Q}{dt} = 0; \\ i_{a2} + i_{ш} + i_b + i_c = 0; \\ i_{a1} - i_{ш} - i_{a2} = 0. \end{cases}$$

После преобразований система приводится к матричному уравнению общего вида:

$$N_U \cdot U = \left(R + N_\Psi \cdot \frac{dL}{dt}\right) \cdot i + N_\Psi \cdot L \cdot \frac{di}{dt},$$

где N_U – матрица графа опорных напряжений; U – матрица фазных напряжений; R – матрица сопротивлений; N_Ψ – матрица графа потокосцеплений; $\frac{dL}{dt}$ – матрица искомых токов; i – матрица искомых токов; L – матрица индуктивностей; $\frac{di}{dt}$ – матрица производственных искомых токов.

При заполнении матриц L и R необходимо учитывать коэффициенты ka определяющий соотношение незамкнутых витков к полному числу витков фазы и kcв характеризующий взаимоиндуктивную связь между поврежденной и неповрежденной частями фазной обмотки. В [2] поставленная задача решена и получены зависимости для различных гармоник тока на входе поврежденной фазы от коэффициента перемкнутых витков в фазе от 0 (нормальный режим) до 1 (100 % перемыкание витков фазы).

Полученная в работе математическая модель позволяет провести ряд исследований несимметричных режимов работы явнополюсной синхронной машины с целью выявления критериев и оценки степени их опасности путем численного эксперимента, что позволит продлить сроки безаварийной работы действующих и проектируемых технологических систем на базе данного типа электрической машины. Кроме того, представленная модель может являться опорной при создании широко круга схем замещения для исследования всего многообразия аномальных и аварийных режимов синхронных машин.

Литература

1. Квон А.М. Минимизация ошибок при определении параметров синхронной машины : Электромеханические преобразователи энергии // Материалы второй межвузовской научно-методической конференции; Сборник тезисов и докладов. – Краснодар : изд-во Краснодарский военный авиационный институт, 2003. – Т. 1. – С. 263–264.

2. Квон А.М., Автайкин И.Н., Артенян К.З. Анализ параметров медных обмоточных проводов на основе теоремы Умова-Пойнтинга // Булатовские чтения. – Краснодар : Издательский Дом – Юг. – 2019. – Т. 5. – С. 91–93.

3. Квон А.М. Выявление на ранних стадиях аварийных режимов технологических установок с синхронными двигателями // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – Краснодар : изд-во Кубанский государственный технологический университет. – 2013. – № 4. – С. 121–122.

References

1. Kwon A.M. Minimization of errors at determination of the synchronous machine parameters : Electromechanical energy converters // Materials of the second interuniversity scientific-methodical conference; Collection of theses and reports. – Krasnodar : Krasnodar Military Aviation Institute, 2003. – Vol. 1. – P. 263–264.

2. Kwon A.M., Avtaikin I.N., Artyan K.Z. Analysis of parameters of copper winding wires on the basis of Umova-Pointing theorem // Bulatovskie readings. – Krasnodar : Publishing House – South. – 2019. – Vol. 5. – P. 91–93.

3. Kvon A.M. Detection at the early stages of the emergency modes of the technological installations with the synchronous motors // News of higher educational institutions. Food technology. – Krasnodar : Kuban state technological university. – 2013. – № 4. – P. 121–122.

УДК 621.313

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

●●●●●●

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SEPARATORS FOR POLYDISPERSED LIQUIDS

Ким Владислав Анатольевич
магистрант 2 курса
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
vladk-kub@mail.ru

Kim Vladislav Anatolievich
2nd year master's degree student
Department of electrical engineering
and electrical machines,
Kuban state technological university
vladk-kub@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена рассмотрению перспектив развития сепараторов для полидисперсных жидкостей.

Annotation. This article is devoted to consideration of the development prospects of separators for polydispersed liquids.

Ключевые слова: центробежный сепаратор, сепарация нефти.

Keywords: centrifugal separator, oil separation.

В ходе работ по созданию перспективной энерго- и ресурсосберегающей установки для переработки нефти на базе электромеханических преобразователей энергии совмещенной конструкции [1–5] на кафедре электротехники и электрических машин ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» на основе обзора и анализа отечественных и зарубежных установок для переработки нефти были определены перспективные пути развития сепараторов для полидисперсных жидких систем.

Перспективным выглядит создание новых конструкций сепараторов, работающих согласно способу сепарирования нефти [6], представленному на рисунке 1, включающем предварительный нагрев сырой нефти, ее сепарирование, получение очищенной нефти и осадка. При этом сырую нефть предварительно подогревают в подогревателе до температуры 58–60 °С. Затем нефть, проходя по залитым компаундом трубкам, опоясывающим обмотку статора сепаратора, дополнительно подогревается за счет тепловыделений в обмотках и магнитопроводах статора электродвигателя сепаратора. Далее в торцовой и цилиндрической частях барабана сепаратора, одновременно являющегося ротором электродвигателя сепаратора, нефть подогревается до температуры 60–63 °С, необходимой для сепарирования. Кроме того, при этом нефть подвергается воздействию электромагнитного поля с аксиальной и цилиндрической частей статора электродвигателя сепаратора. Техническим результатом изобретения является снижение энергозатрат и интенсификация процесса сепарирования нефти.

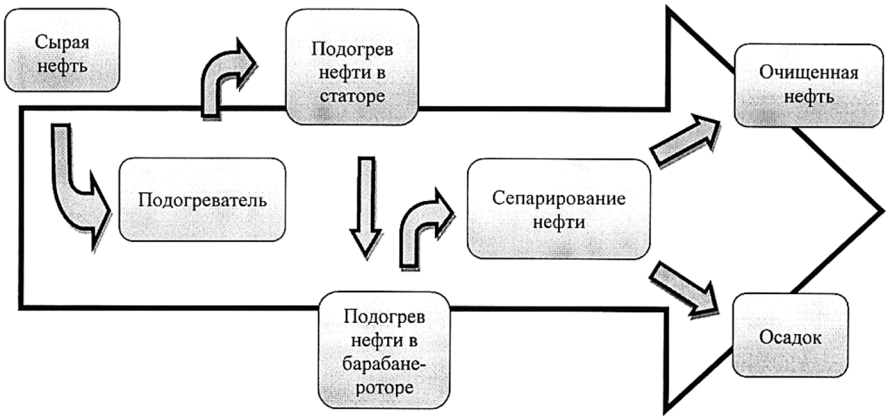


Рисунок 1 – Способ сепарирования нефти

На основании вышеизложенного способа [6] представляется возможным создание нового вида энергосберегающих электромеханических преобразователей энергии совмещенной конструкции для переработки нефти, выполняющих не только функцию сепарирования газоводонефтяной эмульсии с

последующим разделением на очищенную нефть, газ и воду, но и выполнять функцию подогрева. В таком сочетании функций появиться возможность снизить энергопотребление при подготовке нефти в подогревателе. Снижение энергопотребления на подогрев нефти в подогревателе будет возможно в силу того, что при использовании тепловыделения в барабане и статоре сепаратора, частичный подогрев нефти будет происходить в барабане, и в подогревателе нефть необходимо будет подогреть на меньшую Δt.

Изветна установка для сепарирования нефти [7], реализующая способ сепарирования нефти [6] и представленная на рисунке 2, содержащая корпус 1 сепаратора, смонтированный в нем статор электродвигателя, состоящий из двух частей (цилиндрическая часть 2-1, аксиальная часть 2-2), с обмоткой 3 двух частей статора, вокруг лобовых частей которой установлены трубки 4, залитые компаундом 5, барабан сепаратора 6, являющийся одновременно ротором электродвигателя, жестко связанный с валом 7, подогревателя нефти 15, соединительных трубок 16 и 17. Вал 7 установлен в подшипниковых опорах 8 и 9. Барабан сепаратора 6 состоит из основания 10 с центральной трубкой, разделительных тарелок 11, крышки 12, тарелкодержателя 13, затяжного кольца 14,. Соединительная трубка 16 соединяет подогреватель нефти 15 с входом трубок 4, а соединительная трубка 17 соединяет выход трубок 4 с внутренней частью барабана сепаратора 6.

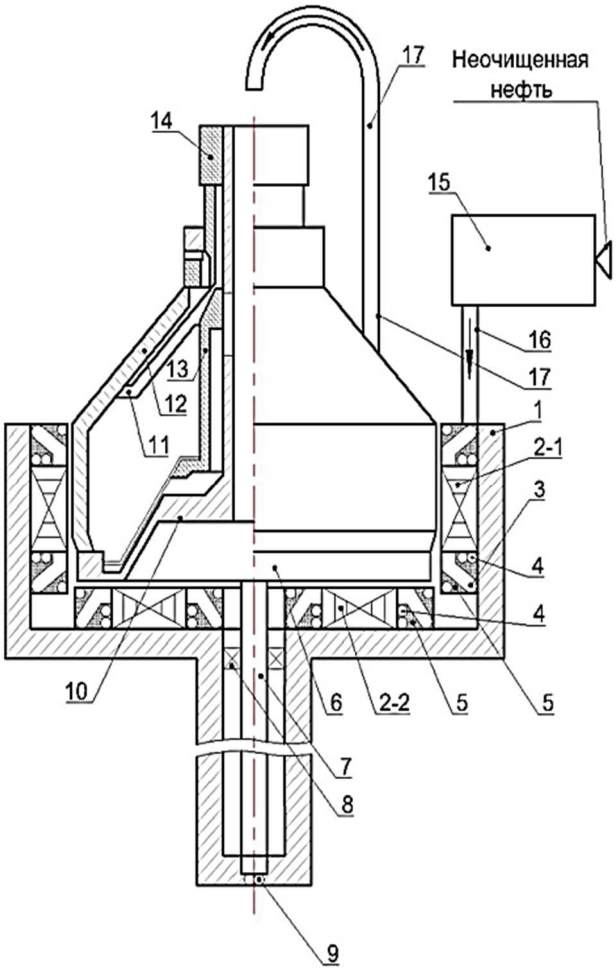


Рисунок 2 – Установка для сепарирования нефти

Однако, известный из [7] сепаратор для жидкости по также имеет ряд недостатков, а именно: недостаточно высокие энергетические показатели установки, низкие массогабаритные показатели, низкая надежность.

Существенным недостатком известного из [7] сепаратора, являющегося составной частью установки для сепарирования нефти, как и любой электрической машины с аксиальным магнитопроводом является также наличие большого осевого (аксиального) электромагнитного усилия, вызванного неизбежным притяжением барабана-ротора к аксиальному магнитопроводу. Это усилие оказывает разрушающее действие на подшипники, ведет к преждевременному выходу их из строя и создает угрозу механического соприкосновения вращающегося барабана-ротора сепаратора и аксиального магнитопровода. Кроме того, при вращении барабана-ротора возможен его перекос относительно аксиального

магнитопровода, вызванный большим осевым (аксиальным) электромагнитным усилием. Это также ведет к преждевременному выходу подшипников из строя и возможности соприкосновения барабана-ротора с аксиальным магнитопроводом. Это уменьшает надежность сепаратора.

Для исключения возможности соприкосновения барабана-ротора с аксиальным магнитопроводом необходимо обеспечить большой воздушный зазор между аксиальным магнитопроводом статора и барабаном-ротором.

Кроме того, в известном из [7] сепараторе имеет место качание, биение и вибрации барабана-ротора внутри цилиндрического магнитопровода сепаратора. Это может привести к соприкосновению вращающегося барабана-ротора сепаратора и цилиндрического магнитопровода. Это также снижает надежность сепаратора и требует обеспечения большого воздушного зазора между барабаном-ротором и цилиндрическим магнитопроводом.

Поэтому на повестке дня стоит задача усовершенствования конструкции сепаратора, позволяющая повысить его надежность, энергетические и массогабаритные показатели.

Это возможно достичь за счет уменьшения воздушного зазора между основанием ротора, выполненным в виде барабана сепаратора, и аксиальным магнитопроводом и боковыми элементами ротора, выполненного в виде барабана сепаратора, и цилиндрическим магнитопроводом. Уменьшение воздушного зазоров приведет к снижению энергопотребления, уменьшению массы проводов обмоток статора и размеров сепаратора, минимизации вероятности соприкосновения вращающегося ротора, выполненного в виде барабана сепаратора, с аксиальным и цилиндрическим магнитопроводами. Такой результат возможно достичь тем, что в сепараторе, содержащем корпус и смонтированные в нем статор электродвигателя и ротор, выполненный в виде барабана сепаратора, при этом статор электродвигателя жестко закреплен в корпусе и содержит цилиндрический магнитопровод, в пазы которого уложена первая обмотка, и аксиальный магнитопровод, в пазы которого уложена вторая обмотка, с внешним бандажным кольцом, в верхней части которого выполняют углубления полусферической формы, в которые укладывают неферромагнитные шарики, при этом первая и вторая обмотки соединены последовательно, их лобовые части обвиты трубками для охлаждения статора и подогрева сепарируемого продукта и замоноличены компаундом, а ротор, выполненный в виде барабана сепаратора, жестко закреплен на оси, установленной в подшипниковых опорах, и содержит пакет разделительных тарелок, тарелкодержатель, затяжное кольцо с отверстием, соединительную трубку, соединяющую внутреннюю часть ротора, выполненного в виде барабана сепаратора, с выходом трубок для охлаждения статора и подогрева сепарируемого продукта, и основание с центральной трубкой, которое выполняют с кольцевыми канавками полукруглого сечения, посредством которых ротор, выполненный в виде барабана сепаратора, устанавливают с возможностью вращения на неферромагнитные шарики.

На рисунке 3 представлен фрагмент вида сепаратора, содержащий предложение по усовершенствованию конструкции. Статор электродвигателя жестко закреплен в корпусе 1 и содержит цилиндрический магнитопровод 2, в пазы которого уложена первая обмотка 3, и аксиальный магнитопровод 5, в пазы которого уложена вторая обмотка 10, с внешним бандажным кольцом 7. В верхней части бандажного кольца 7 выполнено углубление 11 полусферической формы, в которые уложены неферромагнитные шарики 12. Первая 3 и вторая 10 обмотки соединены последовательно, их лобовые части обвиты трубками 8 для охлаждения статора и подогрева сепарируемого продукта и замоноличены компаундом 9. Основание барабана-ротора 4 выполнено с кольцевой канавкой 13 полукруглого сечения, посредством которых ротор, выполненный в виде барабана сепаратора, установлен с возможностью вращения на неферромагнитные шарики 12.

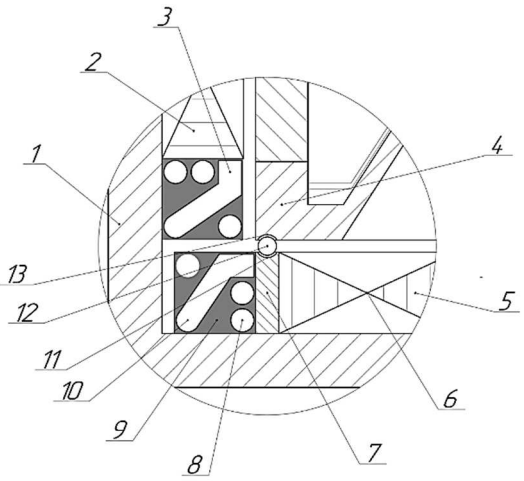


Рисунок 3 – Фрагмент вида сепаратора совмещенной конструкции

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230010 р_а.

Литература

1. Гайтов Б.Х. Разработка нового вида энергосберегающей установки для переработки нефти / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, В.А. Ким // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Естественно-математические и технические науки. – Майкоп : Изд-во АГУ, 2019. – Вып. 3 (246). – С. 103–108.

2. Гайтов Б.Х. Энергосберегающая установка для сепарирования нефти и определения ее параметров / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, В.А. Ким // Энергосбережение и водоподготовка. – 2019. – № 4 (120). – С. 58–62.

3. Kopelevich L.E., Kim V.A., Artenyan K.Z. «Mathematical Model for Diagnosing Rotor-Drum of Resource Saving Unit for Oil Refining», 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8933837.

4. Gaytov B.Kh., Kim V.A., Artenyan K.Z. «Adjustment Characteristics of Resource Saving Unit for Oil Refining», 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934816.

5. Кашин Я.М. Сепаратор для переработки нефти совмещенной конструкции и его температурное поле / Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, В.А. Ким, К.З. Артенян // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 5. – С. 86–99. – URL : https://ntk.kubstu.ru/file/2758 (дата обращения 13.01.20).

6. Пат. 2585636 Российская Федерация, МПК7 B01D17/06, B03C5/00, B01D43/00. Способ сепарирования нефти / Л.Е. Копелевич; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет» (ФГБОУ ВО «КубГТУ») (RU). – № 2015110413/05; заявл. 2015-03-23; опубл. 27.05.2016, Бюл. № 15. – 6 с. : ил.

7. Пат. 2593626 Российская Федерация, МПК7 B04B 5/10, B03C 5/02, B01D 17/06, B01D 43/00, B04B 9/02. Установка для сепарирования нефти / Л.Е. Копелевич; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – № 2015110414/05; заявл. 23.03.15; опубл. 10.08.16, Бюл. № 22.

References

1. Gaitov B.H. Development of a new type of the energy-saving installation for oil processing / B.H. Gaitov, Ya.M. Kashin, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov, V.A. Kim // Messenger of Adygeya State University. Series: Natural-mathematical and technical sciences. – Maykop : ASU Publishing House, 2019. – Part 3 (246). – P. 103–108.

2. Gaitov B.H. Energy saving installation for oil separation and its parameters determination / B.H. Gaitov, Ya.M. Kashin, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov, V.A. Kim // Energy saving and water treatment. – 2019. – № 4 (120). – P. 58–62.

3. Kopelevich L.E., Kim V.A., Artenyan K.Z. «Mathematical Model for Diagnosing Rotor-Drum of Resource Saving Unit for Oil Refining», 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8933837.

4. Gaytov B.Kh., Kim V.A., Artenyan K.Z. «Adjustment Characteristics of Resource Saving Unit for Oil Refining», 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934816.

5. Kashin Ya.M. Separator for the combined structure oil processing and its temperature field / Ya.M. Kashin, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov, V.A. Kim, K.Z. Artenian // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubSTU». – 2019. – № 5. – P. 86–99. – URL : https://ntk.kubstu.ru/file/2758 (date of address 13.01.20).

6. Pat. 2585636 Russian Federation, MPK7 B01D17/06, B03C5/00, B01D43/00. Method of oil separation / L.E. Kopelevich; applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Technological University». (FGBOU VO «KubGTU») (RU). – № 2015110413/05; declared. 2015-03-23; op. cit. 27.05.2016, Bul. № 15. – 6 p. : silt.

7. Pat. 2593626 Russian Federation, MPK7 B04B 5/10, B03C 5/02, B01D 17/06, B01D 43/00, B04B 9/02. Oil separation plant / L.E. Kopelevich; applicant and patent holder of FSBOU VPO «Kuban State Technological University». – № 2015110414/05; declared by L.E. Kopelevich; applicant and patent holder of FSBEU «Kuban State Technological University». 23.03.15; op. cit. 10.08.16, Bulletin № 22.

УДК 621.316

ДИАГНОСТИКА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

●●●●●●

DIAGNOSTICS OF HIGH-VOLTAGE SWITCH BASED ON MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION

Киселёв Д.В.
Казанский государственный
энергетический университет
D.kiselev@list.ru

Рябишина Л.А.
доцент кафедры электротехника
и электрооборудование предприятий,
магистрант,
Казанский государственный
энергетический университет
ryabli@yandex.ru

Аннотация. Актуальной задачей в области диагностики высоковольтных выключателей является усовершенствование существующих принципов определения технического состояния высоковольтных выключателей. Для исследований был выбран метод определения сработанного и остаточного ресурса выключателя – по величине энергии, выделяемой в выключателе при коммутации.

Ключевые слова: сигнал в дальней зоне группы пневмоис-точников, сигнал в ближней зоне, гидрофон, итерационный вычислительный процесс.

Kiselev D.V.
Kazan state energy university
D.kiselev@list.ru

Ryabishina L.A.
Assistant Professor of electrotechnics
and electrical equipment of enterprises,
Graduate student,
Kazan state energy university
ryabli@yandex.ru

Annotation. An urgent task in the field of diagnostics of high-voltage switches is to improve the existing principles for determining the technical condition of high-voltage switches. For research, a method was chosen to determine the triggered and residual life of the switch-by the amount of energy released in the switch during switching.

Keywords: monitoring, diagnostics, high-voltage switch, resource, switching energy.

Высоковольтные выключатели (ВВ) – основными коммутационные аппараты, которые являются наиболее ответственным оборудованием энергосистемы. ВВ должны обеспечивать высокую надежность выполнения своих функций отключения и включения как в нормальном, так и в аварийном режимах. Соответственно они требуют проведения своевременного и обоснованного технического обслуживания и ремонта. Сложно осуществлять техническое обслуживание и ремонт по техническому состоянию, не располагая современной системой мониторинга и диагностики, способной оценивать техническое состояние и определять расход и остаток ресурса ВВ в автоматическом режиме.

Для создания такой системы необходимо обеспечить поступление диагностических параметров от объекта диагностики. Применительно к ВВ эту задачу можно решить, организовав поток диагностических данных от терминалов микропроцессорной релейной защиты, автоматики и управления (МП РЗАУ), относящихся к данному ВВ.

В современных терминалы МП РЗАУ в структуре автоматизированной системы управления технологическим процессом энергетического объекта функции мониторинга и диагностики ВВ присутствуют в устройствах производителей релейной защиты. Однако их реализация не всегда полноценна и зачастую сводится к ведению статистики работы ВВ. В связи с этим задача усовершенствования существующих принципов определения технического состояния ВВ является весьма актуальной.

Как известно [2], техническое состояние дугогасительной камеры ВВ и его контактной системы отражает коммутационный ресурс ВВ. Коммутационный ресурс задается заводом-изготовителем и определяется допустимым для ВВ количеством операций отключения как при номинальном токе (Iном), так и при номинальном токе отключения (Iном.о) без осмотра и ремонта дугогасительного устройства.

На предприятиях электроэнергетики определение расхода коммутационного ресурса проводится оперативным персоналом по методике [3]:

$$R = \sum_{i=1}^{K} R_i = \sum_{i=1}^{K} \frac{1}{N_i}, \quad (1)$$

где R – расход коммутационного ресурса за K отключений; R_i – расход коммутационного ресурса за одно отключение тока I_i; N_i – допустимое количество отключений при токе I_i.

Условием вывода ВВ в ремонт является [3]:

$$\sum_{i=1}^{K} \frac{1}{N_i} > 1 - \frac{1}{N_{min}}, \quad (2)$$

где N_{min} – допустимое количество отключений при наибольшем токе, возможном в месте установки ВВ.

Недостаток данной методики в том, что не учитывается влияние многих факторов, от которых зависит износ дугогасительной камеры ВВ – вида и времени протекания короткого замыкания (КЗ), наличия апериодической составляющей в токе, времени горения дуги и других.

Преимуществом методики [4] является то, что в качестве эксплуатационного фактора, наиболее сильно влияющего на снижение ресурса, может быть использован любой – электрический, тепловой, химический, механический. При этом необходимо определить зависимость срабатываемого ресурса ВВ от этого фактора для вычисления относительного отклонения данного фактора, что является сложной задачей. В работе [4] описано использование данной методики с учетом лишь тока, коммутируемого ВВ. В таком виде данная методика имеет те же недостатки, что и в работе [3].

Сработка коммутационного ресурса ВВ происходит в результате оплавления и испарения материала контактов при коммутациях токов КЗ, сопровождающихся электрической дугой внутри дугогасительного устройства ВВ при разрыве его контактов. При больших коммутируемых токах КЗ общий износ ВВ находится в зависимости от энергии, выделяющейся на его контактах [5].

Рассмотрим предлагаемый принцип организации работы функции мониторинга и диагностики высоковольтного выключателя (МДВВ) с использованием методики [4], приняв в ней за наиболее значимый эксплуатационный фактор энергию, выделяемую в ВВ при отключении.

Эта энергия может быть подразделена на две составные части:

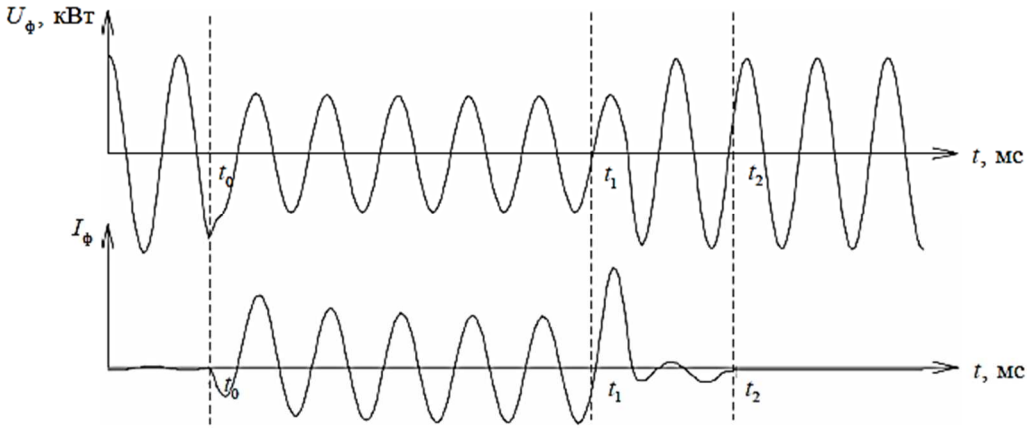
– W_1 – энергия, выделившаяся на контактах ВВ в интервале времени от момента КЗ (t_0) до момента начала расхождения контактов ВВ (t_1) (рис. 1);

– W_2 – энергия, выделившаяся в ВВ от момента загорания электрической (t_1) дуги до момента ее погасания (t_2) (см. рис. 1).

Суммарная энергия, выделяющаяся в ВВ при отключении им КЗ, определяется выражением:

$$W_\Sigma = W_1 + W_2. \quad (3)$$

Современные терминалы МП РЗАУ осуществляют запись и хранение мгновенных значений токов и напряжений трех фаз в месте установки ВВ в виде осциллограмм, а также запись большого количества дискретных сигналов (срабатывание защит, положение ВВ и др.). Пример осциллограммы тока при отключении однофазного КЗ на линии электропередачи приведен на рисунке 1. Здесь: U_Φ, I_Φ – фазные напряжение и ток; t_0 – время возникновения КЗ; t_1 – время начала размыкания контактов; t_2 – время погасания дуги.



Из данной осциллограммы можно определить величины, необходимые для определения энергии, выделяющейся в ВВ при отключении КЗ: ток через ВВ (i), время существования КЗ до момента размыкания контактов $t_{кз} = t_1 - t_0$ и время гашения электрической дуги $t_д = t_2 - t_1$.

Энергия W_1, выделившаяся в ВВ за время КЗ, когда его контакты замкнуты, определяется выражением:

$$W_1 = r_к \int_{t_0}^{t_1} {i_{кз}}^2(t)dt, \quad (4)$$

где $i_{кз}(t)$ – функция тока КЗ; $r_к$ – электрическое сопротивление замкнутых контактов ВВ; t_0 – момент времени начала КЗ; t_1 – момент времени начала размыкания контактов ВВ.

Энергия W_2, выделившаяся в ВВ за время, когда его контакты размыкаются, определяется накопленной реактивной энергией цепи КЗ:

$$W_2 = E I_{\text{кз}} t_{\text{д}} \sin \varphi_{\text{кз}}, \quad (5)$$

где E – эдс энергосистемы; $\varphi_{\text{кз}}$ – угол короткого замыкания; $I_{\text{кз}}$ – действующее значение тока КЗ до момента размыкания контактов.

Значения величин $i_{\text{кз}}(t)$, $I_{\text{кз}}$, t_0, t_1 и t_2 определяем из осциллограммы (см. рис. 1), E – из данных электрической сети и, наконец, $r_{\text{к}}$ – из паспортных данных ВВ.

Выражение (3) для фактического сработанного ресурса при учете фактора – коммутируемой энергии W_Σ – примет вид:

$$R = R_0 + \sum_{j=1}^{K} \left(\int_0^{R_j} exp\left(\frac{W_\Sigma - W_0}{\Delta W}\right) dr - R_j \right), \quad (6)$$

где W_0 – нормативное значение энергии; ΔW – относительное отклонение энергии (при каждом увеличении фактора W_Σ на величину ΔW фактический сработанный ресурс ВВ увеличивается в e раз, а при уменьшении – уменьшается в e раз).

Нормативный коммутационный ресурс ВВ R_0 определяется, как ресурс ВВ в номинальных условиях эксплуатации, и равен $N_{\text{ном}}$ – допустимому количеству отключений ВВ при токе $I_{\text{ном}}$. Однако если требуется рассчитать фактический ресурс за наработку, отличную от наработки в объеме нормативного ресурса R_0, то в выражении (6) необходимо принять значение R_0, равное этой наработке [4].

Коммутационный ресурс на ВВ дается заводом-изготовителем в виде зависимости допустимого количества отключений ВВ $N_{\text{ном}}$ при токе $I_{\text{ном}}$ и $N_{\text{ном.о}}$ при токе $I_{\text{ном.о}}$. Расход коммутационного ресурса за одно отключение тока $I_{\text{кз}} = I_{\text{ном}}$ с учетом выражения (1):

$$R_{\text{ном}} = \frac{1}{N_{\text{ном}}}, \quad (7)$$

Выражение (8) для фактического сработанного ресурса учитывает основные факторы, от которых зависит износ дугогасительной камеры ВВ – ток КЗ, время гашения дуги, а также фактический угол КЗ. В результате увеличивается точность оценки технического состояния ВВ.

ВВ должен быть выведен в ремонт, если при следующем отключении полюсом ВВ тока КЗ расход его коммутационного ресурса может превысить 100 %. Таким образом, условие вывода ВВ в ремонт после K отключений по аналогии с (2) имеет вид:

$$R > \left(1 - \frac{1}{N_{\text{ном.о}}}\right) 100\ \%, \quad (8)$$

где $N_{\text{ном.о}}$ – допустимое количество отключений ВВ при токе $I_{\text{ном.о}}$.

В случае выполнения условия (8) функция МДВВ выводит сигнал предупреждения о критическом значении коммутационного ресурса ВВ.

Основные преимущества данного метода:

1. Диагностика и мониторинг ведутся в автоматическом режиме, без вывода ВВ из работы.
2. Необходимую диагностическую информацию несут только величины, получаемые из осциллограмм терминала МП РЗАУ, то есть нет необходимости в специфических датчиках.
3. Данная методика подходит для различных типов ВВ.
4. Возможность продления срока эксплуатации ВВ по результатам вычислений.

Литература

1. Гловацкий В.Г., Пономарев И.В. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей. – Киев : Энергомашвин, 2003. – 534 с.
2. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ. – М. : Папирус Про, 2005. – Т. 5. – 608 с.
3. Рассальский А.Н. Методы непрерывного контроля и оценки состояния высоковольтного оборудования подстанции / А.Н. Рассальский, С.П. Конограй, А.А. Сахно // МА «ТРАВЭК»: IIV междунар. науч.-техн. конф. «Силовые трансформаторы и системы диагностики», 22–23 июня 2010 г.: докл. – 39. – 2010. – 9 с.
4. Назарычев А.Н., Андреев Д.А., Таджибаев А. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. – М. : Инфра-Инженерия, 2006. – 928 с.
5. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.

References

1. Glovatsky V.G., Ponomarev I.V. Modern means of relay protection and automation of electric networks. – Kiev : Energomashvin, 2003. – 534 p.

2. Makarov E.F. Handbook of electrical networks 0,4–35 kV and 110–1150 kV. – M. : Papyrus Pro, 2005. – Vol. 5. – 608 p.

3. Rassalsky A.N. Methods of continuous monitoring and evaluation of the state of high-voltage equipment of a substation // A.N. Rassalsky, S.P. Konogray, A.A. Sakhno // MA TRAVEC: IIV Int. scientific and technical conf. «Power transformers and diagnostic systems», June 22–23, 2010: dokl. – 39. – 2010. – 9 p.

4. Nazarychev A.N., Andreev D.A., Tadzhibaev A. Reference engineer on the adjustment, improvement of technology and operation of power plants and networks. – M. : Infra-Engineering, 2006. – 928 p.

5. Chunikhin A.A. Electrical apparatus. – M. : Energoatomizdat, 1988. – 720 p.

УДК 621.313.33

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МАССЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ

●●●●●●

METHOD OF CALCULATING THE MASS OF THE SYNCHRONOUS GENERATOR WITH EXCITATION FROM PERMANENT MAGNETS FOR HYBRID ENERGY COMPLEXES AND ITS IMPLEMENTATION

Кашин Яков Михайлович
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой электротехники
и электрических машин,
Кубанского государственного
технологического университета;
профессор кафедры авиационного
радиоэлектронного оборудования,
Краснодарского высшего военного
авиационного училища летчиков
jlms@mail.ru

Kashin Yakov Mikhaylovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Head of the Department
of Electrical Engineering
and Electrical Machines,
Kuban state technology university;
Professor of the Department avionics,
Air Force institute for pilots
jlms@mail.ru

Князев Алексей Сергеевич
кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры
авиационного радиоэлектронного оборудования,
Краснодарское высшее военное
авиационное училище летчиков
knyazev.aleksei.87@gmail.com

Knyazev Aleksey Sergeevich
Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer of the Department avionics,
Air Force institute for pilots
knyazev.aleksei.87@gmail.com

Кашин Александр Яковлевич
Командир корабля
(на самолетах АН-26)
jlms_1@mail.ru

Kashin Aleksandr Yakovlevich
Aircraft commander
(to the Antonov An-26)
jlms_1@mail.ru

Мараховский Евгений Александрович
студент,
Кубанского государственного
технологического университета

Marakhovsky Evgeny Aleksandrovich
Student,
Kuban state technological university

Аннотация. Дана конструкция перспективного ветрогенератора конической конструкции, методика расчета и расчет его массы.

Annotation. The design of a promising conical-type wind generator is given, the calculation procedure and its mass calculation.

Ключевые слова: конический магнитопровод, массогабаритные показатели, ярмо, якорь, индуктор, магниты.

Keywords: conical magnetic circuit, overall dimensions, yoke, anchor, inductor, magnet.

Для гибридных энергетических комплексов, снабжающих электроэнергией локальные объекты, необходимы генераторы, обладающие высокой надежностью и хорошими массогабаритными показателями.

Авторами на протяжении ряда лет ведутся работы по разработке таких генераторов. Для этой цели проанализирован ряд генераторных установок, преобразующих кинетическую энергию ветра в электроэнергию переменного тока и разработан ветрогенератор переменного тока.

Известный аксиальный двухвходовый бесконтактный ветро-солнечный генератор [1] содержит корпус, возбудитель и основной генератор, установленные на одном валу, закрепленном в корпусе в подшипниковых узлах. Возбудитель состоит из индуктора возбудителя и аксиального магнитопровода с обмоткой якоря возбудителя, основной генератор состоит из бокового аксиального магнитопровода с одной активной торцовой поверхностью, в пазы которого уложена обмотка якоря основного генератора, и внутреннего аксиального магнитопровода с двумя активными торцовыми поверхностями, в пазы которого со стороны бокового аксиального магнитопровода уложена обмотка возбуждения основного генератора. Боковой аксиальный магнитопровод с одной активной торцовой поверхностью жестко

установлен в корпусе, а внутренний аксиальный магнитопровод с двумя активными торцовыми поверхностями установлен посредством диска на валу с возможностью вращения относительно бокового аксиального магнитопровода с одной активной торцовой поверхностью. Индуктор возбудителя в известном из [1] генераторе выполнен из постоянного многополюсного магнита и однофазной дополнительной обмотки возбуждения возбудителя, причем постоянный многополюсный магнит индуктора возбудителя выполнен с пазами, многосекционным, неподвижным и жестко установлен в корпусе, а однофазная дополнительная обмотка возбуждения возбудителя уложена в пазы между секциями постоянного многополюсного магнита индуктора возбудителя и подключена к источнику постоянного тока. Внутренний аксиальный магнитопровод с двумя активными торцовыми поверхностями с пазами установлен в корпусе между постоянным многополюсным магнитом индуктора возбудителя с дополнительной обмоткой возбуждения возбудителя и боковым аксиальным магнитопроводом с одной активной торцовой поверхностью с возможностью вращения относительно постоянного многополюсного магнита индуктора возбудителя с дополнительной обмоткой возбуждения возбудителя.

Генерируемое в известном аксиальном двухвходовом ветро-солнечном генераторе за счет преобразования механической энергии вращения напряжение пропорционально скорости вращения ротора относительно неподвижного корпуса:

$$U = C \cdot w_1 \cdot \Phi, \quad (1)$$

где C – конструктивный коэффициент, w_1 – скорость вращения ротора относительно неподвижного корпуса, прямо пропорциональная продольной составляющей скорости ветра; Ф – магнитный поток возбуждения.

Недостатком такого ветрогенератора является нестабильное по величине и частоте генерируемое напряжение.

Другим недостатком такого ветрогенератора является его низкая чувствительность к скорости ветра. При малой продольной составляющей скорости ветра известный аксиальный двухвходовый ветро-солнечный генератор не выходит на свою номинальную мощность, что приводит к уменьшению его КПД.

Более совершенной явялется ветроэлектрическая установка Fortis Alize фирмы «Fortis Wind Energy» (Нидерланды) [2], содержащая обтекатель, синхронный генератор с внутренним неподвижным статором с магнитопроводом якоря и наружным вращающимся ротором с постоянными магнитами, имеющими радиальную форму, лопасти, жестко закрепленные на переднем диске ротора, муфту, несущий вал, опорно-поворотное устройство, трос аварийного останова, демпфер, вал механизма свертывания, балку хвостовика, хвостовой стабилизатор, токосъёмное устройство, опору головки, башню и лебедку ручного свертывания.

Однако, такая ветроэлектрическая установка также имеет низкие массогабаритные показатели из-за большого диаметра лопастей, нестабильное по величине и частоте выходное напряжение, низкую надёжность из-за наличия токосъёмного устройства с подвижными контактами и недостаточной жесткости конструкции, связанной с раздельной сборкой напорной турбины (обтекателя и переднего диска для крепления лопастей) и наружного ротора ветрогенератора.

Кроме того, конструкция ротора известной из [2] ветрогенераторной установки вследствие сравнительно большого диаметра лопастей не обеспечивает минимального лобового сопротивления потоку ветра, а, следовательно, потери кинетической энергии при преобразовании ее в электрическую велики. Вследствие этого чувствительность ветрогенератора к скорости ветра низка, то есть минимальная скорость ветра, необходимая для преобразования его кинетической энергии в механическую энергию вращения ротора с последующим преобразованием в электрическую энергию, должна быть большой. При низкой скорости ветра КПД такого ветрогенератора низок.

Авторам удалось улучшить его массогабаритные показатели, стабилизировать выходное напряжение по величине и частоте, повысить чувствительности ветрогенератора к скорости ветра, повысить его коэффициент полезного действия (КПД) и надежность.

На рисунке 1 представлен общий вид разработанного многофазного ветрогенератора переменного тока [3] в разрезе.

Многофазный ветрогенератор переменного тока содержит: вал 13, внутренний статор и наружный ротор с постоянными магнитами 4 и обтекателем 11, лопасти 2.

Основание внутреннего статора выполнено в форме неподвижной платформы 24, жестко закрепленной на штанге-держателе 25, а боковая поверхность внутреннего статора образована наружной стороной выполненного в форме усеченного конуса магнитопровода 17 якоря с пазами, в которые уложена многофазная обмотка 16 якоря. Магнитопровод 17 якоря одной торцевой стороной жестко закреплен на неподвижной платформе 24, на которой установлен регулятор напряжения 18, а на противоположной торцевой стороне магнитопровода 17 якоря установлен передний подшипник 15, во внутреннем кольце которого установлен диск 14, жестко связанный с валом 13.

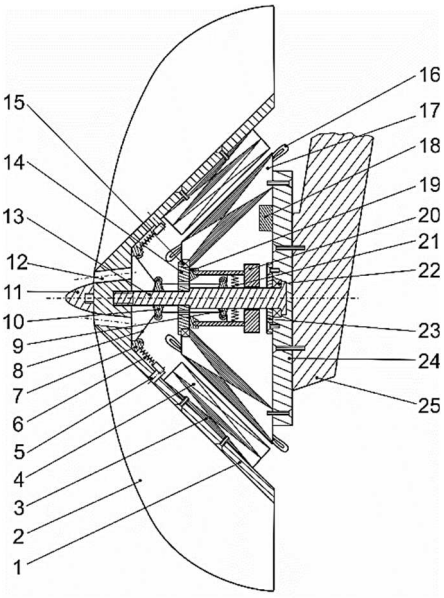


Рисунок 1

Наружный ротор выполнен в форме усеченного конуса, содержит ступицу 1, на внутренней поверхности которой жестко закреплен выполненный в форме усеченного конуса магнитопровод 3 индуктора с постоянными магнитами 4, выполненными в форме сегментов усеченного конуса, и жестко закреплен на валу 13, устанавленном в переднем 15 и заднем 22 подшипниках.

Задний подшипник 22 установлен в центре неподвижной платформы 24 и закреплен от перемещения в осевом направлении упорной шайбой 23.

В передней части ступицы 1 установлен обтекатель 11, вокруг которого в ступице 1 по окружности с центром на оси симметрии наружного ротора выполнены вентиляционные отверстия 12. В боковой части ступицы 1 выполнены отверстия, в которые установлены поворотные оси 5, жестко связанные с лопастями 2, закрепленными на внешней стороне ступицы 1.

На диске 14 со стороны неподвижной платформы 24 жестко установлены кронштейны 19, в которых закреплены центробежные грузы 20, связанные с поворотными осями 5 посредством тросов 8, пропущенных через ролики 7, установленные на внутренней поверхности ступицы 1, и ролики 9 и 10, жестко установленные на валу 13. Между поворотными осями 5 и роликами 7 установлены сжатые пружины 6, а между центробежными грузами 20 и валом 13 установлены растянутые пружины 21.

Поворотные оси 5 соединены с центробежными грузами 20 через тросы 8 таким образом, что при перемещении центробежных грузов 20 от вала 13 к внутренней поверхности магнитопровода 17 якоря лопасти 2 одновременно поворачиваются вместе с осями 5 на некоторый угол.

Многофазный ветрогенератор переменного тока работает следующим образом.

При набегании ветра на обтекатель 11 и лопасти 2, закрепленные на внешней стороне ступицы 1, его кинетическая энергия посредством лопастей 2 преобразуется в механическую энергию вращения: набегающий воздушный поток ветра посредством обтекателя 11 разделяется на два контура, при этом воздушный поток первого воздушного контура воздействует на лопасти 2 и приводит наружный ротор, жестко закрепленный на валу 13, установленном в переднем 15 и заднем 22 подшипниках, во вращение.

Воздушный поток второго воздушного контура, направленный обтекателем 11 через входные вентиляционные отверстия 12 во внутреннюю полость ветрогенератора, охлаждает расположенные во внутренней полости ветрогенератора узлы (передний 15 и задний 22 подшипники, магнитопровод 3 индуктора с постоянными магнитами 4, магнитопровод 17 якоря с многофазной обмоткой 16 якоря).

При вращении наружного ротора с жестко закрепленными на его внутренней поверхности магнитопроводом 3 индуктора с постоянными магнитами 4 магнитный поток постоянных магнитов 4 взаимодействует с многофазной обмоткой 16 якоря, уложенной в пазы магнитопровода 17 якоря, жестко закрепленного одной торцевой стороной на неподвижной платформе 24, которая жестко закреплена на штанге-держателе 25.

В результате этого взаимодействия в многофазной обмотке 16 якоря генератора наводится многофазная система ЭДС, которая через регулятор напряжения 18 подается в сеть.

Упорная шайба 23 удерживает задний подшипник 22 от перемещения в осевом направлении.

Благодаря выполнению магнитопроводов индуктора 3 и якоря 17 в форме усеченного конуса при вращении наружного ротора под действием центробежных сил возникает ускорение движения

воздушного потока через воздушный зазор в окружающую атмосферу, что способствует более эффективному охлаждению генератора.

Частота выходного напряжения определяется частотой вращения наружного ротора с магнитопроводом 3 индуктора с постоянными магнитами 4 относительно внутреннего статора с магнитопроводом 17 якоря с пазами, в которые уложена многофазная обмотка 16 якоря. Автоматическая стабилизация частоты вращения наружного ротора осуществляется следующим образом.

При номинальной частоте вращения наружного ротора предлагаемого многофазного ветрогенератора переменного тока центробежные грузы 20 под действием центробежных сил и сил упругости растянутых пружин 21 удерживаются относительно вала 13 в среднем положении. При этом лопасти 2 под действием сил упругости сжатых пружин 6 и при помощи тросов 8, жестко связанных с центробежными грузами 20, закрепленными на кронштейнах 19, закрепленных на диске 14, также удерживаются в среднем положении. Коэффициент упругости пружин 6 и 21 выбирается таким образом, чтобы центробежные грузы 20 находились в среднем положении при номинальной частоте вращения наружного ротора.

Если частота вращения наружного ротора становится выше номинальной, то центробежные силы, действующие на центробежные грузы 20, увеличиваются. При этом центробежные грузы 20 удаляются от вала 13, прижимаясь к внутренней поверхности магнитопровода 17 якоря, а растянутые пружины 21 растягиваются сильнее. При удалении центробежных грузов 20 от вала 13, тросы 8, протянутые через систему роликов 7, 9 и 10, жестко связанные с центробежными грузами 20 и поворотными осями 5, перемещаются, вследствие чего поворотные оси 5 поворачиваются и сильнее сжимают сжатые пружины 6. При этом лопасти 2, жестко связанные с поворотными осями 5, также поворачиваются, причём разворот лопастей 2 происходит таким образом, что угол атаки лопастей 2 уменьшается, вследствие чего воздушный поток первого воздушного контура оказывает на лопасти 2 меньшее воздействие, давление воздушного потока на лопасти 2 уменьшается, следовательно, частота вращения наружного ротора уменьшается до номинального значения.

Если частота вращения наружного ротора становится ниже номинальной, то центробежные силы, действующие на центробежные грузы 20, уменьшаются. При этом центробежные грузы 20 приближаются к валу 13, удаляясь от внутренней поверхности магнитопровода 17 якоря, а растяжение растянутых пружин 21 уменьшается. При приближении центробежных грузов 20 к валу 13, тросы 8, протянутые через систему роликов 7, 9 и 10, жестко связанные с центробежными грузами 20 и поворотными осями 5, перемещаются, при этом натяжение тросов 8 ослабевает, и сжатые пружины 6 разжимаются, вследствие чего поворотные оси 5 поворачиваются. При этом лопасти 2, жестко связанные с поворотными осями 5, также поворачиваются, причём разворот лопастей 2 происходит таким образом, что угол атаки лопастей 2 увеличивается, вследствие этого воздушный поток первого воздушного контура оказывает на лопасти 2 большее воздействие, давление воздушного потока на лопасти 2 увеличивается, и частота вращения наружного ротора увеличивается до номинального значения.

Для расчёта, представленного выше ветрогенератора и других синхронных генераторов конического конструктивного исполнения для гибридных энергетических комплексов проанализированы методы расчёта генераторов радиального и аксиального конструктивного исполнения [4, 5 и др.]. Все методы и формулы, использованные для расчёта генератора, можно разделить на две группы:

– известные методы и формулы [6–12];

– методы и формулы, разработанные в ходе исследования с учётом изменения формы магнитной системы генератора [13–16].

Для расчёта массы разработанного ветрогенератора при установлении зависимости массы эквивалентных ЭМ с ПМ от угла наклона воздушного зазора к оси вращения ротора выведен ряд формул:

– формула (3) расчёта массы зубцов якоря (выведена при установлении зависимости массы эквивалентных ЭМ с ПМ [17],

– формула (4) расчёта массы ярма якоря;

– формула (5) расчёта массы постоянных магнитов;

– формула (6) расчёта массы ярма индуктора.

Для расчёта синхронного генератора с ПМ для гибридного энергетического комплекса выбраны следующие исходные данные:

1. Номинальная мощность $P_{ном}$, = 15000 В·А;
2. Номинальное фазное напряжение $U_ф$ = 115 В;
3. Число фаз m = 3;
4. Номинальная частота вращения n = 4000 об/мин;
5. Частота f = 400 Гц;
6. Коэффициент мощности при номинальной нагрузке cos(φ) = 0,84;
7. Предварительное значение линейной нагрузки $A_{ПР}$ = 28000 А/м (А по табл. 1);
8. Предварительное значение индукции в зазоре $B_{δпр}$ = 0,8 Тл ($B_δ$ по табл. 1);
9. Относительная ЭДС $E_{отн}$ = (1,05–1,25 – меньшее значение при большей мощности).

   Выберем $E_{отн}$ = 1,10.

Таблица 1 – Значения линейной нагрузки и индукции в воздушном зазоре

Рном, кВ·А	20	30	40	60	80	90	100	Примечание
A, А/м	36000	40000	42000	45000	46000	47000	48000	Без перегрузки
A, А/м	30000	31000	32000	33000	35000	36000	38000	При двукратной перегрузке
Bδ, Тл	0,8	0,82	0,85	0,88	0,9	0,95	1,0	Без перегрузки
Bδ, Тл	0,82	0,85	0,88	0,91	0,95	1,0	1,1	При двукратной перегрузке

10. Коэффициент полюсного перекрытия α_k = (0,8–0,9);
    Выберем α_k = 0,85;
11. Остаточное значение магнитной индукции ПМ B_r = (1,1–1,25), Тл;
    Выберем B_r = 1,15 Тл;
12. Коэрцитивная сила ПМ H_c = (840000–900000), А/м;
    Выберем H_c = 880000;
13. Коэффициент перегрузки по току $k_{кз}$ = (2–3);
    Выберем $k_{кз}$ = 2;
14. Угол наклона воздушного зазора α = 135º.

Разработанная методика и формулы к ней представлены в [13, с. 102], расчет разработанного и изготовленного генератора для ГЭК представлен ниже.

1. Площадь поперечного сечения паза, м²:

$$Q_{П} = (h_{П} - h_{УС}) \cdot b_{П_{УТ}}, \tag{2}$$

$$Q_{П} = (0,00713 - 0,0007) \cdot 0,00554 = 0,00003562.$$

2. Масса зубцов якоря, кг (формула расчёта $m_{Z_{ЯК}}$ выведена автором)

$$m_{Z_{ЯК}} = (\pi \cdot (D_0 + (h_{П} + \delta) \cdot \cos(\alpha)) \cdot h_{П} - Q_{П} \cdot Z) \cdot l_{акт_{УТ}} \cdot k_{ЗС1} \cdot \rho_{СТ}, \tag{3}$$

где $\rho_{СТ}$ =7800 кг/м³ – плотность стали.

$$m_{Z_{ЯК}} = (3,1415 \cdot (0,1687 + (0,00713 + 0,00055) \cdot \cos(135^0)) \cdot 0,00713 - 0,0003562 \cdot 45) \cdot 0,0446 \cdot 0,95 \cdot 7800 = 0,6927.$$

3. Масса ярма якоря, кг (формула расчёта $m_{ЯР_{ЯК}}$ выведена автором)

$$m_{ЯР_{ЯК}} = \pi(D_0 + (2 \cdot h_{П} + h_{ЯР_{ЯК}} + \delta) \cdot \cos(\alpha)) \cdot h_{ЯР_{ЯК}} \cdot l_{акт_{УТ}} \cdot k_{ЗС1} \cdot \rho_{СТ}, \tag{4}$$

$$m_{ЯР_{ЯК}} = 3,1415 \cdot (0,1687 + (2 \cdot 0,00713 + 0,0081 + 0,00055) \cdot \cos(135^0)) \cdot 0,0081 \cdot 0,0446 \cdot 0,95 \cdot 7800 = 1,269.$$

4. Масса магнитов, кг:

$$m_{МАГН} = \pi \rho_{МАГН} l_{МАГН} h_{МАГН} a_p (D_O - (h_{МАГН} + \delta) \cdot cos(\alpha)), \tag{5}$$

где $\rho_{МАГН}$ = 7800 кг/м³ – плотность магнита.

$$m_{МАГН} = 3,14 \cdot 7800 \cdot 0,0486 \cdot 0,0272 \cdot 0,85 (0,1687 - (0,0272 + 0,00055) \cdot cos(135^0)) = 4,735.$$

5. Масса ярма индуктора, кг:

$$m_{ЯР_{ИНД}} = \pi(D_0 + (2 \cdot h_{маг} + h_{ЯР_{ИНД}} + \delta) \cdot \cos(\alpha)) \cdot h_{ЯР_{ИНД}} \cdot l_{маг} \cdot k_{ЗС2} \cdot \rho_{СТ}, \tag{6}$$

$$m_{ЯР_{ИНД}} = 3,1415 \cdot (0,1687 + (2 \cdot 0,0272 + 0,00883 + 0,00055) \cdot \cos(140^0)) \cdot 0,00883 \cdot 0,0486 \cdot 0,95 \cdot 7800 = 1,1756.$$

6. Масса обмотки якоря, кг:

$$m_{обм_{ЯК}} = w_{ф_{УТ}} \cdot m \cdot q_{ЯК_{эл_пров}ут} \cdot l_{B_{СР}} \cdot 8900 \cdot 1,05, \tag{7}$$

$$m_{обм_{ЯК}} = 60 \cdot 3 \cdot 2,37 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1993 \cdot 8900 \cdot 1,05 = 0,7958.$$

7. Масса активных материалов, кг:

$$m_{АКТ_МАТ} = m_{Z_{ЯК}} + m_{ЯР_{ЯК}} + m_{МАГН} + m_{ЯР_{ИНД}} + m_{обм_{ЯК}}, \tag{8}$$

$$m_{АКТ_МАТ} = 0,6637 + 1,2455 + 4,7348 + 1,1756 + 0,7958 = 8,6154$$

8. Конструктивный коэффициент (коэффициент привеса):
$k_М$ = (1,2–1,5) зависит от мощности ЭМ, её типа, конструктивного исполнения, угла наклона воздушного зазора к оси вращения ротора.

Выберем $k_М$ = 1,25.

9. Полная масса машины, кг:

$$m_{ПОЛН} = m_{АКТ_МАТ} \cdot k_М , \quad (9)$$

$$m_{ПОЛН} = 8,6154 \cdot 1,25 = 10,77 .$$

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230009 р_а.

Литература

1. Аксиальный двухвходовый бесконтактный ветро-солнечный генератор / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов // патент на изобретение RUS 2561504, 16.06.2014.

2. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия. – Севастополь : изд. Севастопольский национальный технический университет, 2003. – Кн. 1: Ветроэлектрогенераторы. – 400 с.

3. Многофазный ветрогенератор переменного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев // патент на изобретение RUS 2658316, 07.07.2017.

4. Стабилизированный вентильный аксиально-радиальный ветрогенератор постоянного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Войнов // патент на изобретение RUS 2689211, 22.03.2018.

5. Стабилизированный вентильный аксиально-конический ветрогенератор постоянного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Войнов // патент на изобретение RUS 26889251, 22.03.2018..

6. Балагуров, В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока : учебное пособие. – М. : Высшая школа. – 1982. – 272 с.

7. Балагуров В.А. Электрические генераторы с постоянными магнитами / В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев. – М. : Энергоатомиздат. – 1988. – 280 с.

8. Балагуров В.А. Бесконтактные двигатели постоянного тока с постоянными магнитами / В.А. Балагуров, В.М. Гридин, В.К. Лозенко. – М. : Энергия. – 1975. – 127 с.

9. Ганджа С.А. Оптимальное проектирование электроприводов на базе вентильных электрических машин с аксиальным зазором // журнал Вестник ЮУрГУ. – Челябинск : изд-во ЮУрГУ. – 2009. – № 34. – С. 68–72.

10. Ганджа С.А. Методика инженерного расчёта вентильных электрических машин с аксиальным воздушным потоком / С.А. Ганджа, А.С. Мартьянов // журнал Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ. – 2013. – Вып. № 2. – Т. 13. – С. 85–87.

11. Ганджа С.А. Определение оптимальных габаритных размеров для вентильных машин с аксиальным магнитным потоком (ВМАП) / С.А. Ганджа, А.С. Мартьянов // журнал Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ. – 2013. – Вып. № 2. – Т. 13. – С. 88–90.

12. Копылов И.П. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / И.П. Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клоков – М. : Издательство Юрайт. – 2011. – 4е изд. перераб. и доп. – 767 с.

13. Методика расчета синхронных электрических машин с возбуждением от постоянных магнитов для ветро-солнечных генераторных установок / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. – 2017. – Вып. 1 (196). – С. 95–106. – URL : http://vestnik.adygnet.ru

14. Сквозное проектирование синхронных электрических машин с постоянными магнитами / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Ракло // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. – 2016. – Вып. 3 (186). – С. 114–121. – URL : http://vestnik.adygnet.ru

15. Массогабаритная оптимизация эквивалентных синхронных электрических машин / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. – 2017. – Вып. 1 (196). – С. 129–143. – URL : http://vestnik.adygnet.ru

16. Состояние и перспективы развития авиационных ветроэнергетических комплексов для аварийных систем электроснабжения воздушных судов / Я.М. Кашин, А.С. Князев, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, К.З. Артенян // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – Вып. – 1 (236). – С. 93–102. – URL : http://vestnik.adygnet.ru

17. Кашин Я.М. Эквивалентные электрические машины. Исследование эквивалентных радиальных и аксиальных синхронных генераторов с постоянными магнитами // Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2016. – № 1. – С. 3–12.

References

1. Axial two-way non-contact wind-solar generator / B.Kh. Gaitov, Ya.M. Kashin, A.Ya. Kashin, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov // Patent for invention RUS 2561504, 16.06.2014.

2. Krivtsov V.S., Oleynikov A.M., Yakovlev A.I. Inexhaustible Energy. – Sevastopol : prod. Sevastopol National Technical University, 2003. – Book 1: Wind Power Generators. – 400 p.

3. Multiphase ac wind generator / Ya.M. Kashin, A.Ya. Kashin, A.S. Knyasev // Patent for invention RUS 2658316, 07.07.2017.

4. Stabilized DC axial-radial direct-current valve wind generator / Ya.M. Kashin, A.Ya. Kashin, A.S. Knyasev // Patent for invention RUS 2689211, 22.03.2018.

5. Stabilized DC axial-conical direct-current valve wind generator / Ya.M. Kashin, A.Ya. Kashin, A.S. Knyasev // Patent for invention RUS 2688925, 22.03.2018.

6. Balagurov V.A. Design of special AC electric machines : tutorial. – M. : Higher school. – 1982 – 272 p.

7. Balagurov V.A. Electric generators with permanent magnets / V.A. Balagurov, F.F. Galteev. – M. : Energoatomizdat. – 1988. – 280 p.

8. Balagurov V.A. Contactless DC motors with permanent magnets / V.A. Balagurov, V.M. Gridin, V.K. Lozenko. – M. : Energy. – 1975. – 127 p.

9. Ganja S.A. Optimal design of electric drives based on valve electric machines with axial clearance // Journal of YuUrSU. – Chelyabinsk : Ed. YuurSU. – 2009. – № 34. – P. 68–72.

10. Ganja S.A. Method of engineering calculation of valve electric machines with axial airflow / S.A. Ganja, A.S. Martianov // Journal of the UURSU. Series: Energy. – Chelyabinsk : Publishing Center of YuUrSU. – 2013. – Issue № 2. – Vol. 13. – P. 85–87.

11. Ganja S.A. Determination of optimal overall dimensions for Axial Magnetic Flux Valve Machines (VMAP) / S.A. Ganja, A.S. Martianov // Journal UURSU. Series: Energy. – Chelyabinsk : Publishing Center of YuUrSU. – 2013. – Issue № 2. – Vol. 13. – P. 88–90.

12. Kopylov I.P. Design of electric machines: textbook for universities / I.P. Kopylov, F.A. Goryinov, B.K. Klokov – M. : Yurait Publishing House. – 2011. – 4th ed. reslave. and additional. – 767 p.

13. Method of calculating synchronous electric machines with excitation from permanent magnets for wind-solar generator sets / Ya.M. Kashin, A.Ya. Kashin, A.S. Knyazev, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. – 2017. – Iss. 1 (196). – P. 95–106. – URL : http://vestnik.adygnet.ru

14. Through designing synchronous electric machines with permanent magnets / Ya.M. Kashin, A.Ya. Kashin, A.S. Knyazev, A.V. Raklo // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. – 2016. – Iss. 3 (186). – P. 114–121. – URL: http://vestnik.adygnet.ru

15. Mass-dimensional optimization of equivalent synchronous electric machines / Ya.M. Kashin, A.Ya. Kashin, A.S. Knyazev, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. – 2017. – Iss. 1 (196). – P. 129–143. – URL : http://vestnik.adygnet.ru

16. The state and prospects of development of aviation wind power systems for emergency power supply systems of aircraft / Ya.M. Kashin, A.S. Knyazev, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov, K.Z. Artinian // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. – 2016. – Iss. 1 (236). – P. 93–102. – URL : http://vestnik.adygnet.ru

17. Kashin Ya.M., Kashin A.Ya., Knyazev A.S. Equivalent electrical machines. Study of equivalent radial and axial synchronous generator with permanent magnets // Lead institutions of higher education of Thernosemee. – 2016. – № 1. – P. 3–12.

УДК: 621.3

ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМОТРОН

●●●●●●

ELECTRIC ARC PLASMA DEVICE

Пикалов Владимир Владимирович
ассистент кафедры электропривода,
Липецкий государственный
технический университет
wreditels@mail.ru

Мещеряков Виктор Николаевич
доктор технических наук, профессор,
Заведующий кафедрой электропривода,
Липецкий государственный
технический университет
mesherek@stu.lipetsk.ru

Бойков Андрей Игоревич
ассистент кафедры электропривода,
Липецкий государственный
технический университет
aboikov2013@gmail.com

Евсеев Алексей Михайлович
ассистент кафедры электропривода,
Липецкий государственный
технический университет
alexevs94@gmail.com

Pikalov Vladimir Vladimirovich
Assistant of the department of electric drive,
Lipetsk state technical university
wreditels@mail.ru

Meshcheryakov Victor Nikolaevich
Doctor of Sciences, Professor,
Head of department of electric drive,
Lipetsk state technical university
mesherek@stu.lipetsk.ru

Boikov Andrei Igorevich
Assistant of the department of electric drive,
Lipetsk state technical university
aboikov2013@gmail.com

Evseev Alexey Mikhaylovich
Assistant of the department of electric drive,
Lipetsk state technical university
alexevs94@gmail.com

Аннотация. Данная статья посвящена обзору современных электродуговых плазматронов и разработке конструктивно новой, с более широкими регулировочными способностями, электродуговой плазменной установки.

Ключевые слова: электродуговая установка, электрическая дуга, электрическая плазма, электродуговой плазматрон, электрический генератор плазмы.

Annotation. This scientific article is devoted to the review of modern electric arc plasmatrons and the development of a structurally new electric arc plasma installation with wider adjustment capabilities.

Keywords: electrical complex, electric arc, plasma torch, arc ignition unit, plasma generator.

С развитием и достижениями плазменных технологий, промышленность диктует новые требования к современным плазмотронам. Основными проблемами являются сложность предлагаемых конструкций электрических плазменных установок на рынке, и недостаточная возможность регулирования производительности.

Известен электродуговой нагреватель газа постоянного тока, содержащий разрядную камеру, катодный узел и выполненный в виде, по меньшей мере, двух одинаковых плазмотронов, каждый из которых снабжен торцевым и выходным вспомогательным электродами, катодный узел выполнен в виде, по меньшей мере, двух одинаковых плазмотронов, каждый из которых снабжен торцевым и выходным вспомогательными электродами заданного диаметра [1].

Недостатком данного устройства является сложность регулирования производительности плазмотрона.

Также известен плазмотрон, содержащий анодный и катодный блоки, расположенные соосно вдоль оси плазмотрона, разделенные изолятором, в котором имеется узел подачи рабочего плазмообразующего газа в электро-газоразрядную камеру, при этом в анодном и катодном блоках имеются входное и выходное отверстия и полости для прохождения охлаждающего агента, кроме того в анодном блоке имеется радиальное отверстие для ввода порошкового материала. В анодном и катодном блоках дополнительно имеются отверстия, в которых закреплены штуцеры, при этом дополнительные отверстия расположены с диаметрально противоположной стороны относительно входного анодного и катодного отверстий, при этом дополнительные штуцеры соединены дугообразным электроизоляционным трубопроводом для прохождения охлаждающего агента из анодного в катодный блок, концы которого закреплены на анодном выходном и катодном входном штуцерах [2].

Недостатком данного устройства является сложность конструкции и сложность регулирования производительности плазмотрона.

Основной задачей является упрощение конструкции электродугового плазмотрона и расширение диапазона регулирования количеством и выходной мощностью вырабатываемой плазмы.

Решение поставленной задачи достигается тем, что электродуговой плазмотрон, содержащий трубчатый корпус, выполненный из непроводящего ток тугоплавкого материала, внутренняя полость которого образует продольную щелевую камеру, в трубчатом корпусе перпендикулярно оси щелевой камеры выполнены два расположенных друг против друга отверстия, в одном из которых установлен анодный электрод, а в другом установлен катодный электрод, электроды подключены к силовому блоку питания их постоянным током, а также высоковольтному блоку зажигания дуги, узел подачи рабочего плазмообразующего газа в щелевую камеру, каналы для прохождения охлаждающего агента, один торцевой конец трубчатого корпуса соединен с узлом подачи рабочего плазмообразующего газа, соосно с трубчатым корпусом установлен трубчатый магнитопровод, внутренний диаметр которого больше наружного диаметра трубчатого корпуса, в полости трубчатого магнитопровода между его внутренней поверхностью и внешней поверхностью трубчатого корпуса расположены два полюса с обмотками, подключенными к другому источнику регулируемого напряжения постоянного тока, причем ось полюсов расположена перпендикулярно по отношению к оси положения электродов, трубопровод для прохождения охлаждающего электроды агента выполнен в виде каналов в стенке трубчатого корпуса.

На рисунке 1 приведены продольный и поперечный разрезы плазмотрона.

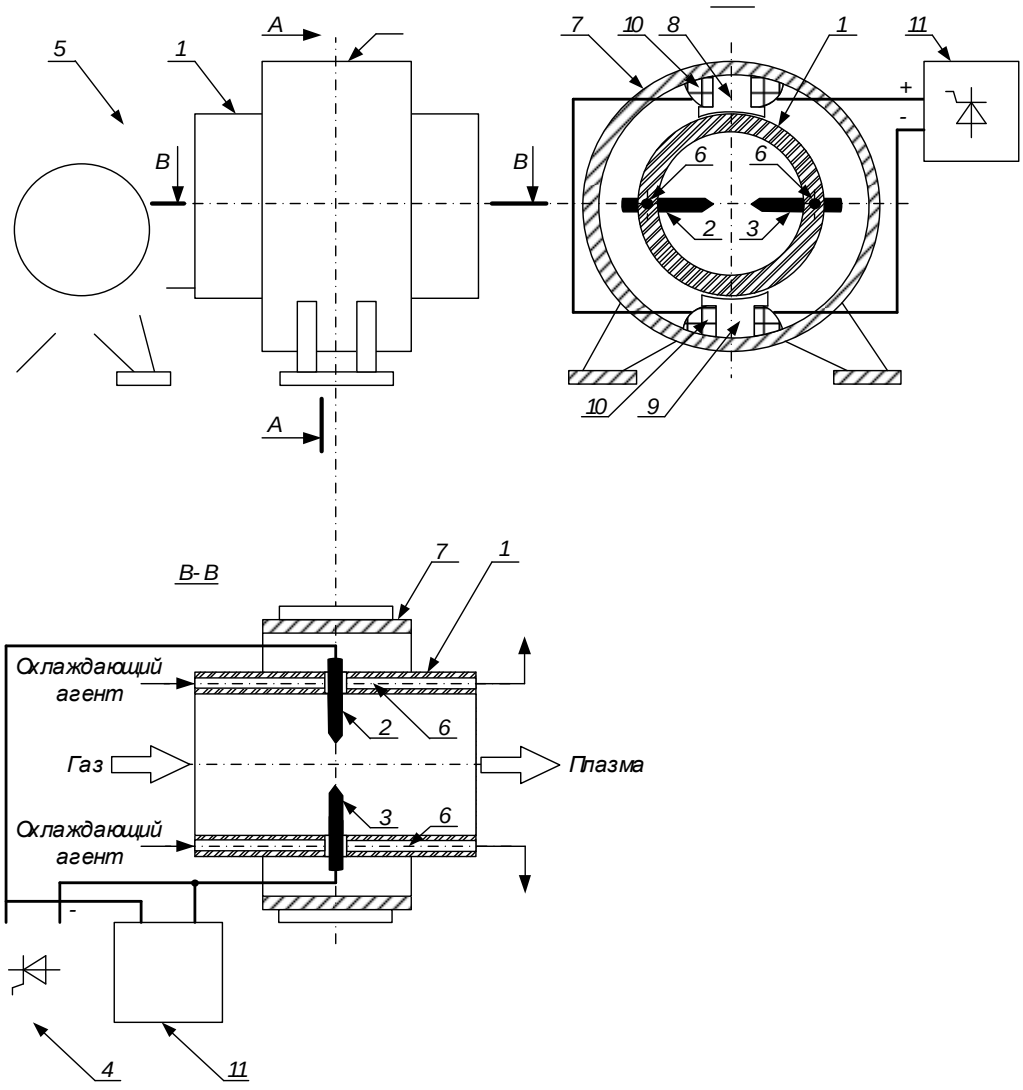


Рисунок 1 – Устройство электродуговой плазменной установки

Устройство содержит трубчатый корпус 1, выполненный из непроводящего ток тугоплавкого материала, имеющего в стенке сквозные расположенные соосно перпендикулярно оси корпуса отверстия, в которых находятся анодный электрод 2 и катодный электрод 3, подключенные к выходам блока

питания 4 с регулируемым по уровню и постоянным по знаку напряжением. Один торцевой конец трубчатого корпуса соединен с узлом подачи рабочего плазмообразующего газа 5. В стенке трубчатого корпуса выполнены каналы для прохождения охлаждающего агента 6. Соосно с трубчатым корпусом установлен трубчатый магнитопровод 7, внутренние размеры полости которого больше наружных размеров трубчатого корпуса 1.

В полости трубчатого магнитопровода между его внутренней поверхностью и внешней поверхностью корпуса соосно расположены два полюса 8 и 9 с обмотками 10, выводы которых подключены к источнику регулируемого напряжения постоянного тока 11, причем ось полюсов 8 и 9 расположена перпендикулярно по отношению к оси положения электродов 2 и 3. К выводам анодного электрода 2 и катодного электрода 3 также подключены выводы высоковольтного блока зажигания дуги 12.

Устройство работает следующим образом. К аноду 2 и катоду 3 от блока питания 4 подводится напряжение и инициируется электродуговой разряд и зажигается дуга. В полость трубчатого корпуса 1 к его торцевому входу от узла подачи 5 подается плазмообразующий газ под давлением, который проходит через дугу, и ионизируется с образованием плазмы, которая выходит из второго торцевого вывода трубчатого корпуса. Под действием движущегося плазмообразующего газа дуга растягивается. Для предотвращения ее разрыва подключают обмотку возбуждения 10, установленную на полюсах 8 и 9, к выходам источнику регулируемого напряжения постоянного тока 11, ток возбуждения протекает по обмотке 10 и создает электромагнитное поле, возникает электромагнитная сила, действующая на дугу, в направлении, противоположном направлению движения плазмообразующего газа, и стабилизирующая положение дуги.

При увеличении скорости движения и расхода плазмообразующего газа увеличивают напряжение на выходе источника 11, соответственно, увеличивают ток возбуждения в обмотке 10, вследствие чего увеличивается величина электромагнитного потока, создаваемого полюсами 8 и 9. В результате возрастает электромагнитная сила, действующая на дугу в зоне ее горения в направлении, противоположном направлению движения плазмообразующего газа, стабилизирующая положению дуги и препятствующая ее разрыву. Увеличение расхода плазмообразующего газа позволяет увеличить количество вырабатываемой плазмы. При необходимости увеличения мощности, выделяемой в дуге, увеличивают напряжение, подводимое от блока питания 4 к выводам анода 2 и катода 3, при этом возрастает ток, протекающий через дугу, возрастает температура и результирующая мощность выработанной плазмы.

Электродуговой плазматрон характеризуется простотой конструкции, обеспечивает регулирование скорости движения и расхода плазмы на выходе трубчатого корпуса.

Статья написана при поддержке гранта РФФИ 19-48-480001. «Разработка, исследование и оптимизация энергосберегающих электротехнических и электроприводных автоматизированных комплексов для плазменных, электрометаллошлаковых и индукционных технологий и агрегатов».

Литература

1. А.с. СССР № 599732. Электродуговой нагреватель газа постоянного тока / М.Ф. Жуков, А.Я. Лыткин, Г.Н. Худяков, А.С. Аньшаков. – Опубл. 07.09.1982. – Бюл. № 33.
2. Патент РФ № 2465748. Электродуговой плазмотрон / С.Г. Мчедалов. – Опубл 27.10.2012. – Бюл. № 30.

References

1. A.s. USSR № 599732. Electric arc heater of DC gas / M.F. Zhukov, A.Ya. Lytkin, G.N. Khudyakov, A.S. Anshakov. – Publ. 07.09.1982. – Bull. № 33.
2. RF patent № 2465748. Electric arc plasma torch / S.G. Mchedlov. – Publ. 27.10.2012. – Bull. № 30.

УДК 621.31, 62-83, 621.313.33

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБЛИЖЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМУМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

●●●●●●

APPLICATION OF APPROXIMATE MINIMUM DETERMINATION FOR SOLUTION OF PROBLEM OF OPTIMIZATION OF SPECIAL ELECTRIC DRIVES

Попова Ольга Борисовна
кандидат технических наук, доцент,
Кубанский государственный
технологический университет
popova_ob@mail.ru

Афанасьев Виктор Леонидович
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
buguvix@mail.ru

Карандей Юрий Юрьевич
ПАО «РОССЕТИ»

Аннотация. В статье рассмотрены задачи применения приближенного определения минимума. Исследование этих задач при помощи геометрического программирования показывает, какие преимущества дает использование двойственной программы для решения задачи оптимизации. Это свойство используется для решения задачи оптимизации специальных электрических приводов.

Ключевые слова: специальный электрический привод, управляемый асинхронный каскадный электропривод, методы оптимизации, геометрическое программирование, электромеханическое преобразование энергии, электромагнитная система.

Popova Olga Borisovna
Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Kuban state technological university
popova_ob@mail.ru

Afanasiev Viktor Leonidovich
Graduate student,
Kuban state technological university
buguvix@mail.ru

Karandey Yury Yuryevich
PJSC ROSSETI

Annotation. The article discusses the tasks of applying the approximate definition of the minimum. Research these problems using geometric programming shows the benefits of using a dual program to solve the optimization problem. This property is used to solve the problem of optimization of special electric drives.

Keywords: special electric drive, controlled asynchronous cascade electric drive, optimization methods, geometric programming, electromechanical transformation of energy, electromagnetic system.

Большое количество времени и ресурсов тратится на решение задач создания новых типов устройств и механизмов. Ускорить решение данного класса задач позволит разработка новых подходов к системе структурирования [1] и поиска данных [2, 3], использование новых подходов к оптимизации конструкций [4, 5] и процессов [6, 7]. Совместное применение таких подходов дает возможность довольно точно определять как статические [8, 9], так и динамические [10, 11] параметры системы. Такое решение даст возможность исследовать электромагнитные и конструктивных характеристики [12, 13] специальных электрических приводов. Рассмотрим задачи применения приближенного определения минимума.

При рассмотрении задачи 1 условия ортогональности и нормализации приводят к четырем линейным уравнениям с четырьмя неизвестными и единственным решением. Таким образом, минимальная суммарная величина определяется сразу. Задача становится более сложной, если число линейных уравнений меньше, чем число неизвестных. Такой случай имеет место в следующем примере.

Задача 2. Эта задача такая же, как и задача 1, за исключением того, что условия требуют, чтобы $t_3 = 1$. Мы видим, что теперь суммарная величина равна:

$$g = \frac{40}{t_1 t_2} + 40t_2 + 20t_1 + 10t_1 t_2 . \quad (1)$$

Двойственная функция опять совпадает и условия ортогональности совпадают с (1), но уравнение для D_3 отсутствует. Теперь задача заключается в максимизации двойственной функции, подчиненной ограничениям, налагаемым тремя линейными уравнениями, которые определяются условиями ортогональности и нормализации.

Приближенное решение задачи 2 можно получить. Во-первых, заметим, что из того, что веса удовлетворяют условиям ортогональности и нормализации задачи 1, следует, что они удовлетворяют также менее ограничительным условиям задачи 2. С другой стороны, двойственные функции для задачи 1 и задачи 2 совпадают. Следовательно, минимальная искомая величина не может быть меньше определенного значения.

Чтобы получить верхнюю границу искомой величины, подставим в прямую функцию g пробные значения переменных. Положим t_1 = I и t_2 = 1. Тогда следует, что минимальная величина не может превосходить другого близкого значения. Теперь мы имеем верхнюю и нижнюю оценки минимальной стоимости. Если мы примем M равным среднему, то ошибка не может превосходить 5 %.

Исследование этих двух задач при помощи геометрического программирования показывает, какие преимущества дает использование двойственной программы. Действительно, задача 1 при этом решается сразу. Задача 2 оказалась более трудной, но приближенное решение было получено довольно просто. Такое решение позволяет использовать его для решения задачи оптимизации специальных электрических приводов [14]. Проверка точности полученного решения может быть проверена с помощью системы контрольных примеров [15, 16].

Литература

1. Popova O.B. Theoretical propositions and practical implementation of the formalization of structured knowledge of the subject area for exploratory research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, Yu.D. Shevtsov, V.I. Klyuchko. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 722, 432–437 pp., 2018. Doi: 10.1007/978-3-319-73888-8_67.
2. Popova O.B. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, D.A. Romanov, S.A. Kobzeva & M.A. Evseeva (2015) // Mediterranean journal of social sciences, Vol 6, № 6 S5, pp. 212–217.
3. Popova O.B. Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in science research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, M.A. Evseeva // British Journal of Applied Science & Technology. – 2016. – Vol. 17. – T. 2. – P. 9–19. – Doi: 10.9734/BJAST/2016/26353.
4. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода аксиальной конструкции / В.Ю. Карандей, В.Н. Кишко, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 10 (134). – С. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.
5. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода цилиндрической конструкции / В.Ю. Карандей, В.В. Квочкин, В.Л. Афанасьев, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 09 (133). – С. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.
6. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimum modeling and design of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // Advances in Engineering Research conference proceedings. – 2018. – Vol. 157. – P. 242–247. – Doi: 10.2991/aime-18.2018.47.
7. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052002, 2018. Doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052002.
8. Карандей В.Ю. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 08 (132). – С. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.
9. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of efficiency of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69–74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.
10. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052003, 2018. Doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052003.
11. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, T. 5, 052009, 2018. Doi: 10.1088/1755-1315/194/5/052009.
12. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.
13. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.
14. Афанасьев В.Л. Управляемый каскадный электрический привод / В.Л. Афанасьев, В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // патент на полезную модель RU 191959 U1, 28.08.2019, заявка № 2019111630 от 16.04.2019.
15. Попов Б.К. Программа для расчета магнитной системы ротора методом магнитных цепей / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614047, зарегистрировано 30.06.2008 г.
16. Попов Б.К. Программа расчета токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614048, зарегистрировано 30.06.2008 г.

References

1. Popova O.B. Theoretical propositions and practical implementation of the formalization of structured knowledge of the subject area for exploratory research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, Yu.D. Shevtsov, V.I. Klyuchko. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 722, 432–437 pp., 2018. Doi: 10.1007/978-3-319-73888-8_67.

2. Popova O.B. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, D.A. Romanov, S.A. Kobzeva & M.A. Evseeva (2015) // Mediterranean Journal of Social Sciences, Vol 6, № 6 S5, pp. 212–217.

3. Popova O.B. Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in scientific research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, M.A. Evseeva // British Journal of Applied Science & Technology. – 2016. – Vol. 17. – T. 2. – P. 9–19. – Doi: 10.9734/BJAST/2016/26353.

4. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model for the controlled asynchronous cascade electric drive component of the axial design / V.Yu. Karandey, V.N. Kishko, V.L. Afanasiev, V.V. Kvochkin // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. – 2017. – № 10 (134). – P. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.

5. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model of the controlled asynchronous cascade electric drive component of the cylindrical design / V.Yu. Kvochkin, V.L. Afanas'ev, V.N. Kishko // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. – 2017. – № 09 (133). – C. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.

6. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimum modeling and design of special elec-tric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // Advances in Engineering Research conference proceedings. – 2018. – Vol. 157. – P. 242–247. – Doi: 10.2991/aime-18.2018.47.

7. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052002, 2018. Doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052002.

8. Karandey V.Yu. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / V.Yu. Karandey, V.L. Afanas'ev // Polythematic network electronic scientific journal of Kuban state agrarian university. – 2017. – № 08 (132). – P. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.

9. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69-74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.

10. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052003, 2018. Doi: 10.1088/1757-899X/327/5/052003.

11. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, T. 5, 052009, 2018. Doi: 10.1088/1755-1315/194/5/052009.

12. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.

13. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.

14. Afanasiev V.L. Controlled cascade electric drive / V.L. Afanasiev, V.Yu. Karandey, B.K. Popov // Patent for useful model RU 191959 U1, 28.08.2019, application № 2019111630 of 16.04.2019.

15. Popov B.K. Program for the calculation of the rotor magnetic system by the magnetic circuit method / B.K. Popov, V.Yu. Karandey // Program registration certificate for computer RU № 2008614047, registered 30.06.2008.

16. Popov B.K. Program for the stator and rotor current calculation in a cascade electric drive / B.K. Popov, V.Yu. Karandey // Program registration certificate for Computer RU № 2008614048, registered 30.06.2008.

УДК 621.31, 62-83, 621.313.33

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ НЕРАВЕНСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

●●●●●●

APPLICATION OF GEOMETRIC INEQUALITIES TO SOLVE PROBLEM OF OPTIMIZATION OF SPECIAL ELECTRIC DRIVES

Попов Борис Клавдиевич
кандидат технических наук, доцент,
Кубанский государственный
технологический университет
pbk47@mail.ru

Popov Boris Klavdievich
Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Kuban state technological university
pbk47@mail.ru

Афанасьев Виктор Леонидович
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
buguvix@mail.ru

Afanasiev Viktor Leonidovich
Graduate student,
Kuban state technological university
buguvix@mail.ru

Шаго Ярослав Юрьевич
магистрант,
Кубанский государственный
технологический университет

Shago Yaroslav Yuryevich
Master 's degree,
Kuban state technological university

Геккиев Мурат Магаметович
магистрант,
Кубанский государственный
технологический университет

Gekkiyev Murat Magametovich
Master 's degree,
Kuban state technological university

Кондратенко Сергей Евгеньевич
магистрант,
Кубанский государственный
технологический университет

Kondratenko Sergey Evgenyevich
Master 's degree,
Kuban state technological university

Губский Максим Игоревич
магистрант,
Кубанский государственный
технологический университет

Gubsky Maxim Igorevich
Master 's degree,
Kuban state technological university

Аннотация. В статье показано применение геометрических неравенств при решении задачи оптимизации специальных электрических приводов. Геометрические неравенства для решения задачи оптимизации используются для нахождения оценок снизу для позиномов. Это свойство позволяет решать оптимизационные задачи для специальных электрических приводов.

Ключевые слова: специальный электрический привод, управляемый асинхронный каскадный электропривод, методы оптимизации, геометрические неравенства, электромеханическое преобразование энергии, электромагнитная система.

Annotation. The article shows the application of geometric inequalities in solving the problem of optimization of special electric drives. Geometric inequalities to solve the optimization problem are used to find the estimates from below for positional. This property allows to solve optimization problems for special electric drives.

Keywords: special electric drive, controlled asynchronous cascade electric drive, optimization methods, geometric inequalities, electromechanical transformation of energy, electromagnetic system.

Предлагается применение геометрических неравенств для решения задачи оптимизации [1, 2] специальных электрических приводов [3, 4]. Использование совместного решений задач оптимизации, систем поиска новых знаний [5] и критериев поиска [6,7] позволяет более эффективно решать задачи определения параметров электрического привода [8], мощности и момента на валу привода [9, 10] и других электромагнитных [11, 12] для различных конструкцией исследуемых объектов [13, 14].

Рассмотрим задачу оптимизации с применением геометрических неравенств.

Геометрическое неравенство может быть использовано для нахождения оценок снизу для позиномов. Например, рассмотрим функцию $g(t) = 4t + 1/t$. Применение неравенства дает:

$$g(t) \geq (8t)^{1/2}\left(\frac{2}{t}\right)^{1/2} = 4 .$$

Таким образом, 4 является оценкой g(t) снизу при положительных t. Заметим, однако, что g(1/2) = 4, так что 4 в действительности является точной нижней гранью для g(t).

В качестве второго примера рассмотрим функцию $g(t) = 2t^3 + 6/t$. Применение неравенства для взвешенных средних дает:

$$g(t) \geq \left(\frac{2t^3}{1/4}\right)^{1/4}\left(\frac{6}{3t/4}\right)^{3/4} = 8 .$$

Таким образом, 8 является оценкой g(t) снизу для положительных t. Однако g(1) = 8, так что 8 фактически есть точная нижняя грань g(t). Теперь рассмотрим позином:

$$g(\bar{t}) = 4t_1 + \frac{t_1}{t_2^2} + \frac{4t^2}{t_1}$$

с двумя переменными t_1 и t_2. Чтобы найти оценку снизу для g(t), используем следующее геометрическое неравенство:

$$\frac{1}{4}U_1 + \frac{1}{4}U_2 + \frac{2}{4}U_3 \geq U_1^{1/4}U_2^{1/4}U_3^{2/4} .$$

Тогда:

$$g(\bar{t}) \geq \left(\frac{4t_1}{1/4}\right)^{1/4}\left(\frac{t_1}{t_2^2/4}\right)^{1/4}\left(\frac{4t_2}{2t_1/4}\right)^{2/4} = 8 .$$

Таким образом, 8 является оценкой снизу для g(t) при положительных t_1 и t_2. Более того, 8 является точной нижней гранью для g(t), так как g(1/2, 1/2) = 8.

Применение изложенных методов и разработанных программных продуктов [15, 16] позволяет правильно решать задачи оптимизации специальных электрических приводов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям, договор № 14695ГУ/201.

Литература

1. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimum modeling and design of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // Advances in Engineering Research conference proceedings. Vol. 157, 242-247 pp., 2018. doi:10.2991/aime-18.2018.47.

2. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052002, 2018. doi:10.1088/1757-899X/327/5/052002.

3. Афанасьев В.Л. Управляемый каскадный электрический привод / В.Л. Афанасьев, В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // патент на полезную модель RU 191959 U1, 28.08.2019, заявка № 2019111630 от 16.04.2019.

4. Карандей В.Ю. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 08 (132). – С. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.

5. Popova O.B. Theoretical propositions and practical implementation of the formalization of structured knowledge of the subject area for exploratory research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, Yu.D. Shevtsov, V.I. Klyuchko // Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 722, 432–437 pp., 2018. Doi: 10.1007/978-3-319-73888-8_67.

6. Popova O.B. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, D.A. Romanov, S.A. Kobzeva & M.A. Evseeva (2015) // Mediterranean journal of social sciences, Vol 6, № 6 S5, pp. 212–217.

7. Popova O.B. Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in science research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, M.A. Evseeva // British Journal of Applied Science & Technology. Vol. 17, T.2, 9–19 pp., 2016. Doi: 10.9734/BJAST/2016/26353.

8. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of efficiency of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69–74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.

9. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052003, 2018. doi:10.1088/1757-899X/327/5/052003.

10. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, T.5, 052009, 2018. doi:10.1088/1755-1315/194/5/052009.

11. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.

12. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.

13. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода аксиальной конструкции / В.Ю. Карандей, В.Н. Кишко, В.Л. Афанасьев, В.В. Квочкин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 10 (134). – С. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.

14. Карандей В.Ю. Определение магнитных параметров модели статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода цилиндрической конструкции / В.Ю. Карандей, В.В. Квочкин, В.Л. Афанасьев, В.Н. Кишко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 09 (133). – С. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.

15. Попов Б.К. Программа для расчета магнитной системы ротора методом магнитных цепей / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614047, зарегистрировано 30.06.2008.

16. Попов Б.К. Программа расчета токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / Б.К. Попов, В.Ю. Карандей // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2008614048, зарегистрировано 30.06.2008.

References

1. Karandey V.Yu. Research of electrical power processes for optimal modeling and design of special elec-tric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // Advances in Engineering Research conference proceedings. Vol. 157, 242–247 pp., 2018. doi:10.2991/aime-18.2018.47.

2. Karandey V.Yu. Optimization of parameters of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052002, 2018. doi:10.1088/1757-899X/327/5/052002.

3. Afanasiev V.L. Controlled cascade electric drive / V.L. Afanasiev, V.Yu. Karandey, B.K. Popov // Patent for useful model RU 191959 U1, 28.08.2019, application No. 2019111630 of 16.04.2019.

4. Karandey V.Yu. Mathematical modeling of special electric drives for the equipment of oil and gas branch / V.Yu. Karandey, V.L. Afanas'ev // Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University. – 2017. – № 08 (132). – P. 926–940. – Doi: 10.21515/1990-4665-132-072.

5. Popova O.B. Theoretical propositions and practical implementation of the formalization of structured knowledge of the subject area for exploratory research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, Yu.D. Shevtsov, V.I. Klyuchko // Advances in Intelligent Systems and Computing. V.I. Klyuchko // Advances in Intelligent Systems and Computing. 722, 432–437 pp., 2018. Doi: 10.1007/978-3-319-73888-8_67.

6. Popova O.B. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, D.A. Romanov, S.A. Kobzeva & M.A. Evseeva (2015) // Mediterranean Journal of Social Sciences, Vol 6, № 6 S5, pp. 212–217.

7. Popova O.B. Analysis of forecasting methods as a tool for information structuring in scientific research / O.B. Popova, B.K. Popov, V.Yu. Karandei, M.A. Evseeva // British Journal of Applied Science & Technology. Vol. 17, T.2, 9–19 pp., 2016. Doi: 10.9734/BJAST/2016/26353.

8. Karandey V.Yu. Research of electromagnetic parameters for improvement of special electric drives and components / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies 2019, 69–74 pp., 2016. Doi: 10.1109/PGSRET.2019.8882689.

9. Karandey V.Yu. Determination of power and moment on shaft of special asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 327, 052003, 2018. doi:10.1088/1757-899X/327/5/052003.

10. Karandey V.Yu. Research and analysis of force and moment of the cascade asynchronous electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova, V.L. Afanasyev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic edition. Saint-Petersburg Mining University. Vol. 194, T.5, 052009, 2018. doi:10.1088/1755-1315/194/5/052009.

11. Karandey V.Yu. Research dynamics of change of electromagnetic parameters of controlled special electric drives / V.Yu. Karandey, O.B. Popova, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon-2019) 2019. p. 8934751. Doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934751.

12. Karandey V.Yu. Research of change of parameters of a magnetic flux of the stator and rotor of special electric drives / V.Yu. Karandey, B.K. Popov, V.L. Afanasyev // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) 2018. p. 8602911. Doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602911.

13. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model of the controlled asynchronous cascade electric drive component of the axial design / V.Yu. Karandey, V.N. Kishko, V.L. Afanasiev, V.V. Kvochkin // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban state agrarian university. – 2017. – № 10 (134). – C. 1135–1151. – Doi: 10.21515/1990-4665-134-092.

14. Karandey V.Yu. Determination of the magnetic parameters of the stator model of the controlled asynchronous cascade electric drive component of the cylindrical design / V.Yu. Kvochkin, V.L. Afanas'ev, V.N. Kishko // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. – 2017. – № 09 (133). – C. 1231–1248. – Doi: 10.21515/1990-4665-133-105.

15. Popov B.K. Program for the rotor magnetic system calculation by a method of the magnetic circuits / B.K. Popov, V.Yu. Karandey // Registration certificate for computer RU № 2008614047, registered 30.06.2008.

16. Popov B.K. Program for the stator and rotor current calculation in a cascade electric drive / B.K. Popov, V.Yu. Karandey // Program registration certificate for Computer RU № 2008614048, registered 30.06.2008.

УДК 621.313

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

●●●●●●

THE USE OF VERTICAL AND HORIZONTAL AXIS WIND GENERATORS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Попов Сергей Анатольевич
кандидат технических наук, доцент,
Кубанский государственный
технологический университет
sa_popov@inbox.ru

Popov Sergey Anatolevich
Ph.D. in Engineering,
Associate Professor,
Kuban state technological university
sa_popov@inbox.ru

Ивашкин Илья Ильич
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
warmuru@mail.ru

Ivashkin Ilya Ilich
Graduate student,
Kuban state technological university
warmuru@mail.ru

Елфимов Михаил Александрович
аспирант,
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
elfimovma@mail.ru

Elfimov Mikhail Alexandrovich
Graduate student,
Kuban state technological university
elfimovma@mail.ru

Асташов Максим Александрович
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
i.am.jlaku@gmail.com

Astashov Maksim Aleksandrovich
Graduate student,
Kuban state technological university
i.am.jlaku@gmail.com

Попова Светлана Валентиновна
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
s.sv23@mail.ru

Popova Svetlana Valentinovna
Graduate student,
Kuban state technological university
s.sv23@mail.ru

Восоров Георгий Юрьевич
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
g.vosorov2013@yandex.ru

Vosorov Georgy Yurievich
Student,
Kuban state technological university
g.vosorov2013@yandex.ru

Аннотация. В данной статье приведен сравнительный анализ использования ветрогенераторов с вертикальной и горизонтальной осью. Предложены варианты использования ветрогенераторов различной конструкции в нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, ветрогенератор, эффективность, нефтегазовая промышленность, КПД.

Annotation. This article provides a comparative analysis of the use of wind generators with a vertical and horizontal axis. Variants of using wind generators of various designs in the oil and gas industry are proposed.

Keywords: alternative energy, wind generator, efficiency, oil and gas industry, efficiency.

В настоящее время внимание к возобновляемым источникам энергии значительно возросло. Это связано с экологическим состоянием окружающей среды, истощением запасов ископаемого топлива, растущим спросом на энергию, что является глобальной мировой проблемой [1,2]. Среди всего множества возобновляемых энергетических ресурсов ветер оказывается одним из наиболее перспективных альтернативных источников энергии, поэтому прикладываются значительные усилия на улучшение технологии ее получения. Ветроэнергетика является самым быстрорастущим энергетическим ресурсом, который целесообразно использовать во всех отраслях промышленности, в том

числе и в нефтегазовой, так как очень много обслуживается объектов, расположенных в труднодоступных местах. При этом, Россия обладает огромным потенциалом ветро-солнечной энергии.

Ветрогенератор с вертикальной осью (ВГсВО) был первой ветряной турбиной, которая использовалась для преобразования механической энергии ветра в электрическую. Позже была разработана другая конструкция ветрогенератора, в которой ось расположена горизонтально (ВГсГО). Инженеры-разработчики предположили, что такая конструкция более пригодна для крупномасштабного производства электроэнергии. Такой вид ветротурбин оставался основным направлением развития ветроэнергетики за последние несколько десятилетий. Однако исследовательская работа по модернизации и изучению конструкций ВГсВО продолжалась параллельно, имея меньший масштаб по сравнению с работой над ВГсГО.

Основным достоинством ВГсГО является то, что они способны получать полную энергию потока ветра, приходящуюся на площадь лопастей. Таким образом, они однозначно обладают большей эффективностью, чем ВГсВО. В свою очередь ВГсВО не нуждаются в наведении, способны принимать ветер с любого направления, когда ВГсГО нуждаются в постоянной и быстрой корректировке. Также вертикальная ось дает возможность устанавливать генератор в различных местах и на любой высоте. Поскольку воздушные потоки над поверхностью земли нестабильны, география установки ВГсГО ограничена и их обычно устанавливают в местах, где преобладает ветер определенного направления.

Основным недостатком ВГсВО является низкий пусковой момент силы подъема лопастей и сложность при монтаже на различных строениях. За последние несколько десятилетий ученые и инженеры разработали различные конфигурации ВГсВО, определили оптимальные условия для их работы и попытались устранить приведенные недостатки.

Обе конструкции обладают своими достоинствами и недостатками, оценить которые возможно только при использовании устройства в конкретной месте, при заданных параметрах, с учетом используемых генераторов [4-9]. Принято считать, что горизонтальная конструкция ветрогенератора является более эффективной, но при определенных условиях конструкция Савониуса или Дарье может выдавать большую мощность.

С развитием ветроэнергетики и появлением большого количества новых конструкций ВГсВО, которые позволили устранить основные недостатки вертикальной оси, соотношение КПД горизонтальных и вертикальных устройств практически выровнялись. ВГсГО в основном используются в промышленном производстве энергии в региональных масштабах, а ВГсВО используются для производства энергии в небольших количества в труднодоступных местах.

Выводы

Ветрогенератор с вертикальной осью предлагает экономически выгодное энергетическое решение для удаленных районов от интегрированных энергосистем. Такая конструкция даёт возможность использовать энергию ветра в качестве источника электроэнергии при добычи нефти и газа на нефтедобывающих платформах и действующих скважинах.

Литература

1. Попов С.А., Марченко С.И., Голова В.В., Шевелев С.С. Электромашинный ветро-солнечный преобразователь : Технические и технологические системы // Материалы десятой международной научной конференции «ТТС-17» (22–24 ноября 2017 года); ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017 г., с. 78–82.

2. Попов С.А., Асташов М.А., Нечесов В.Е., Вершняк А.В. Обоснование применения гибридных ветро-солнечных энергоустановок на основе электромеханических преобразователей // Современные электротехнические и информационные комплексы и системы. – Армавир : АМТИ, 2019. – С. 76–79.

3. Черкасский П.А., Попова С.В., Асташов М.А. Повышение эффективности работы распределительной сети путём применения альтернативных подходов // Современные электротехнические и информационные комплексы и системы. – Армавир : АМТИ, 2019. – С. 115–117.

4. Патент № 171597 (РФ) Электромашинный ветро-солнечный преобразователь / С.А. Попов. – Опубл. 07.06.2017 г. – Бюл. № 16.

5. Патент № 2629017 (РФ) Гибридная аксиальная электрическая машина-генератор / С.А. Попов, М.С. Попов. – Опубл. 24.08.2017 г. – Бюл. № 24.

6. Патент № 2633376 (РФ) Гибридный аксиальный ветро-солнечный генератор / С.А. Попов, М.С. Попов. – Опубл. 12.10.2017 г. – Бюл. № 29.

7. Патент № 2633377 (РФ) Гибридная электрическая машина – генератор / С.А. Попов, М.С. Попов, А.И. Михед. – Опубл. 12.10.2017 г. – Бюл. № 29.

8. Патент № 2639714 (РФ) Ветро-солнечный генератор со сдвоенным ротором / С.А. Попов. – Опубл. 22.12.2017 г. – Бюл. № 36.

9. Патент № 2643522 Гибридный ветро-солнечный генератор / С.А. Попов, М.С. Попов. – Опубл. 02.02.2018 г. – Бюл. № 4.

References

1. Popov S.A., Marchenko S.I., Golova V.V., Shevelev S.S. Electric machine wind-solar converter-user: Technical and technological systems // Materials of the tenth international scientific conference «TTS-17» (November 22–24, 2017); FSBOU VPO «KubGTU», A.K. Serov KVWAUL. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017, p. 78–82.

2. Popov S.A., Astashov M.A., Nechesov V.E., Vershnyak A.V. Justification of the hybrid wind-solar power installations based on the electromechanical converters // Modern electrotechnical and information complexes and systems. – Armavir : AMTI, 2019. – P. 76–79.

3. Cherkasskiy P.A., Popova S.V., Astashov M.A. Distribution network operation efficiency increase by means of the alternative approaches application // Modern electrotechnical and information complexes and systems. – Armavir : AMTI, 2019. – P. 115–117.

4. Patent № 171597 (RF) Electric machine wind-solar converter / S.A. Popov. – Opublik. 07.06.2017. – Bulletin № 16.

5. Patent № 2629017 (RF) Hybrid axial electric machine generator / S.A. Popov, M.S. Popov. – Publication. 24.08.2017. – Bulletin № 24.

6. Patent № 2633376 (RF) Hybrid axial wind-solar generator / S.A. Popov, M.S. Popov. – Ob. 12.10.2017. – Bulletin № 29.

7. Patent № 2633377 (RF) Hybrid electric machine – generator / S.A. Popov, M.S. Popov, A.I. Mikhed. – Opublik. 12.10.2017. – Bulletin № 29.

8. Patent № 2639714 (RF) Wind-solar generator with a double rotor / S.A. Popov. – Publication № 22.12.2017. – Bulletin № 36.

9. Patent № 2643522 Hybrid wind-solar generator / S.A. Popov, M.S. Popov. – Publication. 02.02.2018. – Bulletin № 4.

УДК 62.621

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

●●●●●●

ANALYSIS OF DESIGNS OF WIND GENERATORS AND PROSPECTS FOR THEIR APPLICATION AT OIL AND GAS INDUSTRIES

Попов Сергей Анатольевич
доцент кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанского государственного
технологического университета
sa_popov@inbox.ru

Елфимов Михаил Александрович
аспирант,
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанского государственного
технологического университета
elfimovma@mail.ru

Ивашкин Илья Ильич
аспирант,
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
warmuru@mail.ru

Асташов Максим Александрович
аспирант,
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
i.am.jlaku@gmail.com

Попова Светлана Валентиновна
аспирант,
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
s.sv23@mail.ru

Popov Sergey Anatolyevich
Assistant Professor
of electrical engineering
and electrical machines,
Kuban state technological university
sa_popov@inbox.ru

Elfimov Mikhail Alexandrovich
Graduate student,
chairs of electrical engineering
and electrical machines,
Kuban state technological university
elfimovma@mail.ru

Ivashkin Ilya Ilyich
Graduate student,
Kuban state technological university
warmuru@mail.ru

Astashov Maxim Alexandrovich
Graduate student,
Department of Electrical Engineering
and Electric Machines,
Kuban state technological university
i.am.jlaku@gmail.com

Popova Svetlana Valentinovna
Graduate student,
Department of Electrical Engineering
and Electric Machines,
Kuban state technological university
s.sv23@mail.ru

Аннотация. В данной статье произведен анализ различных конструкций, ветрогенераторов, приведены их достоинства и недостатки, а также рассмотрены перспективы их применения на предприятиях нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветротурбина, электроснабжение.

Annotation. This article analyzes various designs, wind generators, their advantages and disadvantages, and also discusses the prospects for their use in enterprises of the oil and gas industry.

Keywords: wind power, wind turbine, power supply.

Современные проблемы электроэнергетики побуждают к расширению сектора альтернативных источников питания [1, 2, 3]. Наиболее интересной является энергия ветра, получившая широкое распространение и наибольшие темпы роста в странах Европы. Для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую энергию с необходимыми параметрами используют ветрогенераторы.

Ветрогенераторы – это устройства, основными элементами которого являются ветротурбина и электрический генератор [4]. Принцип действия схож с ветряными мельницами, где лопасти захватывают потоки ветра, раскручивая вал и приводя в движение механизм. Первая известная ветротурбина, используемая для производства электроэнергии, построена в Шотландии в 1887 г., профессором Джеймсом Блайтом из колледжа Андерсона в Глазго [5]. Данная ветротурбина имела горизонтально-осевую конструкцию и использовалась для зарядки аккумуляторов, для питания освещения в коттедже. Даная конструкция ветротурбины имеет ряд преимуществ: возможность контролировать угол атаки лопасти, а с применением автоматики делать это удаленно, что дает возможность контролировать выходные параметры ветрогенератора; применение опыта в конструировании пропеллеров воздушных судов, позволяет решить задачу надежности конструкции. Главным недостатком данной конструкции является работа в номинальном режиме только при потоке ветра в одном направлении, поэтому необходимо применение систем дополнительной ориентации по ветру. В 1929 г. финским инженером Сигурдом Савониусом изобретен вертикально-осевой ротор Савониуса. Конструкция состояла из вала и симметрично закрепленных на нем двух лопастей в форме полуцилиндра. Работа ротора построена на разности сопротивлений, которая создается при обтекании воздушным потоком крыльев ротора. Преимущества данной ветротурбины стало независимость работы от направления ветра, что решило проблему с его ориентацией, и простота конструкции, что увеличивает её надежность, а также большой начальный крутящий момент. Недостатком данной конструкции является малая эффективность (всего 15 % энергии), данные установки нашли применение в малой энергетике частного сектора. В 1931 г. французский авиационный инженер Жорж Жан Мари Дарье запатентовал конструкцию ветродвигателя с вертикальной осью, называемую ветротурбиной Дарье, лопасти данной конструкции имеют форму изогнутой арки. Среди достоинств данной конструкции можно отметить: независимость работы от направления ветра, простота конструкции, т.е. ось ветрогенератора совпадает с осью опорной мачты, что вместе с симметрией расположения лопастей позволяет установить центр масс всей конструкции на единой оси. Недостатком же такой конструкции является высокая скорость ветра, при которой начинается движение ветротурбины. Чаще всего используют в паре с ротором Савониуса, у которого большой крутящий момент, для обеспечения высокого пускового момента.

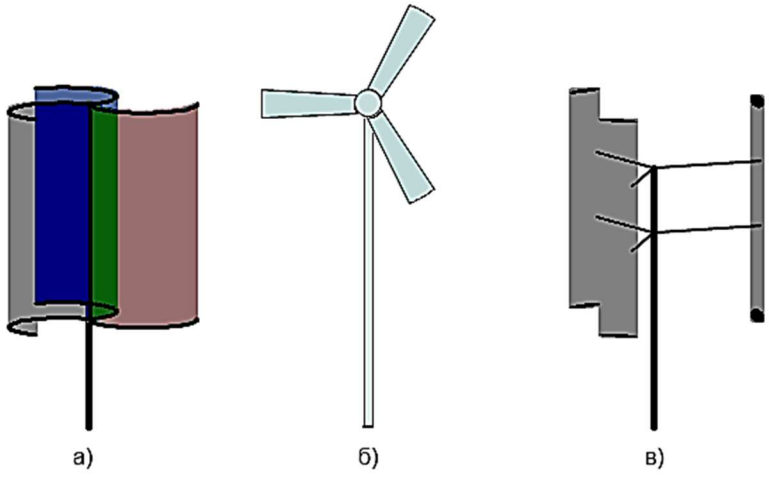


Рисунок 1 – Основные конструкции ветротурбин:
а – ротор Савониуса; б – Горизонтально-осевой ротор; в – Н-ротор Дарье

Перспектива использования ветрогенератора на промышленных объектах заключается в использовании его как независимого источника в совокупности с установкой аккумуляторных батарей, отдельно стоящего, либо закрепленного на сооружении молниеотвода.

Использование ветрогенераторов для зарядки аккумуляторных батарей требует соблюдение следующих условий: регулирования частоты вращения ветроколеса, с помощью поворота лопастей либо выводом из-под ветра; передачи мощности ветроколеса непосредственно на вал генератора; защита аккумуляторных батарей от перезаряда и глубокого разряда [6]. Наилучшим решением в данной ситуации будет применение горизонтально-осевой ветротурбины с возможностью контроля скорости вращения ветроколеса, посредством регулирования угла атаки лопастей и угла поворота опоры. На предприятиях нефтегазовой отрасли в процессе производства используются и образуются взрывоопасные вещества, которые образуют взрывоопасную зону и должны быть защищены в соответствии с РД 34.21.122-87 и СО 153-34.21.122-2003. Для защиты от прямых ударов молний наружных установок, создающих согласно ПУЭ взрывоопасные зоны В1-г, молниезащита должна быть выполнена отдельно стоящими или установленными на защищаемом объекте стержневыми молниеотводам рассчитанными

в соответствии с РД 34.21.122-87. Высшей и наиболее опасной для попадания молнии точкой ветрогенератора, является его лопасть находящееся в момент удара молнии в верхнем положении. Согласно [7], молниезащита лопастей генератора предусматривается путем установки молниеприемника или молниеприемной сетки расположенных на поверхности лопасти, токоотводы же могут быть предусмотрены как по поверхности, так и внутри самой лопасти. Система токоотвода предусматривается по вертикальным токоотводам, располагающимся внутри мачты. Общий принцип молниезащиты ветрогенератора можно сравнить с отдельно стоящим молниеотводом.

Таким образом, применение ветрогенераторов с горизонтально-осевой ветротурбиной на предприятиях нефтегазового комплекса позволит решить сразу две проблемы: необходимость независимого источника для потребителей 1-ой особой категории электроприемников и молниезащиту взрывоопасных зон В1-г.

Литература

1. Попов С.А., Марченко С.И., Голова В.В., Шевелев С.С. Электромашинный ветро-солнечный преобразователь : Технические и технологические системы // Материалы десятой международной научной конференции «ТТС-17» (22–24 ноября 2017 года); ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – С. 78–82.

2. Попов С.А., Асташов М.А., Нечесов В.Е., Вершняк А.В. Обоснование применения гибридных ветро-солнечных энергоустановок на основе электромеханических преобразователей // Современные электротехнические и информационные комплексы и системы. – Армавир : АМТИ, 2019. – С. 76–79.

3. Черкасский П.А., Попова С.В., Асташов М.А. Повышение эффективности работы распределительной сети путём применения альтернативных подходов // Современные электротехнические и информационные комплексы и системы. – Армавир : АМТИ, 2019. – С. 115–117.

4. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Термины и определения : ГОСТ Р 51237-98.

5. History of Wind Turbines By Zachary Shahan : многопредмет. науч. сайт. – URL : https://www.renewableenergyworld.com/2014/11/21/history-of-wind-turbines/#gref

6. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Классификация : ГОСТ Р 51990-2002.

7. Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 24: Молниезащита : ГОСТ Р 54418.24-2013.

References

1. Popov S.A., Marchenko S.I., Golova V.V., Shevelev S.S. Electric machine wind-solar converter-user : Technical and technological systems // Materials of the tenth international scientific conference «TTS-17» (November 22–24, 2017); FSBOU VPO «KubGTU», A.K. Serov KVWAUL. – Krasnodar : Publishing house – South, 2017. – P. 78–82.

2. Popov S.A., Astashov M.A., Nechesov V.E., Vershnyak A.V. Justification of the hybrid wind-solar power installations based on the electromechanical converters // Modern electrotechnical and information complexes and systems. – Armavir : AMTI, 2019. – P. 76–79.

3. Cherkasskiy P.A., Popova S.V., Astashov M.A. Distribution network operation efficiency increase by means of the alternative approaches application // Modern electrotechnical and information complexes and systems. – Armavir : AMTI, 2019. – P. 115–117.

4. Non-conventional power engineering. Wind power engineering. Terms and definitions : GOST R 51237-98.

5. History of Wind Turbines By Zachary Shahan : Multi-disciplinary scientific site. – URL : https://www.renewableenergyworld.com/2014/11/21/history-of-wind-turbines/#gref

6. Unconventional energy. Wind power. Wind power plants. Classification : GOST R 51990-2002.

7. Renewable power engineering. Wind energetics. Installations of wind energetic. Petroleum products – Wind turbines – Part 24: Wind turbines. Lightning protection : GOST R 54418.24-2013.

УДК 621.313

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА НА СЛУЖБЕ У НЕФТЯННИКОВ

●●●●●●

ALTERNATIVE ENERGY IN THE SERVICE OF THE OIL INDUSTRY

Попов Сергей Анатольевич
кандидат технических наук, доцент,
Кубанский государственный
технологический университет
sa_popov@inbox.ru

Асташов Максим Александрович
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
i.am.jlaku@gmail.com

Попова Светлана Валентиновна
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
s.sv23@mail.ru

Ивашкин Илья Ильич
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
warmuru@mail.ru

Елфимов Михаил Александрович
аспирант,
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
elfimovma@mail.ru

Черкасский Павел Андреевич
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
i.am.jlaku@gmail.com

Popov Sergey Anatolevich
Ph.D. in Engineering,
Associate Professor,
Kuban state technological university
sa_popov@inbox.ru

Astashov Maksim Aleksandrovich
Graduate student,
Kuban state technological university
i.am.jlaku@gmail.com

Popova Svetlana Valentinovna
Graduate student,
Kuban state technological university
s.sv23@mail.ru

Ivashkin Ilya Ilich
Graduate student,
Kuban state technological university
warmuru@mail.ru

Elfimov Mikhail Alexandrovich
Graduate student,
chairs of electrical engineering
and electrical machines,
Kuban state technological university
elfimovma@mail.ru

Cherkassky Pavel Andreevich
Post-graduate student,
Kuban state technological university
i.am.jlaku@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена повышению эффективности добычи тяжелой нефти посредством применения гибридных систем энергообеспечения месторождений на основе возобновляемых и не традиционных источников энергии.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, тяжелая нефть, битумная нефть, экология, возобновляемые источники энергии, не традиционные источники энергии, энергетика, энергетический кризис.

Annotation. The article is devoted to improving the efficiency of heavy oil production through the use of hybrid energy supply systems for fields based on renewable and non-traditional energy sources.

Keywords: alternative energy, heavy oil, bituminous oil, ecology, renewable energy sources, non-traditional energy sources, energy, energy crisis.

Нефть относится к не возобновляемым источникам энергии. Потребление энергии (в том числе нефти) и соответственно спрос на нее постоянно растет. Это связано как с увеличением численности населения (к 2030 году – 9 млрд человек), так и с повышением уровня жизни, а это неизменно сопровождается повышением потребления энергии.

Поскольку основные «сливки» в мировой нефтедобыче уже сняты, нефтяные компании просто вынуждены переключаться на менее привлекательные месторождения тяжелой /высоковязкой/битумной нефти. Именно в ней сосредоточены основные мировые запасы углеводородов. Вслед за Канадой, поставившей на свой баланс запасы тяжелой/битумной нефти, то же самое сделала и Венесуэла, имеющая огромные ее запасы в поясе реки Ориноко. Этот «маневр» вывел Венесуэлу на первое место в

мире по запасам нефти. Значительные запасы битумной нефти есть и в России, а также во многих других нефтедобывающих странах.

Огромные запасы тяжелой нефти и природных битумов требуют разработки инновационных технологий добычи, транспорта и переработки сырья. В настоящее время операционные затраты по добыче тяжелой нефти и природных битумов могут в 3–4 раза превосходить затраты на добычу легкой нефти. Результаты разработки месторождений высоковязкой нефти в России пока не внушают особого оптимизма. Требуется дальнейшее совершенствование технологий и оборудования для повышения эффективности добычи. В то же время потенциал к снижению себестоимости добычи тяжелой нефти есть, и многие компании готовы принимать в ее добыче активное участие. Добыча и переработка тяжелой высоковязкой нефти энергоемка и, как следствие, во многих случаях низкорентабельна и даже убыточна.

Альтернативная энергетика может решить эту задачу. Начало по развитию альтернативных источников энергии уже положено. По оценкам экспертов возобновляемые источники энергии уже к 2035 году будут обеспечивать планету энергией на уровне 45-ти процентов. Альтернативные источники энергии – это не миф, они экологически чище и безопаснее по сравнению с традиционными источниками энергии – нефтью и газом, могут автономно использоваться в труднодоступных местах и при различных климатических условиях.

Широкое распространение получают гибридные системы энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии (солнце, ветер, вода и др.) [1–3]. Разработанные учеными Кубанского государственного технологического университета под руководством к.т.н. Попова С.А. гибридные ветро-солнечные генераторы, позволяют вырабатывать электроэнергию, так необходимую для добычи и переработки тяжелой битумной нефти, при низком уровне ветра, нулевом солнце, в различных климатических условиях и в любых труднодоступных местах [4–9]. Особенность данной установки заключается в том, что электроэнергия может вырабатываться с высокой эффективностью при малой активности альтернативных источников энергии, а самое главное – суммировать энергию всех задействованных источников. Энергетические системы с использованием гибридных ветро-солнечных генераторов могут работать абсолютно автономно в арктических условиях, в пустыне, в горах, на болотистой местности, на любом удалении от традиционных электрических сетей, что делает их удобными, более эффективными и необходимыми при энергообеспечении добычи и переработки тяжелой нефти.

Внедрение гибридных автономных энергетических систем на основе альтернативных (возобновляемых) и не традиционных источников энергии позволит снизить затраты на добычу и производство тяжелой нефти, а также расширит спектр возможностей по внедрению новых технологий и оборудования.

Литература

1. Попов С.А., Марченко С.И., Голова В.В., Шевелев С.С. Электромашинный ветро-солнечный преобразователь : Технические и технологические системы // Материалы десятой международной научной конференции «ТТС-17» (22–24 ноября 2017 года); ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – С. 78–82.

2. Попов С.А., Асташов М.А., Нечесов В.Е., Вершняк А.В. Обоснование применения гибридных ветро-солнечных энергоустановок на основе электромеханических преобразователей // Современные электротехнические и информационные комплексы и системы. – Армавир : АМТИ, 2019. – С. 76–79.

3. Черкасский П.А., Попова С.В., Асташов М.А. Повышение эффективности работы распределительной сети путём применения альтернативных подходов // Современные электротехнические и информационные комплексы и системы. – Армавир : АМТИ, 2019. – С. 115–117.

4. Патент № 171597 (РФ) Электромашинный ветро-солнечный преобразователь / С.А. Попов. – Опубл. 07.06.2017 г. – Бюл. № 16.

5. Патент № 2629017 (РФ) Гибридная аксиальная электрическая машина-генератор / С.А. Попов, М.С. Попов. – Опубл. 24.08.2017 г. – Бюл. № 24.

6. Патент № 2633376 (РФ) Гибридный аксиальный ветро-солнечный генератор / С.А. Попов, М.С. Попов. – Опубл. 12.10.2017 г. – Бюл. № 29.

7. Патент №2633377 (РФ) Гибридная электрическая машина – генератор / С.А. Попов, М.С. Попов, А.И. Михед. – Опубл. 12.10.2017 г. – Бюл. № 29.

8. Патент № 2639714 (РФ) Ветро – солнечный генератор со сдвоенным ротором / С.А. Попов. – Опубл. 22.12.2017 г. – Бюл. № 36.

9. Патент № 2643522 Гибридный ветро-солнечный генератор / С.А. Попов, М.С. Попов. – Опубл. 02.02.2018 г. – Бюл. № 4.

References

1. Popov S.A., Marchenko S.I., Golova V.V., Shevelev S.S. Electric machine wind-solar converter-user : Technical and technological systems // Materials of the tenth international scientific conference «TTS-17» (November 22–24, 2017); FSBOU VPO «KubGTU», A.K. Serov KVWAUL. – Krasnodar : Publishing house – South, 2017. – P. 78–82.

2. Popov S.A., Astashov M.A., Nechesov V.E., Vershnyak A.V. Justification of the hybrid wind-solar power installations based on the electromechanical converters // Modern electrotechnical and information complexes and systems. – Armavir : AMTI, 2019. – P. 76–79.

3. Cherkasskiy P.A., Popova S.V., Astashov M.A. Distribution network operation efficiency increase by means of the alternative approaches application // Modern electrotechnical and information complexes and systems. – Armavir : AMTI, 2019. – P. 115–117.

4. Patent № 171597 (RF) Electric machine wind-solar converter / S.A. Popov. – Publication 07.06.2017. – Bulletin № 16.

5. Patent № 2629017 (RF) Hybrid axial electric machine generator / S.A. Popov, M.S. Popov. – Publication 24.08.2017. – Bulletin № 24.

6. Patent № 2633376 (RF) Hybrid axial wind-solar generator / S.A. Popov, M.S. Popov. – Publication 12.10.2017. – Bulletin № 29.

7. Patent № 2633377 (RF) Hybrid electric machine-generator / S.A. Popov, M.S. Popov, A.I. Mikhed. – Publication 12.10.2017. – Bulletin № 29.

8. Patent № 2639714 (RF) Wind - solar generator with a double rotor / S.A. Popov. – Publication 22.12.2017. – Bulletin № 36.

9. Patent № 2643522 Hybrid wind-solar generator / S.A. Popov, M.S. Popov. – Publication 02.02.2018. – Bulletin № 4.

УДК 621.313

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНО-ИНТЕГРИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДОМКРАТА ДЛЯ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

●●●●●●

DEVELOPMENT OF A STRUCTURALLY INTEGRATED ELECTRIC DRIVE JACKS FOR CARGO OPERATIONS AT OIL AND GAS ENTERPRISES

Попов Сергей Анатольевич
кандидат технических наук, доцент,
Кубанский государственный
технологический университет
sa_popov@inbox.ru

Асташов Максим Александрович
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
i.am.jlaku@gmail.com

Попова Светлана Валентиновна
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
s.sv23@mail.ru

Ивашкин Илья Ильич
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
warmuru@mail.ru

Кривченков Владимир Игоревич
аспирант,
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
vldmrkr5@ya.ru

Черкасский Павел Андреевич
аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
i.am.jlaku@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена разработке конструктивно-интегрированного электропривода домкрата для грузовых операций на предприятиях нефтегазового комплекса. Разработанная конструкция подъемника, отличается повышенной грузоподъемностью, достигаемой за счет дополнительного увеличения крутящего момента передаваемого на гайку конструктивно-интегрированного электропривода домкрата за счет встроенной двухступенчатой передачи, понижающей частоту вращения, но одновременно увеличивающей вращающий момент, передаваемый от ротора к гайке. Данная конструкция позволит осуществлять плавный подъем и опускание груза при его повышенной грузоподъемности и точной фиксации исполнительного органа электропривода, что дает возможность применять его для работы в сложных климатических условиях.

Popov Sergey Anatolevich
Ph.D. in Engineering,
Associate Professor,
Kuban state technological university
sa_popov@inbox.ru

Astashov Maksim Aleksandrovich
Graduate student,
Kuban state technological university
i.am.jlaku@gmail.com

Popova Svetlana Valentinovna
Graduate student,
Kuban state technological university
s.sv23@mail.ru

Ivashkin Ilya Ilich
Graduate student,
Kuban state technological university
warmuru@mail.ru

Krivchenkov Vladimir Igorevich
Graduate student,
Department of electrical Engineering
and electrical machines,
Kuban state technological university
vldmrkr5@ya.ru

Cherkassky Pavel Andreevich
Graduate student,
Kuban state technological university
i.am.jlaku@gmail.com

Annotation. The article is devoted to the development of a structurally integrated electric Jack drive for cargo operations at oil and gas enterprises. Designed lift design provides increased capacity, achieved by an additional increase in the torque transmitted to the nut structurally integrated electric Jack for the integrated two-stage transmission, which decreases the speed but increases the torque transmitted from the rotor to the nut. This design allows for smooth lifting and lowering of the load with its increased load capacity and precise fixation of the electric drive's Executive body, which makes it possible to use it for work in difficult climatic conditions.

Ключевые слова: нефтегазовый комплекс, винтовой подъемник, домкрат, электропривод, конструктивно – интегрированный, грузоподъемность, аксиальный асинхронный электродвигатель, двухступенчатая передача, КПД.

Keywords: oil and gas complex, screw lift, Jack, electric drive, structurally integrated, load capacity, axial asynchronous electric motor, two-stage transmission, efficiency.

Подъемно-транспортные установки, в частности домкраты, применяемые для грузовых операций на предприятиях нефтегазового комплекса. К основным мероприятиям по повышению эффективности подъемно-транспортных установок относится совершенствование как энергетической части (применение новых конструкций приводных электродвигателей с улучшенными энергетическими, стоимостными и массогабаритными характеристиками), так и механической части путем применения новых типов передач [1].

Применяемые гидравлические домкраты имеют ряд преимуществ, таких как высокий КПД и большая грузоподъемность. Однако имеется ряд существенных недостатков, а именно: отсутствие возможности работы при низких, сверхнизких температурах и точного регулирования высоты опускания груза, постоянный контроль уровня масла, герметичности сальников и клапанов, транспортировка и хранение данного оборудования должна происходить исключительно в вертикальном положении, во избежание вытекания гидравлической жидкости из резервуара. Кроме того, один цикл работы насоса соответствует относительно малой высоте подъема, в связи с чем гидравлические домкраты являются относительно малооперативным оборудованием.

В основе предлагаемой разработки принята конструкция винтового домкрата с передачей винт – гайка. Преимуществами данной конструкции являются: ее простота; высокая прочность при ударных нагрузках; возможность самоторможения и высокая кинематическая точность. Разработанная конструкция, представленная на рисунок 1, 2 позволяет повысить функциональные возможности домкрата, увеличить его грузоподъемность и расширить сферу применения [2].

Конструктивно-интегрированный электропривод (КИЭ) домкрата содержит аксиальный асинхронный двигатель (ААД), сборный корпус, состоящий из нижнего несущего щита 1 и верхнего несущего щита 2 на боковой поверхности которого расположено отверстие 3 для щёткодержателя 4, закрепленных неподвижно между собой и образующих кольцевую полость 5 электродвигателя посредством болтового соединения 6. Электродвигатель выполнен в виде асинхронного одностаторного одноротороного аксиального электродвигателя, магнитопровод статора 7 с обмоткой возбуждения 8 жестко закреплен с внутренней торцевой стороны нижнего несущего щита 1, а магнитопровод ротора 9 с фазной обмоткой 10 образует с основанием 11 ротора кольцевой диск. При этом концы фаз обмотки магнитопровода ротора 9 выведены на контактные кольца 12 с расположенными на них щетками 13 находящихся в щёткодержателе 4 закрепленного на боковой стороне верхнего несущего щита 2 болтовым соединением 14. Основание 11 ротора сопряжено с гайкой 15 посредством шлицевого соединения 16. Уступ 17 выполнен в нижней части гайки 15, при этом внешний диаметр уступа 17 имеет увеличенное значение по отношению к внешнему диаметру шлицевого соединения 16.

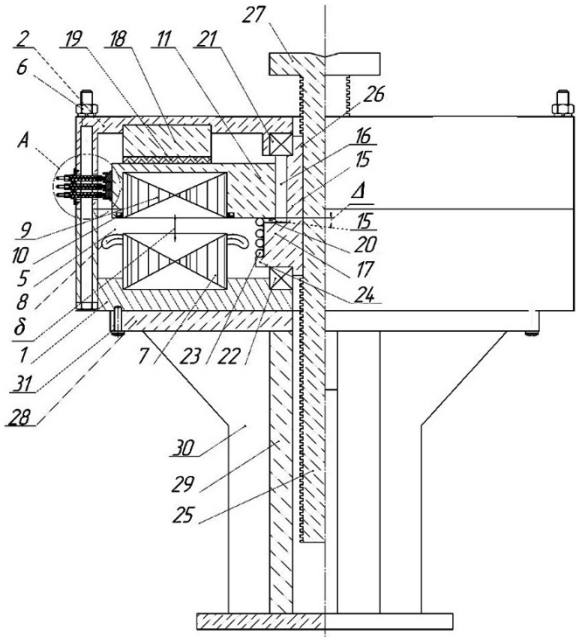


Рисунок 1 – Конструктивно-интегрированный электропривод домкрата

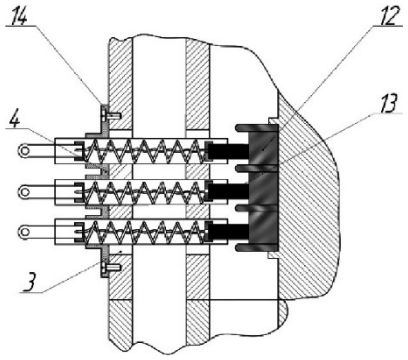


Рисунок 2 – Щеточно-контактный блок домкрата

С внутренней торцевой стороны верхнего несущего щита 2 неподвижно установлен тормозной диск 18 тормозного устройства, на котором жестко закреплена тормозная накладка 19. Кольцевой диск ротора расположен между уступом 17 и тормозной накладкой 19 и имеет возможность аксиального перемещения по шлицевому соединению 16 между внутренней торцевой поверхностью 20 уступа 17 и тормозной накладкой 19.

Гайка 15 расположена в нижнем несущем щите 1 и верхнем несущем щите 2 при помощи радиально-упорных подшипников 21, 22. На внешней части уступа 17 установлена тормозная пружина 23, расположенная между нижней торцевой стороной основания 11 кольцевого диска ротора и буртом 24, выполненным в нижней части уступа 17. Тормозная пружина 23 опираясь на бурт 24, при отсутствии питания на обмотке возбуждения 8 магнитопровода статора 7, прижимает кольцевой диск ротора к тормозной накладке 19 и тем самым предотвращает вращение кольцевого диска ротора и сопряжённой с ним посредством шлицевого соединения 11 гайки 10. При этом уступ 17 на гайке 15 изготовлен с учетом того, чтобы в собранной конструкции, при отсутствии питания на обмотке возбуждения 8 магнитопровода статора 7, аксиальное расстояние между магнитопроводом статора 7 и магнитопроводом ротора 9 было равно суммарной величине рабочего воздушного зазора δ и аксиального перемещения Δ кольцевого диска ротора вдоль шлицевого соединения 11. Винт 25 сопряжен с внутренней полостью гайки 15 посредством резьбового соединения 26. В верхней части винта 25 изготовлена головка 27 для принятия нагрузки.

Нижний несущий щит 1 и верхний несущий щит 2 образуют сборную конструкцию, в которой кольцевая полость 5 электродвигателя расположена на площадке 28 жестко связанной с цилиндрической полой стойкой 29 и радиальными кронштейнами 30 и присоединена при помощи винтов 31. Радиальные кронштейны 30 усиливают как цилиндрическую полую стойку 29, так и площадку 28. При отсоединении от площадки 28 с цилиндрической полой стойкой 29, усиленной радиальными кронштейнами 30 от нижнего щита 1 и использовании винта 25 с головкой 27 уменьшенной высоты, появляется возможность использовать домкрат при минимальной высоте, соизмеримой с высотой сборного корпуса электродвигателя.

Работает домкрат следующим образом.

В качестве источника питания домкрата может служить как источник синусоидального напряжения промышленной частоты, так и частотно- регулируемый источник (целесообразен при необходимости регулирования скорости подъема или опускания груза и использовании винта 25 малой высоты).

При подключении переменного синусоидального напряжения на обмотку возбуждения 8 магнитопровода статора 7 расположенном в нижнем несущем щите 1 возникает пусковой ток, превышающий номинальный ток рабочего режима машины, вследствие чего возникает электромагнитное поле, под воздействием аксиального электромагнитного усилия которого кольцевой диск ротора с находящимся там магнитопроводом ротора 9 и основанием 11 совершает аксиальное смещение по шлицевому соединению 14 вдоль гайки 15 расположеной в нижнем несущем щите 1 и верхнем несущем щите 2 при помощи радиально-упорных подшипников 21, 22.В это к контактным кольцам 12 с присоединёнными к ней концами фазам обмотки ротора 9 подсоединены щетки 13 находящихся в щеткодержателе 4 закрепленного в отверстии 3 на боковой стороне верхнего несущего щита 2 болтовым соединением 14 причем к щеткам 13 подключается добавочное сопротивление причем регулирование величины этого сопротивления дает возможность изменения пускового момента и работы с перегрузом при постоянной частоте вращения. При этом тормозная пружина 23 опираясь на бурт 24 получает дополнительное сжатие, а зазор Δ расположенный в кольцевой полости 5 между нижней торцевой стороной основания 11 кольцевого диска ротора и внутренней торцевой поверхностью 20 уступа 17 уменьшается. Между тормозной накладкой 19 установленной на тормозном диске 18 и верхней торцевой поверхностью кольцевого диска ротора образуется зазор, равный величине Δ, а между аксиальными рабочими поверхностями магнитопровода статора 7 и магнитопровода ротора 9 устанавливается рабочий зазор δ,

сохраняющийся в процессе вращения кольцевого диска ротора, который он получает в результате действия вращающегося магнитного поля. Так как кольцевой диск ротора сопряжен с гайкой 15 посредством шлицевого соединения 16, то момент будет вращать гайку 15 в радиально-упорных подшипниках 21, 22. При этом гайка 15 связана с винтом 25 посредством резьбового соединения 26 и при заторможенном винте 25 или нахождении груза на головке винта 27, домкрат будет поднимать или опускать винт 25.

При отключении электропитания от обмотки возбуждения 6 исчезает магнитный поток, удерживающий кольцевой диск ротора в рабочем положении. Вследствие этого тормозная пружина 23 вызывает обратное аксиальное смещение его по шлицевому соединению 16 вдоль винта 25. При этом кольцевой диск ротора входит в контакт с тормозной накладкой 19, а между нижней торцевой стороной основания 11 и внутренней торцевой поверхностью 20 уступа 17 образуется зазор равный величине Δ.

Увеличение грузоподъемности КИЭ домкрата (по сравнению с данными источника [3]) при установленной мощности приводного электродвигателя достигается за счет дополнительного увеличения крутящего момента, передаваемого на гайку. Это реализуется за счет встроенной двухступенчатой передачи, понижающей частоту вращения и одновременно увеличивающей вращающий момент, передаваемый от ротора к гайке. Усовершенствован механизм и предложен конструктивно-интегрированный электропривод винтового домкрата, позволяющий осуществлять плавный подъем и опускание груза при его повышенной грузоподъемности и точной фиксации исполнительного органа электропривода, что позволяет применять его без использования дополнительного монтажного и дорогостоящего оборудования в любых температурных режимах.

Литература

1. Разработка конструктивно–интегрированного электропривода домкрата для грузовых операций на береговых объектах / С.А. Попов, В.Е. Нечесов, С.В. Попова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11. – № 5. – С. 920–931.

2. Патент № 2702475 (РФ) Самотормозящийся винтовой домкрат с аксиальным электродвигателем / С.А. Попов, В.Е. Нечесов, М.А. Асташов, С.В. Попова, Ю.С. Попова. – Опубл. 10.08.2019. г. – Бюл. № 28.

3. Пат. 2601996 (РФ) Самотормозящийся винтовой домкрат с аксиальным электродвигателем / С.А. Попов, Т.Б. Гайтова, Н.В. Ладенко, П.Ю. Пономарев, В.С. Спичак. – Опубл. 10.11.2016. – Бюл. № 31.

References

1. Development of the design-integrated electric jack drive for the cargo operations at the shore objects / S.A. Popov, V.E. Nechesov, S.V. Popova // Vestnik of the Admiral S.O. Makarov State University of Sea and River Navy. – 2019. – Vol. 11. – № 5. – P. 920–931.

2. Patent № 2702475 (RF) Self-braking screw jack with an axial electric motor / S.A. Popov, V.E. Nechesov, M.A. Astashov, S.V. Popova, Yu.S. Popova. – Opublik. 10.08.2019. – Bulletin. № 28.

3. Patent № 2601996 (RF) Self-braking screw jack with axial electric motor / S.A. Popov, T.B. Gaitova, N.V. Ladenko, P.Yu. Ponomarev, V.S. Spichak. – Opublik. 10.11.2016. – Bul. № 31.

УДК. 621.311.26:620.91:621.472

ВНЕДРЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В НЕФТЕГАЗОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ

●●●●●●

THE INTRODUCTION OF SOLAR ENERGY IN THE OIL AND GAS COMPLEXES OF THE SOUTHERN REGIONS

Руденко Александра Михайловна
студент,
Астраханский государственный
технический университет

Габитов Рамиль Гамирович
магистрант,
Астраханский государственный
технический университет

Саинова Виктория Николоевна
кандидат технических наук, доцент,
заведующая кафедрой безопасность жизнедеятельности
и инженерная экология (ИЭБ),
Астраханский государственный
технический университет

Шипулина Юлия Викторовна
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры безопасность жизнедеятельности
и инженерная экология (ИЭБ),
Астраханский государственный
технический университет

Руденко Михаил Федорович
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры (ИЭБ),
Астраханский государственный
технический университет
mf.rudenko@mail.ru

Rudenko Alexandra Michailovna
Student,
Astrakhan state technical university

Gabitov Ramil Gamirovich
Undergraduate,
Astrakhan state technical university

Sainova Victoria Nickolaevna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Head of the Department of Life Safety
and environmental engineering,
Astrakhan state technical university

Shipulina Yulia Victorovna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor
of the Department of Life Safety
and environmental engineering,
Astrakhan state technical university

Rudenko Michail Ferdorovich
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the department of Life Safety
and environmental engineering,
Astrakhan state technical university
mf.rudenko@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются вопросы по созданию и внедрению компактных и мобильных энергетических установок, работающих от солнечной энергии для снабжения электроэнергией, теплотой и холодом вахтовых поселков нефтяников и газовиков. Полученные результаты можно использовать в системах электропитания компьютеров, светильников, бытовой электроаппаратуры; отопления и получения горячей технической воды; кондиционирования помещений, хранения продуктов и медикаментов, получения пищевого льда и холодной воды.

Отдельные элементы установок могут применяться для нагрева и выпаривания в технологиях первичной и вторичной переработки и транспортировке углеводородного сырья.

Подробно рассматриваются новые элементы по развитию водонагревательных коллекторов, плоских концентраторов солнечной энергии и сорбционных гелиоэнергетических термотрансформаторов.

Ключевые слова: солнечные коллекторы, концентраторы энергии, водонагревательные установки, гелиоэнергетические термотрансформаторы.

Annotation. The problems of creating and implementing compact and mobile power plants powered by solar energy to supply electricity, heat and cold to shift camps of oil and gas workers are considered. The results can be used in power systems for computers, lighting fixtures, household electrical equipment; heating and hot technical water; air conditioning, storage of food and medicine, food ice and cold water.

Some elements of the plants can be used for heating and evaporation in the technologies of primary and secondary processing and transportation of hydrocarbon raw materials.

New elements for the development of water heating collectors, flat solar energy concentrators and sorption solar energy thermotransformers are considered in detail.

Keywords: solar collectors, energy concentrators, water heating plants, solar energy thermotransformers.

Широкое применение в регионах со специфическим климатом (большое количество солнечных дней, длительное солнцестояние, сухая теплая погода) могут найти применение компактные автономные установки, стационарные неподвижные масштабные системы, стационарные следящими за Солнцем подвижные комплексы, работающие от энергии солнечной радиации. Такими регионами в европейской части Российской Федерации являются Крым, Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская, Астраханская, Волгоградская области, Кавказский регион, Дагестан и Калмыкия.

Многие научные центры в России и за рубежом, ведут работы в направлении применения и использования энергии солнечной радиации в полезную для человека работу. Такой работой может быть теплота, электроэнергия, холод, механическое движение, химические преобразования, фотосинтез и другое [1].

В Астраханском регионе на открытом полигоне Астраханского государственного технического университета многие годы ведутся исследования по преобразованию солнечной энергии в тепловую энергию, электричество и энергию холода и получения полезной работы в виде отопления помещений, создания солнечных печей, снабжения горячей и холодной водой, питания электроприборов бытового и производственного назначения, получения пищевого льда, замораживания и хранения пищевой продукции и медикаментов, кондиционирования воздуха.

Группой исследователей разработаны солнечные водонагревательные установки на основе применения типовых коллекторов. В конструкциях коллекторов типа «горячий ящик» площадью 1 м² солнечная энергия преобразуется в тепловую энергию высокого потенциала. Особенностью конструкции такого коллектора является применение плоских зеркальных концентраторов фокусирующих солнечную энергию на поглощающую трубчатую поверхностей, покрытие трубок коллектора специальным селективным веществом, позволяющим максимально поглощать энергию солнечной радиации в широком диапазоне; применение новых теплоизолирующих материалов; использование коридорной схемы компоновки трубок со смещенным протоком теплоносителя. Такие коллекторы могут работать при высоких (до 2,8 МПа) и низких (до 600 Па) давлениях в системе, у них компактные габариты и низкие весовые характеристики, что позволяет их легко перевозить и монтировать в любых пунктах назначения. На рисунке 1 показан солнечный коллектор, имеющий трубчатые вертикальные каналы, снаружи покрытые селективным веществом. Из них можно монтировать водонагревательные установки. КПД преобразования энергии тепловой радиации в тепловую энергию на теплоносителе вода достигает 0,25–0,30.

Рисунок 1 – Солнечный коллектор для водонагревательных установок

Разработано несколько видов селективных экологически чистых покрытий антикоррозионных, хорошо поглощающих солнечную энергию на оцинкованной и черной поверхностях, стали и алюминия [2–3].

Новые коллекторные устройства могут найти применение в солнечных водонагревательных устройствах для получения технической горячей воды, идущей на водоснабжение душевых кабин, пунктов питания и обогрева, сушилок, опреснителей соленой воды и т.п.

Для климатических условий Астраханского региона на основе типовых коллекторов разработаны одноконтурные установки производительностью 100 л, 200 л и более литров горячей воды в сутки, с тепловыми аккумуляторами на основе жидкостных и материалов фазового перехода с эсклюзивами различной конфигурации. Такие аппараты имеют повышенную эффективность работы и лучшие

теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Разработаны программы математического моделирования тепловых нагрузок на водонагревательные устройства различной мощности, с целью расчета полезных нагрузок.

Проведены исследования плоских зеркальных концентраторов солнечных лучей, которые могут значительно увеличить световую и тепловую энергию солнца на поверхности различной конфигурации [4].

Используя теоретические основы плоских зеркал [5], авторами разработано комбинированное устройство, способное осуществить концентрацию солнечных лучей до 9 раз. Расчеты проводились на основании следующих предположений исходя из анализа одно- и двукратного отражения солнечного луча от зеркальных поверхностей: угол падения луча равен углу отражения, вся энергия луча отражается от зеркала, и вся энергия луча поглощается принимающей поверхностью.

Изготовление фотоэлектрической батареи треугольной конструкции, состоящей из плоских квадратных элементов, позволяет значительно улучшить вольтамперные характеристики такой батареи, а если через среднюю часть конструкции охлаждать жидким теплоносителем, например водой, то можно и значительно подогреть ее.

Рассматривались также и другие конструкции плоских зеркальных концентраторов солнечной энергии на круглые, квадратные, равносторонние и равнобедренные треугольные поверхности.

На основании составленных аналитических выражений, связывающих фиктивные углы раскрытия зеркал с параметрами отражающих и поглощающих поверхностей, и анализа этих математических зависимостей при различных углах склонения солнца, позволили оптимизировать геометрические компоновку таких концентрических устройств в целом с точки зрения оптических и теплоэнергетических закономерностей. Экспериментальные исследования на различных гелиоэнергетических устройствах доказали, эффективность использования концентраторов, которые позволяют увеличить коэффициент полезного действия энергетических устройств на 15–20 %.

Разработаны программы для проектирования устройств с концентраторами солнечной энергии при комбинированном получении теплоты и электроэнергии.

Представляет особый интерес внедрение охлаждающих систем и установок, работающих от солнечной энергии. Это, прежде всего термотрансформаторы: автономные холодильные машины и тепловые насосы абсорбционного и адсорбционного типов непрерывного и циклического действия для хранения, охлаждения, замораживания пищевых продуктов; комфортного и технологического кондиционирования воздуха; выработки льда; аккумулирования холода.

Группой исследователей разработаны гелиоэнергетические установки, способные в условиях Астраханского климата в теплое время года создавать эффект охлаждения и понижать температуру в изолированной камере до минус 10 °С [6].

Рисунок 2 – Гелиоэнергетический холодильник автономного действия, работающий от энергии солнечной радиации

На рисунке 2 представлена автономная гелиоэнергетическая холодильная установка циклического действия, выполненная на основе термотрансформатора абсорбционного типа, предназначенная для охлаждения и хранения медикаментов, замораживания и производства пищевого льда от энергии солнечной радиации. Рабочим веществом в установке являются щелочноземельные соли (например, хлорид кальция $CaCl_2$ с примесью графитовых компонентов и активированного угля) и аммиак. Охлаждающей камерой является модернизированная камера от холодильника «Морозко», конденсатор водяной, генератор-абсорбер выполнен трехтрубным в гелиоприемном устройстве типа «горячий ящик».

При изготовлении такой холодильной установки были использованы новые технические решения по патентам [7, 8]. Гелиоприемное устройство площадью 1,2 м² Охлаждающая камера емкостью 1 м³, в которой поддерживается температура воздуха от минус 10 °С до плюс 2 °С. Возможно, в таких холодильниках использовать в качестве рабочий пары, активный уголь – метиламин. Принцип работы такого гелиоэнергетического термотрансформатора основан на использовании энергии солнечной радиации днем и суточном перепаде температуры окружающей среды. Днем установка заряжается от энергии солнца, а ночью производит эффект охлаждения. Во время зарядки эффект охлаждения в изолированной камере снижается, но пониженная температура сохраняется.

Мощность солнечных установок зависит от площади гелиоприемных устройств, ориентированных на юг под оптимальным углом наклона к горизонту солнцеприемной поверхностью.

В настоящее время ведутся дальнейшие работы по совершенствованию разработанных установок с целью внедрения их в производство.

Перспективной работой в области совершенствования гелиоэнергетических холодильных установок на основе адсорбционных термотрансформаторов является использование новых рабочих пар (силикагель, цеолит – вода), совершенствование конструкций гелиоприемных устройств генератора-адсорбера, интенсификация тепло-массообменных процессов в аппаратах конструкции холодильников и кондиционеров, разработка новых инновационных схемных решений [9].

Новые разработки могут применяться для нагрева сырой высоковязкой нефти солнечной энергией при транспортировке ее в магистральных трубопроводах, при создании автономных электрокатодных устройств для снижения коррозии труб, для автономного энергоснабжения следящих систем охраны и объектовых центров компьютерной обработки информации.

Таким образом, внедрение солнцеиспользующей энергетики в нефтегазовые комплексы южных регионов, могут автоматизировать некоторые вспомогательные службы по управлению, анализу и эксплуатации технологических процессов, улучшить условия проживания в вахтовых поселках.

Литература

1. Руденко М.Ф. Концепция развития экологически безопасной гелиоэнергетической техники для производства тепла и холода // Безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 10. – С. 46–50.

2. Электролит для черного оксидирования стали : патент 2287613 РФ № 2005103442/02 / Е.Е. Кравцов, М.Ф. Руденко, М.И. Сурков, О.И. Гомоненко, К.С. Балахонова, С.П. Скрипниченко, В.И. Кириченко, М.И. Шенбор, Т.А. Янченкова; заявл. 20.07.2006. – Опубл. 20.11.2006. – Бюл. № 32. – 3 с.

3. Электролит для осаждения черных антикоррозионных оксидных покрытий на сталь : патент 2365676 РФ № 2008130824/02 / К.А. Долецкая, Е.Е. Кравцов, А.С. Горская, Г.Ф. Мифтахова, М.Ф. Руденко, М.И. Сурков, В.И. Кириченко, М.И. Шнбор, Н.П. Огородникова, Т.С. Кондратенко; заявл. 25.07.2008. – Опубл. 27.08.2009. – Бюл. № 24. – 4 с.

4. Руденко М.Ф., Давыденко А.И. Фотоконцентраторы для морских и береговых энергетических комплексов // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – № 1. – С. 89–96.

5. Руденко М.Ф. Эффективность гелиоприемных устройств с концентраторами для систем тепло- и хладоснабжения. – Саратов : Лаборатория нетрадиционной энергетики ОЭП СНЦ РАН (при АГТУ), 2001. – 64 с.

6. Каримов М.Ш., Руденко М.Ф., Шипулина Ю.В. Повышение эффективности гедиоэнергетического адсорбционного термотрансформатора // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. – № 3. – С. 31–35.

7. Реактор генератора-абсорбера гелиохолодильной установки (варианты) : патент 2263859 РФ № 2003106499/06 / М.Ф. Руденко, А.К. Ильин, Ю.В. Коноплева, Р.А. Ильин, Е.Ю. Заикин; заявл. 07.03.2003. – Опубл. 10.11.2005. – Бюл. № 31. – 4 с.

8. Гелиоэнергетический холодильник: патент 2315923 РФ № 2006127336/06 / М.Ф. Руденко, Н.К. Надиров, Ю.В. Чивиленко, В.И. Черкасов, А.Е. Антипов, А.А. Марков; заявл. 27.07.2007. – Опубл. 27.01.2008. – Бюл. № 3. – 4 с.

9. Руденко М.Ф., Шипулина Ю.В., Каримов М.Ш., Руденко А.М. Повышение эффективности работы гелиоэнергетических холодильных установок адсорбционного типа // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2019. – № 46 (4). – С. 32–41. – DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-4-32-41

References

1. Rudenko, M.F. Concept of an ecologically safe helioenergetic technique development for the heat and cold production // Life safety. – 2009. – № 10. – P. 46–50.

2. Electrolyte for the black steel oxidation : patent 2287613 RF № 2005103442/02 / E.E. Kravtsov, M.F. Rudenko, M.I. Surkov, O.I. Gomonenko, K.S. Balakhonova, S.P. Skripnichenko, V.I. Kirichenko, M.I. Shenbor, T.A. Yanchenkova; declared. 20.07.2006. – Oblast. 20.11.2006. – Bul. № 32. – 3 p.

3. Electrolyte for the black anticorrosive oxide coating deposition on the steel : RF patent 2365676 № 2008130824/02 / K.A. Doletskaya, E.E. Kravtsov, A.S. Gorskaya, G.F. Miftakhova, M.F. Rudenko, M.I. Surkov, V.I. Kirichenko, M.I. Shenbor, N.P. Ogorodnikova, T.S. Kondratenko; declared 20.07.2006. 25.07.2008. – Obl. 27.08.2009. – Bul. № 24. – 4 p.

4. Rudenko, M.F.; Davydenko, A.I. Photoconcentrators for the sea and coast energy complexes // MPEI Vestnik. Series: Marine engineering and technology. – 2017. – № 1. – P. 89–96.

5. Rudenko M.F. Efficiency of the heliopoietic devices with concentrators for the heat- and cooling-supply systems. – Saratov : Laboratory of non-traditional power engineering of OEP SNC RAS (at AGTU), 2001. – 64 p.

6. Karimov M.S., Rudenko M.F., Shipulina Yu.V. Increase of efficiency of the geoenergetic adsorption thermal converter // Chemical and oil-and-gas machine building. – 2016. – № 3. – P. 31–35.

7. Generator-absorber reactor of a heliocooling plant (variants) : RF patent 2263859 No. 2003106499/06 / M.F. Rudenko, A.K. Ilyin, Yu.V. Konopleva, R.A. Ilyin, E.Yu. Zaikin; declared. 07.03.2003. – Obl. 10.11.2005. – Bulletin № 31. – 4 p.

8. Helioenergetic refrigerator: patent 2315923 RF № 2006127336/06 / M.F. Rudenko, N.K. Nadi-rov, Yu.V. Chivilenko, V.I. Cherkasov, A.E. Antipov, A.A. Markov; declared. 27.07.2007. – Obl. 27.01.2008. – Bul. № 3. – 4 p.

9. Rudenko M.F., Shipulina Yu.V., Karimov M.S., Rudenko A.M. Operating efficiency increase of the helio-energetic adsorption type refrigerating units // Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical sciences. – 2019. – № 46 (4). – P. 32–41. – DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-4-32-41

УДК 621.313

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ-СЕПАРАТОРА АКСИАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

●●●●●●

ALGORITHM FOR CALCULATING THE PARAMETERS OF THE AXIAL DESIGN ENGINE-SEPARATOR

Самородов Александр Валерьевич
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
alex.samorodoff@gmail.com

Артенян Корюн Завенович
студент 4 курса
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
zevs4998@mail.ru

Войнов Александр Владимирович
студент 4 курса
кафедры электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный
технологический университет
trapasha@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена рассмотрению алгоритму расчета параметров двигателя-сепаратора аксиальной конструкции.

Ключевые слова: центробежный сепаратор, алгоритм, расчет параметров, аксиальный статор.

Samorodov Alexander Valerevich
Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Electrical Engineering
and Electrical Machines,
Kuban state technological university
alex.samorodoff@gmail.com

Artenyan Koryun Zavenovich
4th year student
Department of Electrical Engineering
and Electrical Machines,
Kuban state technological university
zevs4998@mail.ru

Voinov Alexander Vladimirovich
4th year student
Department of Electrical Engineering
and Electrical Machines,
Kuban state technological university
trapasha@mail.ru

Annotation. His article is devoted to the consideration of the algorithm for calculating the parameters of the axial design motor-separator.

Keywords: centrifugal separator, algorithm, calculation of parameters, axial stator.

В ходе работ по созданию перспективной энерго- и ресурсосберегающей установки для переработки нефти на базе электромеханических преобразователей энергии совмещенной конструкции [1–4] на кафедре электротехники и электрических машин ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» был разработан сепаратор для полидисперсных жидких систем [5]. Для оценки энергоэффективности нового вида энергосберегающих электромеханических преобразователей энергии совмещенной конструкции для переработки нефти двигателя-сепаратора аксиального типа необходимо знать параметры электромагнитной системы двигателя-сепаратора, для вычисления которых следует произвести расчет конструкционных параметров двигателя-сепаратора.

Известные методики проектирования «классических» асинхронных электродвигателей [6–7], а также электрических машин (ЭМ) с массивными роторами [8–10] направлены на получение максимальных массогабаритных характеристик за счет ориентации на минимальные значения радиусов ротора и статора для каждого значения мощности, поэтому они не применимы для расчета энергосберегающего двигателя-сепаратора аксиального типа в котором ротор-барабан, кроме функции ротора электрической машины, выполняет роль рабочего органа в котором происходит процесс сепарирования нефти.

В расчете конструктивных элементов двигателя-сепаратора использованы рекомендации из [6–10] по выбору конструкционных, механических, электромеханических и электромагнитных параметров будущих эклектических машин.

На основании анализа методик из [6–10] был принят следующий алгоритм расчета конструкционных параметров статора и ротора двигателя-сепаратора аксиального типа:

- определение внешнего радиуса ротора;
- расчет объема активной стали магнитопровода статора и параметров его обмотки на примере эквивалентной цилиндрической электрической машины;
- определение параметров аксиального статора.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты расчета конструкционных параметров статора сепаратора совмещенной конструкции.

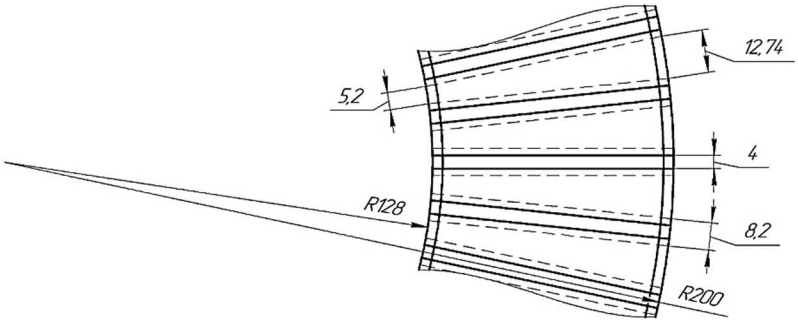


Рисунок 1 – Фрагмент аксиального магнитопровода сепаратора совмещенной конструкции (вид сверху)

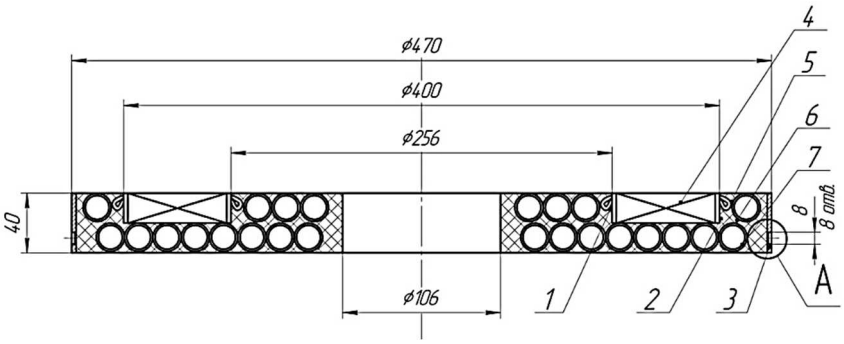


Рисунок 2 – Аксиальный статор сепаратора совмещенной конструкции

Активное сопротивление обмотки статора находим по [6–7]:

$$r_1 = K_r \cdot \rho_{115} \cdot \frac{L_1}{q_{эф} \cdot a}, \quad (1)$$

где L_1 – длина проводников фазы обмотки; ρ_{115} – удельное сопротивление при расчетной температуре $\upsilon_{расч} = 115°\,C$, для медных проводников по [22–23]: $\rho = 10^{-6}/41$ Ом · м.

$$r_1 = \frac{1590{,}4 \cdot 10^{-6}}{0{,}3312 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 41} = 105 \text{ Ом}.$$

Относительное значение:

$$r_{1^*} = r_1 \cdot \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}}, \quad (2)$$

где $I_{1ном}$ – номинальный фазный ток, $U_{1ном}$ – номинальное фазное напряжение.

$$r_{1^*} = 105 \cdot \frac{3{,}38}{220} = 1{,}61.$$

Активное сопротивление массивного ротора находим по [8–10]:

$$\boldsymbol{r_2} = \frac{5{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot K_T \cdot K_R \cdot m \cdot (w_1 \cdot K_{w1})^2}{p \cdot q_1} \cdot \sqrt{\frac{\mu_r \cdot f}{\gamma}}, \quad (3)$$

где K_T – коэффициент торцов $K_T = 1{,}05$; K_R – коэффициент учета нелинейности и неоднозначности $\mu(H)$ внутри проводящей среды для активного сопротивления $K_R = \sqrt{2} = 1{,}41$; K_{w1} – обмоточный коэффициент статора в случае асинхронного двигателя с массивным ротором $K_{w1} = 1$; μ_r – относительная магнитная проницаемость на поверхности ротора $\mu_r = \frac{B}{H} = \frac{1{,}2}{5000} = 0{,}00024$; γ – глубина проникновения электромагнитной волны $\gamma = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu f}} = \sqrt{\frac{2}{314 \cdot 0{,}00024 \cdot 50}} = 0{,}728$; q_1 – линейный коэффициент $q_1 = \frac{\tau}{l_\delta} = 8{,}72$.

$$r_2 = \frac{5{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}05 \cdot 1{,}41 \cdot 3 \cdot (1120 \cdot 1)^2}{1 \cdot 8{,}72} \cdot \sqrt{\frac{0{,}00024 \cdot 50}{0{,}728}} = 459{,}37 \text{ Ом}.$$

Относительное значение:

$$r'_{2^*} = r'_2 \cdot \frac{I_{1\text{ном}}}{U_{1\text{ном}}}, \quad (4)$$

$$r'_{2^*} = 459{,}37 \cdot \frac{3{,}38}{220} = 7{,}057.$$

Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора находим по [6–7]:

$$x_1 = 15{,}8 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{w_1}{100}\right)^2 \cdot \frac{l_\delta}{p \cdot q} \cdot \left(\lambda_{\text{п}1} + \lambda_{\text{л}1} + \lambda_{\text{д}1}\right), \quad (5)$$

где $\lambda_{\text{п}1}$ – коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния; $\lambda_{\text{л}1}$ – коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния; $\lambda_{\text{д}1}$ – коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния:

$$x_1 = 15{,}8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{1120}{100}\right)^2 \cdot \frac{0{,}072}{1 \cdot 10} \cdot (1{,}072 + 0{,}582 + 0{,}942) = 18{,}52 \text{ Ом}.$$

Относительное значение:

$$x_{1^*} = x_1 \frac{I_{1\text{ном}}}{U_{1\text{ном}}}, \quad (6)$$

$$x_{1^*} = 18{,}52 \cdot \frac{3{,}38}{220} = 0{,}285.$$

Индуктивное сопротивление массивного ротора находим по [8–10]:

$$x_2 = \frac{3{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot K_T \cdot K_X \cdot m \cdot (w_1 \cdot K_{w1})^2}{p \cdot q_1} \cdot \sqrt{\frac{\mu_r \cdot f}{\gamma}}, \quad (7)$$

где K_X – коэффициент учета нелинейности и неоднозначности $\mu(H)$ внутри проводящей среды для индуктивного сопротивления $K_X = 0{,}6\sqrt{2} = 0{,}85$.

$$x_2 = \frac{3{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}05 \cdot 0{,}85 \cdot 3 \cdot (1120 \cdot 1)^2}{1 \cdot 8{,}72} \cdot \sqrt{\frac{0{,}00024 \cdot 50}{0{,}728}} = 168{,}133 \text{ Ом}.$$

Относительное значение:

$$x_{2^*} = x_2 \cdot \frac{I_{1\text{ном}}}{U_{1\text{ном}}}, \quad (8)$$

$$x_{1^*} = 168{,}133 \cdot \frac{3{,}38}{220} = 2{,}583.$$

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230010 р_а.

Литература

1. Гайтов Б.Х. Разработка нового вида энергосберегающей установки для переработки нефти / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, В.А. Ким // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Естественно-математические и технические науки. – Майкоп : Изд-во АГУ, 2019. – Вып. 3 (246). – С. 103–108.

2. Гайтов Б.Х. Энергосберегающая установка для сепарирования нефти и определения ее параметров / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, В.А. Ким // Энергосбережение и водоподготовка. – 2019. – № 4 (120). – С. 58–62.

3. Kopelevich L.E., Kim V.A., Artenyan K.Z. «Mathematical Model for Diagnosing Rotor-Drum of Resource Saving Unit for Oil Refining», 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8933837.

4. Gaytov B.Kh., Kim V.A., Artenyan K.Z. «Adjustment Characteristics of Resource Saving Unit for Oil Refining», 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1-5. doi: 10.1109/FarEastCon. 2019.8934816.

5. Пат. 2706320 Российская Федерация, МПК7 B04B 9/00, B04B 9/02, B04B 9/04, B04B 14/00. Сепаратор для полидисперсных жидких систем / Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, В.А. Ким; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – № 2019111177. – заявл. 12.04.2019. – Опубл. 15.11.19. – Бюл. № 32.

6. Проектирование электрических машин : учебник для вузов / под ред. И.П. Копылова. – М. : Издательство Юрайт, 2011. – 4-е изд., перераб. и доп. – 767 с.

7. Гольдберг О.Д., Макаров Л.Н., Хелемская С.П. Инженерное проектирование электрических машин. – М. : ИД «БАСТЕТ», 2016. – 528 с.: ил. (Высшее проф. образование: бакалавриат, магистратура).

8. Куцевалов В.М. Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами. – М. : Энергия, 1966. – 302 с.

9. Куцевалов В.М. Асинхронные и синхронные машины с массивным ротором. – М. : Энергия, 1979. – 160 с.

10. Конструктивно-интегрированный частотно-управляемый электропривод : монография / Б.Х. Гайтов. – Краснодар : Изд-во филиал ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2011. – 355 с.

References

1. Gaitov B.H. Development of a new type of the energy-saving installation for oil processing / B.H. Gaitov, Ya.M. Kashin, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov, V.A. Kim // Vestnik of Adygeya State University College. Series: Natural-mathematical and technical sciences. – Maykop : ASU Publishing House, 2019. – Episode 3 (246). – P. 103–108.

2. Gaitov B.H. Energy saving installation for oil separation and determination of its parameters / B.H. Gaitov, Ya.M. Kashin, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov, V.A. Kim // Energy saving and water treatment. – 2019. – № 4 (120). – P. 58–62.

3. Kopelevich L.E., Kim V.A., Artenyan K.Z. «Mathematical Model for Diagnosing Rotor-Drum of Resource Saving Unit for Oil Refining», 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8933837.

4. Gaytov B.Kh., Kim V.A., Artenyan K.Z. «Adjustment Characteristics of Resource Saving Unit for Oil Refining», 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladi-vostok, Russia, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/FarEastCon. 2019.8934816.

5. Pat. 2706320 Russian Federation, MPK7 B04B 9/00, B04B 9/02, B04B 9/04, B04B 14/00. Separator for polydisperse liquid systems / Ya.M. Kashin, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov, V.A. Kim; applicant and patentee of FSBOU VPO «Kuban State Technological University». – № 2019111177. – a-vowel. 12.04.2019. – Obl. 15.11.19. – Bul. № 32.

6. Design of electric machines : a textbook for universities / edited by I.P. Kopylov. – M. : Publisher Yureit, 2011. – 4th ed., transcript and additional – 767 p.

7. Goldberg O.D., Makarov L.N., Chelemskaya S. . Engineering design of electrical machines. – M. : ID «BASTET», 2016. – 528 p.: silt. (Higher professional education: bachelor's degree, master's degree).

8. Kutsevalov V.M. Voprosy of theory and calculation of asynchronous machines with massive rotors. – M. : Energia, 1966. – 302 p.

9. Kutsevalov V.M. Asynchronous and Synchronous Machines with Massive Rotors. – M. : Energia, 1979. – 160 p.

10. Structurally Integrated Frequency-controlled Electric Drive : Monograph / B.H. Gaitov. – Krasnodar : News in the branch of the VUNC Air Force «VBA named after Prof. N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin», 2011. – 355 p.

УДК 313.3

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАСКАДНО-ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ИХ ОПТИМИЗАЦИЯ

●●●●●●

ENERGY INDICATORS OF THE CASCADE-FREQUENCY ELECTRIC DRIVE AND THEIR OPTIMIZATION

Шишлин Денис Иванович
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электропривода,
Липецкий государственный
технический университет
denis-shishlin@yandex.ru

Платицин Егор Эдуардович
студент кафедры электропривода,
Липецкий государственный
технический университет

Аннотация. В статье представлены результаты исследований системы каскадно-частотного электропривода в плане энергетических характеристик и их оптимизация в перспективе ее применения на механизмах общепромышленного назначения.

Ключевые слова: каскадно-частотный электропривод; энергетическая; оптимизация энергетических параметров.

Shishlin Denis Ivanovich
Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Associate Professor
of faculty of the electric drive,
Lipetsk state technical university
denis-shishlin@yandex.ru

Platitsyn Egor Eduardovich
Student of electric drive Department,
Lipetsk state technical university

Annotation. The article presents the results of studies of the cascade-frequency electric drive system in terms of energy characteristics and their optimization in the long term of its application on general industrial mechanisms.

Keywords: cascade-frequency electric drive; energy; optimization of energy parameters.

Одним из основных направлений развития современных систем электроприводов переменного тока является частотное управление асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором на основе регулирования величины и частоты питающего напряжения [1], которое обеспечивает плавное и экономичное регулирование скорости вращения двигателей различных механизмов, в частности турбомеханизмов, составляющих примерно четвертую часть механизмов общепромышленного назначения.

Приводы турбомеханизмов с редкими пусками, длительными или медленно меняющимися режимами работы, не требующие глубокого регулирования скорости (диапазон 2:1) могут быть спроектированы на базе асинхронных двигателей с фазным ротором, включенных по схеме асинхронных вентильных каскадов (АВК). Важными достоинствами АВК являются непосредственное питание двигателя от сети и высокий кпд во всем диапазоне регулирования частоты вращения при, однако, невысоком коэффициенте мощности $\cos\varphi$ [2].

Разработка и внедрение гибридных схем на основе вышеуказанных, которые могли бы обеспечить высокие энергетические показатели, хорошую управляемость, простоту конструкции, учет требований технологического процесса, представляет собой перспективное направление развития электроприводов переменного тока.

Функциональная схема силовой части системы каскадно-частотного электропривода [3] представлена на рисунок 1.

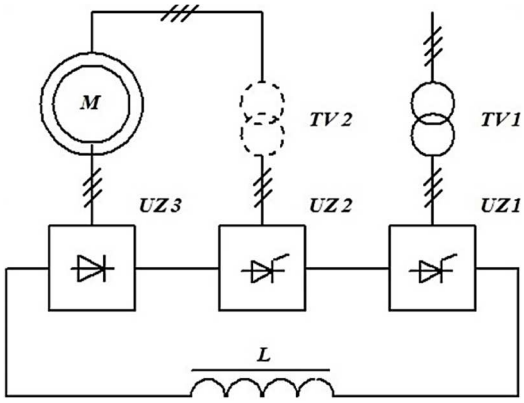


Рисунок 1 – Функциональная схема каскадно-частотного электропривода

Преобразователь UZ1, связанный с питающей сетью через трансформатор TV1 или токоограничивающий реактор LR, является регулируемым и работает в режиме выпрямителя; преобразователь UZ2 работает в режиме автономного инвертора и может быть связан с обмоткой статора через согласующий трансформатор TV2. В цепь выпрямленного тока включен сглаживающий реактор L. Асинхронный двигатель не имеет прямого включения в сеть; энергия скольжения полностью, за исключением потерь, передается в статорную цепь двигателя; регулируемый преобразователь работает в выпрямительном режиме. Обмотки статора и ротора, таким образом, оказываются включенными в общую цепь, что позволяет управлять одновременно токами, протекающими в них.

Основными энергетическими показателями электропривода являются кпд и коэффициент мощности cosφ. Кпд системы определяется полезной мощностью на валу двигателя и потерями в системе, числом ступеней преобразования энергии и возможностью реализации энергии скольжения в электроприводах, где применяются асинхронные двигатели с фазным ротором. Улучшение cosφ часто требует применения различных устройств, компенсирующих реактивную энергию, потребляемую из сети, однако это приводит к увеличению габаритов системы, снижает надежность работы и может быть рекомендовано для мощных электроприводов.

Система каскадно-частотного электропривода из питающей сети потребляет мощность $P_{ПОТР}$, которая представляет собой в сумме мощность, развиваемой на валу двигателя Mω, и потерь мощности в силовой части [4]:

$$P_{ПОТР} = M\omega_0 - M\omega_0 s + (\Delta P + \Delta P_{АИ}) = M\omega + (\Delta P + \Delta P_{АИ}),$$

где $M\omega_0$ – электромагнитная мощность двигателя; $M\omega_0 s$ – мощность скольжения; $\Delta P = \Delta P_{ДВ} + \Delta P_{СР} + \Delta P_{НВ} + \Delta P_{ТР} + \Delta P_{РВ}$ – суммарные потери мощности в системе электропривода, соответственно в двигателе, сглаживающем реакторе, вентилях нерегулируемого выпрямителя, сетевом трансформаторе, вентилях регулируемого выпрямителя; $\Delta P_{АИ}$ – потери мощности в вентилях автономного инвертора.

Энергетическая диаграмма системы каскадно-частотного электропривода с учетом указанного баланса мощностей представлена на рисунке 2.

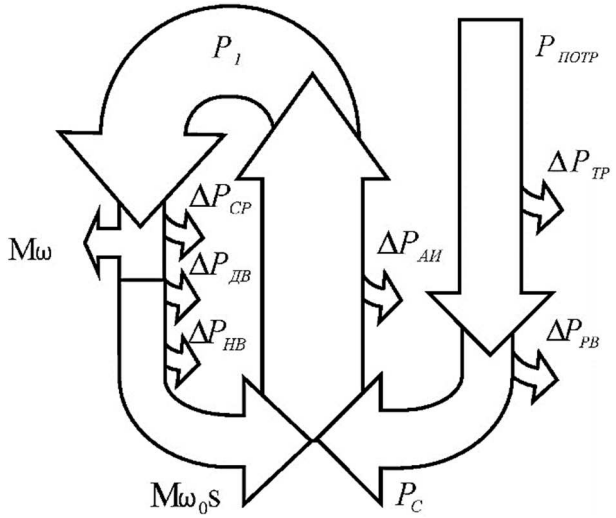


Рисунок 2 – Энергетическая диаграмма системы каскадно-частотного электропривода

Для АВК баланс мощностей определяется по формуле:

$$P'_{ПОТР} = P'_1 - M\omega_0 s + \Delta P,$$

где $P'_{ПОТР}$ – мощность, потребляемая системой АВК; P'_1 – мощность, потребляемая статором двигателя. Потребляемые активные мощности в обеих рассматриваемых системах в случае использования одного и того же оборудования и равенстве развиваемого на валу двигателя момента можно принять одинаковыми.

Потребляемая системой каскадно-частотного электропривода из сети реактивная мощность определяется выражением:

$$Q_{ПОТР} = 3 \cdot E_{2T} \cdot I_d \cdot k_{CXI} \cdot \cos\left(\alpha + \frac{\gamma}{2}\right) + \Delta Q_{TP},$$

где k_{CXI} – коэффициент схемы соединения вентилей инвертора; для мостовой схемы k_{CXI} = 0,815; ΔQ_{TP} – часть мощности, необходимая для создания потоков рассеивания в обмотках трансформатора, α – угол управления выпрямителем; γ – угол коммутации, зависящий от тока I_d [2].

Коэффициент мощности системы каскадно-частотного электропривода определяется по формуле:

$$\cos\varphi = \nu \cdot \frac{P_{ПОТР}}{\sqrt{P_{ПОТР}^2 + Q_{ПОТР}^2}},$$

где ν – коэффициент, учитывающий искажение формы первичных тока, потребляемого из сети; ν = 0,98.

Таким образом, в системе каскадно-частотного электропривода мощность потребляется только трансформатором регулируемого выпрямителя, тогда как в системе АВК потребление реактивной мощности происходит и со стороны трансформатора инвертора, и со стороны статора двигателя:

$$Q'_{ПОТР} = Q'_{ДВ} + Q'_{ТР} = P'_{ДВ} \cdot tg\varphi_{ДВ} + Q'_{ТР},$$

где Q'_{TP} – реактивная мощность, потребляемая со стороны трансформатора; $tg\varphi_{ДВ}$ – тангенс угла, определяемого из схемы замещения двигателя.

Активная мощность, потребляемая АВК с учетом его кпд, равна:

$$P'_{ДВ} - P'_{TP} = \frac{M\omega}{\eta_K}.$$

Учитывая преобразования, выполненные в [5], получаем соотношение реактивных мощностей, потребляемых системами каскадно-частотного электропривода и АВК:

$$\frac{Q'_{ПОТР}}{Q_{ПОТР}} = \left[\frac{M\omega}{\eta_K \cdot Q_{ПОТР}} + \frac{\cos\left(\beta - \frac{\gamma}{2}\right)}{\sin\left(\alpha + \frac{\gamma}{2}\right)}\right] \cdot tg\varphi_{ДВ} + 1.$$

Система каскадно-частотного электропривода потребляет меньше реактивной мощности, чем система АВК (на 25–30 %) и обладает более высоким cosφ. Коэффициент мощности повышается примерно на 20 %. Кпд обеих систем за счет полезной реализации энергии скольжения остаются относительно высокими и примерно на одном уровне.

Оптимизация значений энергетических показателей электропривода представляет практический интерес, связанный с планированием режимов работы установки. Критерии, по которым производится оптимизация, могут быть различными (минимум тока статора, минимум потребляемой мощности, максимум кпд, cosφ и др.).

Оптимизация должна осуществляться при определенных условиях, предъявляемых к системе. Анализ энергетических характеристик каскадно-частотного электропривода проводился при наличии согласующего трансформатора в цепи статора двигателя. При этом токи в цепях статора и ротора пропорциональны между собой на величину коэффициента трансформации k_{TP}. Развиваемый двигателем момент M, который является функцией произведения токов обмоток статора и ротора, возрастает.

Условием оптимизации является постоянство подводимого к статору двигателя напряжения в относительных единицах U_1^* = const при различных значениях коэффициента трансформации k_{TP} согласующего трансформатора. Варьирование значения k_{TP} производилось в относительно широких пределах. В качестве допущения расчет характеристик системы электропривода проводился без учета сопротивления обмоток трансформаторного и реакторного оборудования и при неподвижном роторе двигателя. Энергетические характеристики каскадно-частотного электропривода, полученные экспериментальным путем и подтвержденные аналитическими выражениями [6], представлены на рисунке 3. Оптимальное значение коэффициента трансформации k_{TP} определено экспериментально и подтверждено расчетом численными методами.

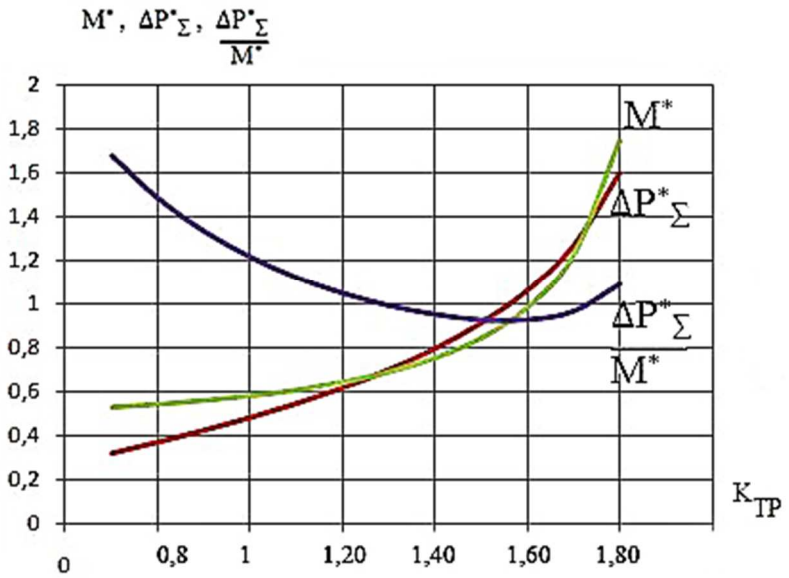


Рисунок 3 – Энергетические характеристики системы каскадно-частотного электропривода

Следовательно, при использовании согласующего трансформатора в цепи статора двигателя можно достичь увеличения его пускового момента, снижения удельных потерь энергии и увеличения кпд. На практике данное техническое решение можно применять для повышения производительности насосов, нагнетателей и других турбомеханизмов нефтегазовой отрасли.

Система каскадно-частотного электропривода при условии M* = const оптимизирована по минимальному току статора и минимуму потерь энергии, которые достигаются при меньших значениях $k_{ТР}$ [6]. Такой режим может быть рекомендован в случае минимальных нагрузок приводов (снижение расхода перекачиваемых жидкостей или газов).

Исследования системы каскадно-частотного электропривода проводились с использованием асинхронного двигателя с фазным ротором типа МТ311-6 [7], результаты экспериментов подтверждены расчетами и результатами математического моделирования данной системы [8]. Математическая модель каскадно-частотного электропривода позволяет рассматривать энергетические показатели как в переходных, так и в статических режимах при любых законах регулирования (при постоянном напряжении, подводимом к цепи статора асинхронного двигателя и различных значениях его частоты) и при различных законах частотного управления.

Результаты проведенных исследований для системы каскадно-частотного электропривода позволяют сделать следующие выводы:

1. Установка трансформатора в цепь статора двигателя и варьирование значения $k_{ТР}$ позволяет увеличить пусковой момент двигателя, что является важным для подъемно-транспортных и иных механизмов металлургического производства с возможностью работы «на упор», а также провести оптимизацию по минимуму удельных потерь энергии для достижения максимума кпд и, следовательно, повышения производительности механизмов.
2. В системе каскадно-частотного электропривода снижено потребление реактивной энергии из сети по сравнению с АВК, что ведет к повышению коэффициент мощности $\cos\varphi$.
3. Возможно оптимизация системы по минимуму тока потребления при фиксированных моментах нагрузки при изменении величины напряжения регулируемого выпрямителя в определенных пределах.

Литература

1. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М. : Академия, 2004. – 256 с.
2. Онищенко Г.Б. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания / Г.Б. Онищенко, И.Л. Локтева. – М. : Энергия, 1979. – 200 с.
3. Мещеряков В.Н. Статические характеристики системы асинхронного вентильного каскада с последовательным возбуждением / В.Н. Мещеряков, Д.И. Шишлин, Р.С. Рысляев, В.А. Зотов // Изв. вузов. Электромеханика. – 2009. – № 2. – С. 57–60.
4. Шишлин Д.И. Составление энергетического баланса и анализ энергетических характеристик системы каскадно-частотного электропривода // сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции «Электроэнергетика, энергосберегающие технологии». – Липецк : ЛГТУ, 2004. – Ч. 2. – С. 141–144.

5. Шишлин Д.И., Соловьев Р.С. Каскадно-частотный электропривод: особенности энергетики и определение энергетических показателей : Энергетика. Проблемы и перспективы развития // материалы IV Всероссийской молодежной научной конференции; отв. ред. Т. И. Чернышова. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019.

6. Мещеряков В.Н., Шишлин Д.И. Оптимизация энергетических параметров системы каскадно-частотного электропривода механизмов металлургических производств : Современная металлургия нового тысячелетия // сборник научных трудов международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 161–167.

7. Вешеневский С.Н. Характеристика двигателей в электроприводе. – М. : Энергия, 1977. – 432 с.

8. Мещеряков В.Н., Шишлин Д.И. Построение математической модели системы каскадно-частотного электропривода для определения ее энергетических показателей : Энерго- и ресурсосбережение – XXI век // материалы XII Международной научно-практической интернет-конференции. – Орел, 2016. – С. 78–82.

References

1. Braslavskiy I.Ya. Energy saving asynchronous electric drive / I.Ya. Braslavskiy, Z.Sh. Ishmatov, V.N. Poliakov. – M. : Academy, 2004. – 256 p.

2. Onishchenko G.B. Asynchronous Valve Cascades and Dual Power Engines. – M. : Energia, 1979. – 200 p.

3. Meshcheryakov V.N. Static Characteristics of an Asynchronous Valve Cascade System with Post-Value Excitation / V.N. Meshcheryakov, D.I. Shishlin, R.S. Ryslyaev, V.A. Zotov // Izv. Electromechanics nika. – 2009. – № 2. – P. 57–60.

4. Shishlin D.I. Energy balance and analysis of the energy characteristics of the cascade-frequency drive system // Collection of reports of the All-Russian Scientific-Technical Conference «Electric Power Engineering, Energy-Saving Technologies». – Lipetsk : LSTU, 2004. – Part 2. – P. 141–144.

5. Shishlin D.I., Soloviev R.S. Cascade frequency electric drive: energy features and definition of energy indicators : Energetika. Problems and prospects of development // Proceedings of IV All-Russian Youth Scientific Conference; abst. of T.I. Chernyshova. – Tambov : Publishing Center FSBEI VO «TSTU», 2019.

6. Meshcheryakov V.N., Shishlin D.I. Optimization of energy parameters of the system of cascade-frequency electric drive of mechanisms of metallurgical production : Modern metallurgy of the new millennium // collection of scientific papers of the international scientific conference. – 2015. – P. 161–167.

7. Veshenevsky S.N. Characteristics of motors in electric drive. – M. : Energia, 1977. – 432 p.

8. Meshcheryakov V.N., Shishlin D.I. Construction of a mathematical model of a cascade-frequency electric drive system to determine its energy performance : Energy and resource saving – XXI century // materials of the XII International Scientific and Practical Internet Conference. – Orel, 2016. – P. 78–82.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

БУЛАТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Материалы IV Международной научно-практической конференции (31 марта 2020 г.)

ТОМ 6:

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Сборник статей

Статьи публикуются в авторской редакции

Технический редактор – А.С. Семенов
Оригинал-макет – М.Б. Жаренко
Дизайн обложки – М.Н. Гусева

Сдано в набор 01.04.2020
Подписано в печать 05.04.2020.
Формат 60 x 84 1/8. Бумага офсетная. Печать riso.
Печ. л. 20,3
Изд. № 1095. Тираж 500 экз. Заказ № 2159

ООО «Издательский Дом – Юг»
Россия, 350010, г. Краснодар,
ул. Зиповская, 9, литер «Г», оф. 41/3

Тел.: +7(918) 41-50-571
e-mail: id.yug2016@gmail.com
Сайт: www.id-yug.com