

БУЛАТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Материалы VII Международной
научно-практической конференции
(31 марта 2023 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*

БУЛАТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

**Материалы VII Международной
научно-практической конференции
(31 марта 2023 г.)**

**Зарегистрировано в Национальном агентстве ISSN
Российской Федерации 27.07.2017**

ISSN 2587-8913

В 2 ТОМАХ

ТОМ 2:

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТА
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ, ГАЗА И ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ.**

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ
В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.**

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ.

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Сборник статей

**Краснодар
2023**

READINGS OF A.I. BULATOV

Materials of VII International
scientific and practical conference
(on March 31, 2023)



*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*

READINGS OF A.I. BULATOV

**Materials of VII International
scientific and practical conference
(on March 31, 2023)**

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

ISSN 2587-8913

IN 2 VOL.

VOLUME 2:

**MODERN TECHNOLOGIES FOR TRANSPORTATION AND
STORAGE OF OIL, GAS AND REFINED PRODUCTS**

**CHEMICAL TECHNOLOGY AND ECOLOGY
IN THE OIL AND GAS INDUSTRY.**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
ELECTRICAL EQUIPMENT IN OIL AND GAS INDUSTRY.**

HUMANITIES

Conference bulletin

Krasnodar
2023

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

САВЕНОК Ольга Вадимовна

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Санкт-Петербургский горный университет, Лауреат премии администрации Краснодарского края в области образования за 2015 год.

SAVENOK Olga Vadimovna

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Development and Operation of Oil and Gas Fields, St. Petersburg Mining 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, Иностраный 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.



ОГЛАВЛЕНИЕ

TABLE OF CONTENTS

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТА
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ, ГАЗА И ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ**

**MODERN TECHNOLOGIES FOR TRANSPORTATION AND
STORAGE OF OIL, GAS AND REFINED PRODUCTS**

Гасумов Э.Р. Перспективы развития «зеленой энергетики» в Азербайджане	17
Gasumov E.R. Prospects for the development of «green energy» in Azerbaijan	
Игнатченко О.А., Игнатченко Д.А., Аракелян А.Г. Применение нового метода охлаждения газа на компрессорных станциях за счет использования турбосопловых установок	23
Ignatchenko O.A., Ignatchenko D.A., Arakelyan A.G. Application of a new method of gas cooling at compressor stations through the use of turbosplane installations	
Смолякова О.Е. Инновационные методы безопасной транспортировки природного газа в виде газового гидрата	26
Smolyakova O.E. Innovative methods of safe transportation of natural gas in the form of gas hydrate	
Федорин Д.А., Бахтизин Р.Н. Разработка решений для обеспечения безопасности магистрального нефтепровода при отступлении от норм проектирования	31
Fedorin D.A., Bakhtizin R.N. Development of solutions to ensure the safety of the main oil pipeline in case of deviation from the design standards	
Ширалиев А.А. оглы Моделирование процесса закачки и добычи газа в подземном хранилище газа (ПХГ)	37
Shiraliyev A.A. oglu Modeling of the process of gas injection and extraction in an underground gas storage (UGS)	

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ
В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**CHEMICAL TECHNOLOGY AND ECOLOGY
IN THE OIL AND GAS INDUSTRY**

Арипджанов О.Ю., Тиркашева Х.О. кизи Анализ технологии адсорбционных процессов и области их промышленного применения	43
Aripdjanov O.Yu., Tirkasheva Kh.O. qizi Analysis of the technology of adsorption processes and areas of their industrial application	
Арипджанов О.Ю., Хайруллаева Д.З. Общий анализ технологии абсорбционной очистки природного газа от кислых газов с использованием композиционных абсорбентов	45
Aripdjanov O.Yu., Khayrullaeva D.Z. General analysis of absorption cleaning technology of natural gas from acid gases using composite absorbents	
Багирова Н.Н., Мустафаева Р.Э. Изучение устойчивости модифицированных топливных эмульсий	48
Bagirova N.N., Mustafayeva R.E. Study of the stability of modified fuel emulsions	
Борисова Ю.Г., Джумаев Ш.Ш., Мусин А.И., Раскильдина Г.З. Синтез и реакции 4-метил-2-метил-2-изобутил-1,3-диоксолана	51
Borisova Yu.G., Dzhumaev Sh.Sh., Musin A.I., Raskildina G.Z. Synthesis and reactions of 2-[(e)-2-phenylethylenyl]-1,3-dioxolane	



Брылякова А.А. Очистка модельных вод от растворенной нефти комбинированным сорбционным материалом на основе отходов злаковых культур	54
Brylyakova A.A. Purification of model waters from dissolved oil by combined sorption material based on cereal waste	
Валеев А.Р., Чуракова С.К., Муллабаев К.А. Оценка равномерности распределения жидкой фазы трубчатым распределителем методом CFD-анализа при различных плотностях жидкой фазы	58
Valeev A.R., Churakova S.K., Mullabaev K.A. Evaluation of the uniformity of the distribution of the liquid phase by a tubular distributor by the method of CFD-analysis at different densities of the liquid phase	
Васильев П.С., Шурак А.А., Рева Л.С. Анализ работы парогенератора со статическим распылителем жидкости	60
Vasilyev P.S., Shurak A.A., Reva L.S. Analysis of steam generator operation with static liquid sprayer	
Васильев П.С., Шурак А.А., Рева Л.С. Анализ работы парогенератора с динамическим распылителем жидкости	63
Vasilyev P.S., Shurak A.A., Reva L.S. Analysis of steam generator operation with dynamic liquid sprayer	
Гевел Т.А., Парасотченко Ю.А., Суздальцев А.В., Зайков Ю.П. Электроосаждение тонких пленок кремния из хлоридных расплавов с добавкой K_2SiF_6	66
Gevel T.A., Parasotchenko Yu.A., Suzdaltsev A.V., Zaikov Yu.P. Electrodeposition of the thin silicon films from chloride melts with K_2SiF_6 addition	
Гурбанлы У.Р., Гейдарли Г.З., Гасанов А.А., Расулов Ч.К. Реакции арилалкилирования жидких продуктов пиролиза фенола с фракцией 130–190 °С	69
Gurbanly U.R., Heydarli G.Z., Hasanov A.A., Rasulov C.K. Arylalkylation reactions of liquid products of phenol pyrolysis with a fraction of 130–190 °С	
Гусейнова Х.А., Абилова А.З. Исследование диссимметричных поверхностно-активных веществ типа кокогем в качестве ингибиторов коррозии стали	71
Huseynova Kh.A., Abilova A.Z. Study of dissymmetric surfactants of the cocogem type as steel corrosion inhibitors	
Давыдов К.А., Чуракова С.К. Вопросы методологии при автоматизации технологического расчета реактора каталитического риформинга с неподвижным слоем катализатора	73
Davydov K.A., Churakova S.K. Methodological questions of engineering design automation of fixed-bed catalytic reforming reactor	
Кендирбаева Д.Ж., Жунусакунова А.Р., Сарыгулова К.А. Современное состояние использования водных ресурсов в центрально-азиатских государствах	78
Kendirbayeva Dz.J., Zhunusakunova A.R., Sarygulova K.A. Current state of the use of water resources in the central asian states	
Коновалов Д.Н., Лазарев С.И., Малин П.М., Коновалов Д.Д. Модернизация электробаромембранного аппарата комбинированного типа	82
Kononov D.N., Lazarev S.I., Malin P.M., Kononov D.D. Modernization of electric baromembrane apparatus of combined type	
Константинов Е.К., Чуракова С.К. Приближенный гидравлический расчет предельных парожидкостных нагрузок перекрестноточных тарельчатых внутренних контактных устройств	85
Konstantinov E.K., Churakova S.K. Approximate hydraulic calculation of limit vapor-liquid loads of cross-flow disc internal contact devices	
Королькова Н.А., Назанский С.Л. Анализ стационарных состояний рециркуляционной системы «реактор-сепаратор» на примере реакции димеризации	88
Korolkova N.A., Nazanskii S.L. Analysis of steady states of the reactor-separator recirculation system by the example of the dimerization reaction	
Красноперова С.А. Основные направления экологизации производства нефтегазового комплекса	91
Krasnoperova S.A. The main directions of greening the production of the oil and gas complex	



Маннанов Т.И., Чураков В.А., Чуракова С.К. Исследование влияния наличия верхнего и нижнего днища на эффективность лопастного устройства ввода сырья методом CFD-анализа	93
Mannanov T.I., Churakov V.A., Churakova S.K. Investigation of the effect of the presence of the upper and lower bottoms on the efficiency of the blade input device of raw materials by CFD analysis	
Меликов Э.А. оглы, Магеррамова Т.М. кызы, Ахмедова С.Ш. кызы Исследование установки получения пропиленгликоля как объекта автоматизации	97
Melikov E.A., Maharramova T.M., Ahmadova S.Sh. Study of propylene glycol production plant as an automation object	
Муллабаев К.А., Чуракова С.К. Исследовательский стенд для изучения процессов истечения капель	101
Mullabaev K.A., Churakova S.K. Research plant for drop outflow processes studying	
Муллабаев К.А., Чуракова С.К., Валеев А.Р. Обзор методов оценки равномерности распределения потоков в колонных аппаратах	103
Mullabaev K.A., Churakova S.K., Valeev A.R. Review of methods for evaluation the flow distribution uniformity in the column devices	
Новрузова А.Н., Раева В.М. Сравнение селективного действия экстрактивных агентов при разделении смеси метанол-тетрагидрофуран-ацетонитрил	106
Novruzova A.N., Raeva V.M. Comparison of the selective action of extractive agents at the separation of methanol-tetrahydrofuran-acetonitrile mixture	
Салахов И.И., Амансарыев А.Б., Горячев А.А., Черкасова Е.И. Обзор технологий улавливания, утилизации и хранения диоксида углерода	112
Salakhov I.I., Amansaryyev A.B., Goryachev A.A., Cherkasova E.I. A review of technologies for carbon dioxide capture, utilization and storage	
Салахова Э.И., Абдуллина А.А., Зинуров В.Э. Улавливание частиц в реакторе с псевдооживленным слоем	119
Salakhova E.I., Abdullina A.A., Zinurov V.E. Particle capture in a fluidized bed reactor	
Самигуллина З.С., Семёнов Д.В., Киреева Д.Р. Перспективы применения продуктов димеризации пентенов для получения гидрофобных компонентов неионогенных поверхностно-активных веществ	122
Samigullina Z.S., Semenov D.V., Kireeva D.R. Potential application of the pentenes dimerization products for the preparation of hydrophobic components of non-ionic surfactants	
Сидорская Е.М., Павлов К.Е., Петрова А.Э. Исследование ингибиторов парафиноотложений для нефтяных систем	124
Sidorskaya E.M., Pavlov K.E., Petrova A.E. Research of paraffin deposits inhibitors for oil systems	
Хурмаматов А.М., Бойтұраев С.А. Результаты исследования изменению вязкости масла марки И-20 и ОЭ-26 в зависимости от температуры	126
Khurmatov A.M., Boytutayev S.A. Results of the study of viscosity changes in I-20 and OE-26 oil depending on temperature	
Хурмаматов А.М., Муминов Ж.А. угли Влияние конструктивных параметров аппарата на эффективность охлаждения	128
Khurmatov A.M., Muminov J.A. ugli Influence of the design parameters of the unit on the cooling efficiency	
Чураков В.А., Маннанов Т.И., Чуракова С.К. Сравнительный анализ степени влияния эффективности сепарации парожидкостного потока в зоне питания на энергозатраты процесса при различных условиях разделения	130
Churakov V.A., Mannanov T.I., Churakova S.K. Comparative analysis of the degree of influence of the efficiency of separation of vapor-liquid flow in the feeding zone on the energy consumption of the process under different separation conditions	



ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS

- Новрузова С.Г., Гадашова Э.В., Алиев И.Н.**
Использования газовых потоков в струйных аппаратах в процессе сепарации 137
Novruzova S.H., Qadashova E.V., Aliyev I.N.
Application of gas flows in jet devices for gas separation
- Гололобов Д.В.**
Формирование электронной библиотеки станочных элементов
на основе формирования информационных моделей описания 141
Gololobov D.V.
Formation of an electronic library of machine elements based on the formation
of information models of description
- Исмагилова Э.Р., Бикбау М.Я.**
Перспективы применения наноматериалов для устройства фундаментов
и оснований объектов нефтегазового промысла 145
Ismagilova E.R., Bikbau M.J.
Prospects for the application of nanocements for laying foundations and footings of oil and gas facilities
- Исмаилов О.Ю., Исмоилов М.Х.**
Влияния магнитного поля на процесс образования накипи в водонагревателях 148
Ismailov O.Yu., Ismoilov M.H.
The influence of the magnetic field on the process of scale formation in water heaters
- Михеев Р.С., Калашников И.Е., Быков П.А., Кобелева Л.И.**
Разработка наплавочных композиционных материалов на основе сплава системы Al-Sn-Cu
для формирования антифрикционных покрытий узлов трения ответственного оборудования
нефтегазовой отрасли 151
Mikheev R.S., Kalashnikov I.E., Bykov P.A., Kobleva L.I.
Development of surfacing composite materials based on an Al-Sn-Cu system alloy
for the formation of anti-friction coatings for friction units of critical equipment in oil and gas industry
- Хурмаматов А.М., Исмаилов О.Ю., Юсупов Р.А.**
Влияние центробежной силы на процесс конденсации углеводородных паров 155
Khurmatov A.M., Ismailov O.Yu., Yusupov R.A.
The effect of centrifugal force on the process of condensation of hydrocarbon vapors
- Хурмаматов А.М., Исмаилов О.Ю., Юсупов Р.А.**
Определения физические свойства углеводородного сырья 157
Khurmatov A.M., Ismailov O.Yu., Yusupov R.A.
Definitions physical properties of hydrocarbons
- Шахмарова Р.С.**
Влияние плотности высококачественного чугуна на температуру кристаллизации 160
Shakhmarova R.S.
The effect of the density of high-quality cast iron on the crystallization temperature
- Шестерикова Р.Е., Серяк А.А.**
Эффективный способ электрохимической защиты объектов газораспределительных станций 162
Shestikova R.E., Seryak A.A.
An effective method of electrochemical protection of gas distribution station facilities
- Шишлин Д.И., Улитин Н.П., Ильин М.В.**
Оценка энергоэффективности способов регулирования давления
в магистральном нефтепроводе на нефтеперегонной станции 165
Shishlin D.I., Ulitin N.P., Ilyin M.V.
Evaluation of energy efficiency of pressure control methods in the main oil pipeline at an oil refinery station
- Якубов С.И., Турдиев М.Ш., Узокон Г.Н., Темирова Д.У. кизи**
Газоэнергетический способ извлечения оставшегося мощного охранного угольного целика 169
Yakubov S.I., Turdiev M.Sh., Uzokov G.N., Temirova D.U. kizi
Gas-energy method of extraction of the remaining powerful protective coal column at the angren mine



ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

ELECTRICAL EQUIPMENT IN OIL AND GAS INDUSTRY

- Автайкин И.Н., Квон А.М., Шестаков Ф.А., Бесчастный И.А.**
 Математическая модель однофазного трансформатора 175
Avtaykin I.N., Kvon A.M., Shestakov F.A., Beschastny I.A.
 Mathematical model of a single-phase transformer
- Бацева Н.Л., Валиев Т.Т., Федькин А.С., Хошбекян С.М.**
 Совершенствование системы разгрузки генераторов в изолированной
 энергосистеме месторождения 178
Batseva N.L., Valiev T.T., Fedkin A.S., Khoshbekyan S.M.
 Development of the load shedding system of generators at an isolated power system of a field
- Иванова Т.Н., Ковалев Д.Ю.**
 Исследования энергетических показателей вентильных электродвигателей при нефтедобыче 183
Ivanova T.N., Kovalev D.Yu.
 Investigation of the energy performance of brushless electric motors in oil production
- Старостина Я.К., Поснов Д.Д., Токарев А.Д.**
 Трансформаторно-транзисторный регулятор напряжения
 для управления гидропоршневым нефтяным насосом 186
Starostina Ya.K., Posnov D.D., Tokarev A.D.
 Transformer-transistor voltage regulator for control of hydro-piston oil pump

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

HUMANITIES

ИСТОРИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ HISTORY OF THE OIL AND GAS INDUSTRY

- Минкин М.Р.**
 Советский опыт решения кадровых проблем производства
 (на примере нефтяной промышленности Республики Татарстан в 1950-е гг.) 191
Minkin M.R.
 Soviet experience in solving staff problems of production (by the example of Tatarstan Republic
 oil industry in 1950-s)
- Цымбалов А.А.**
 Приемственность научно-технических знаний в основах декольматации скважин 196
Tsybalov A.A.
 Continuity of scientific and technical knowledge in the basics of well decollimation

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ PEDAGOGICAL SCIENCES

- Бакеева Л.В., Дмитриева М.Л.**
 Отраслевые олимпиады как инструмент профориентационной работы в университете 201
Bakeeva L.V., Dmitrieva M.L.
 Industry Olympiads as a tool for career guidance at the University
- Григорьева О.С., Мохова О.М.**
 Синхронизация предметных результатов с компетенциями
 в рамках учебного предмета для СПО 205
Grigoreva O.S., Mikhova O.M.
 Synchronization of subject results with competencies within the subject for SVE
- Зими́на Н.Ю., Милейко Е.В., Туманов К.А.**
 Об употреблении библеизмов в современном русском языке 207
Zimina N.Yu., Mileyko E.V., Tumanov K.A.
 About the use of bibleisms in modern Russian speech
- Энсис Е.И., Колесников В.П., Терехов В.В.**
 Разработка методов интерактивного образования иностранных курсантов 209
Ensis E.I., Kolesnikov V.P., Terekhov V.V.
 Development of methods of interactive education of foreign cadets



ФИЛОСОФСКИЕ НАУКИ PHILOSOPHICAL SCIENCES

Намазова Ш.А.

Философские идеи Фараби в проекции на XXI век 213

Namazova Sh.A.

Philosophical ideas of Farabi in the projection for the XXI century

ЭКОНОМИКА ECONOMICS

Кабакова М.Ю.

Об организационных и экономических аспектах внедрения систем управления качеством на производственных предприятиях 216

Kabakova M.Yu.

About organizational and economic aspects of the introduction of quality management systems at manufacturing enterprises

Прокофьева Л.М., Кузовлева Н.Ф.

Геологический риск и экономическая эффективность геологоразведочных проектов морских месторождений углеводородов 219

Prokofieva L.M., Kuzovleva N.F.

Geological risk and economic efficiency of offshore hydrocarbon exploration projects

Сафиуллина Е.У., Шаройко М.Д.

Оценка инновационной активности и её результатов в нефтедобывающей отрасли России 223

Safiullina E.U., Sharoiko M.D.

Assessment of innovation activity and its results in the oil producing industry of Russia

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТА
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ, ГАЗА
И ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ**

**MODERN TECHNOLOGIES FOR TRANSPORTATION
AND STORAGE OF OIL, GAS
AND REFINED PRODUCTS**



УДК 620.9

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ «ЗЕЛеной ЭНЕРГЕТИКИ» В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF «GREEN ENERGY» IN AZERBAIJAN

Гасумов Эльдар Рамизович

кандидат экономических наук, доцент,
Азербайджанский Университет нефти и промышленности,
Азербайджанский технический университет,
R.Gasumov@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрено состояние производства электроэнергии из возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мире, в том числе в Европе. Изучены основные перспективные направления развития «зеленой энергетики» – производства электроэнергии на основе ВИЭ Азербайджанской Республики (АР). Проанализированы планы по формированию полномасштабного энергетического рынка «зеленой энергии» с участием стран континента. Рассмотрены работы, проводимые в АР в области изучения перспектив создания соответствующих мощностей и инфраструктуры для производства и экспорта «зеленой энергии». Утверждается, что созданные электроэнергетические мощности позволят сэкономить сотни миллионов кубометров природного газа для удовлетворения внутренних потребностей страны и на экспорт.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, «зелёная энергетика», водород, энергия, энергогенерации.

Gasumov Eldar Ramizovich

Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor,
Azerbaijan University of Oil and Industry,
Azerbaijan Technical University,
R.Gasumov@yandex.ru

Annotation. The article considers the state of electricity production from renewable energy sources in the world, including Europe. The main promising directions for the development of «green energy» – energy generation based on renewable energy sources in Azerbaijan were studied. Plans for the formation of a full-scale hydrogen market with the participation of most countries of the continent are analyzed. The work carried out in Azerbaijan in the field of studying the prospects for creating appropriate capacities and infrastructure for the production and export of «green energy» was considered. It is stated that the created electric power capacities will save hundreds of millions of cubic meters of natural gas to meet the country's domestic needs and for export.

Keywords: renewable energy sources, «green energy», hydrogen, energy, energy generation.

Необходимость максимального использования «зелёной энергетики», или энергогенерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), является одной из актуальных направлений энергетической политики развитых стран мира. Энергопереход рассчитана на десятилетия стратегия изменения структуры производства и потребления альтернативных источников энергии человечеством. К ним относятся возобновляемые источники энергии (ВИЭ), получаемые за счет использования гидроэнергии, энергии ветра, солнечной энергии, геотермальной энергии, биомассы и энергии приливов и отливов. В отличие от ископаемых видов топлива (таких как нефть, природный газ, уголь и урановая руда), эти источники энергии не истощаются, поэтому их называют возобновляемыми.

По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), в 2022–2027 годах объем возобновляемой энергии в мире вырастет на 75 %, или на 2400 ГВт. Агентство «IRENA» повысило прогноз роста мощностей возобновляемой энергетики в мире на 30 % по сравнению с прогнозом в 2021 году, и в течение следующих пяти лет ветровые и солнечные электростанции будут основными источниками выработки возобновляемой энергии (на них будет приходиться более 90 % выработки возобновляемой энергии). А к началу 2025 года ВИЭ обгонят угольные тепловые электростанции (ТЭС) и станут крупнейшим источником электроэнергии в мире. К 2027 году установленная мощность ветровых электростанций (ВЭС) почти удвоится (выработка электроэнергии на 570 ГВт), а солнечных электростанций (СЭС) утроится (на 1500 ГВт) [1, 2, 3].

В то же время еще в 2020 году производство электроэнергии из ВИЭ в Европе впервые обогнало ископаемое топливо, и «зеленая генерация» обеспечила 38,2 % всей выработки электроэнергии в ЕС против 37 %, произведенных на угольных и газовых станциях. ВИЭ постепенно вытесняют угольные и атомные электростанции (АЭС) из европейской генерации. В частности, в Германии в 2022 году на долю ВИЭ придется 49 % потребляемой в стране энергии – на 6 % больше по сравнению с прошлым годом [2, 3–5].

Согласно исследованиям агентства «IRENA», в целях предотвращения ущерба экосистеме планеты планируется постепенное сокращение традиционной торговли углеводородными ископаемыми ресурсами (нефть, газ, уголь и т.д.), а экологически безопасная энергетика будущего, наряду с ростом производства электроэнергии на основе ВИЭ, будет основана на массовом использовании водородного топлива. Доля водорода к 2050 году обеспечит до 12 % мирового энергопотребления. Производство «зеленого водорода» (в основном производимого из воды с использованием ВИЭ) охватит огромное количество стран, в том числе не имеющих запасов минеральной энергии, что позволит достичь климатической нейтральности без ущерба для промышленного роста и социального развития человечества [6–8].



Запланированный на 2030–2035 годы в передовых странах мира переход на экологически «чистую энергетику» потребует значительных изменений на топливном рынке. Наряду с максимальным расширением использования солнечной, ветровой и других видов альтернативной энергии, к указанному сроку планируется перевести на электричество около 50 % автомобилей, автобусов и других видов наземного транспорта. Однако, в силу ряда обстоятельств, полная электрификация транспортных средств – дело гораздо более отдаленного будущего, и в ближайшее десятилетие в качестве альтернативы бензину и дизельному топливу планируется использовать другие, более экологичные виды топлива, в частности «зеленый водород» [6].

Еще 10–15 лет назад использование водородного топлива в сфере транспорта и промышленности считалось технологией очень далекого будущего. Деятельность в этом направлении осуществлялась в основном в рамках экспериментальных и пилотных проектов, проводимых в основном с целью теоретических исследований. Однако сегодня эта область занимает определенную долю рынка: в Европе, Японии, США, Китае уже работают водородные заправки, успешно используются автомобили и механизмы, работающие на водородной энергии. Ранее Китай объявил о создании крупнейшего в мире предприятия по производству «зеленого водорода». Переход к «чистой энергии» может создать новые возможности, создать новые источники дохода и освободить человечество от обычных традиционных источников энергии. Возобновляемые источники энергии составляют основу долгосрочных планов многих стран мира, которые не только помогут обеспечить декарбонизацию, но и дадут больше электроэнергии [6, 9, 11].

Доля ВИЭ в ЕС более чем удвоилась с 2004 года и составляет более 20 % всей потребляемой энергии. Планируется увеличить целевой показатель для ВИЭ в энергобалансе на 2030 год с 32 % до 45 %, а доля ВИЭ в энергопотреблении домохозяйств должна вырасти до 49 %, в сфере централизованного теплоснабжения и кондиционирования воздуха – расти на 2,1 % в год, а в промышленности – на 1,0 % в год. ЕС поддержит трансграничную магистраль для перекачки «зеленого водорода» из Испании во Францию, а использование топлива знаменует собой начало трансформации европейской энергетики в сторону от углеводородов. Как сообщается, впервые в 2022 году ЕС произвел больше электроэнергии за счет солнечной и ветровой энергии, чем за счет газа [1, 6, 11].

ЕС планирует реализовать специальную программу по водородной энергетике, на которую в ближайшие годы будет потрачено 50–60 миллиардов евро. Сюда входит создание и управление инфраструктурой, способы преобразования газа в водород и другие направления. К 2035 году на строительство предприятий по производству водорода, заправочных станций и другой инфраструктуры будет потрачено в общей сложности 100 миллиардов евро. Планируется сформировать полномасштабный водородный рынок, который будет открыт для импорта энергии из третьих стран. В международных проектах по производству и экспорту водородного топлива планируют участвовать многие страны, в том числе и на постсоветском пространстве (Россия, Азербайджан, Казахстан, Туркменистан). Например, к 2030 году Россия уже запланировала увеличить объем продаж водорода на мировом рынке до 10 млн тонн, то есть примерно на 40 млрд долларов. Азербайджан также позиционирует себя как потенциальный кандидат на участие в международных проектах по производству и экспорту водорода. В Азербайджанской Республике (АР) уже ведутся исследования перспектив создания соответствующих мощностей и инфраструктуры для производства и экспорта водорода [5, 9, 12].

В последние годы АР активизировал деятельность по расширению использования ВИЭ, на фоне глобального энергетического перехода, ожидаемого в ближайшие 10–15 лет, страна планирует диверсифицировать структуру поставок энергоносителей на внешние рынки. В частности, изучаются перспективы экспорта водорода с использованием ВИЭ в производственных процессах. Аспекты сотрудничества в области «зеленой энергетики» и возможность производства водорода в АР в будущем регулярно обсуждаются крупными энергетическими компаниями мира [6].

За годы независимости АР инвестировал в свою энергетическую безопасность, полностью удовлетворил потребности внутреннего рынка и пытается постепенно играть все более важную роль в энергетической безопасности все большего числа стран. С непоколебимой уверенностью и здоровым чувством собственного достоинства АР продолжает укреплять свое место на мировом рынке, предоставляя наблюдателям и всему миру прекрасную возможность пронизательно взглянуть на экспортные возможности АР и его место в новом энергетическом мировом порядке. ВИЭ пока не являются сильной стороной АР, но уже приняты меры по созданию благодатной почвы для развития «зеленой энергетики», и в нужный момент стремится экспортировать возобновляемую энергию своим ближайшим соседям. На фоне всего этого для АР, являющегося связующим звеном между Европой и Азией, открываются новые возможности, и усиливаются позиции страны на энергетическом рынке континента [13, 14].

Согласно данным Международного энергетического агентства (IEA), в ближайшие 10 лет в сектор ВИЭ во всем мире ежегодно будет вкладываться не менее 440 млрд долларов, и ориентировочно к 2030 году эта сумма достигнет порядка 4 трлн. долларов, что позволит ограничить глобальное потепление до 1,5 °С и обеспечит необходимые объемы энергоснабжения экономически развитым регионам мира.

Агентство «IEA» отмечает, что в течение первых пяти лет после подписания Парижского климатического соглашения в 2015 году инвестиции в «зеленую энергию» росли всего на 2,0 % в год. Однако с 2020 года этот показатель вырос до 12,0 % в год благодаря увеличению вложений в солнечную и ветровую энергию, включая рекордный для офшорной ветроэнергетики 2021 год. В частности, произ-



водство низкоуглеродного водородного топлива, а также развитие новых аккумуляторных технологий и систем по улавливанию, использованию и хранению углерода [1, 5, 15].

Причем специалисты «IEA» отмечают особую перспективность производства водородного топлива, которое наряду с развитием электромобилей в ближайшие годы может стать весомой альтернативой для транспортного сектора, где сегодня все еще доминируют бензиновые и дизельные двигатели.

Европа уделяет внимание на формирование полномасштабного рынка водорода в течение следующего десятилетия, для чего необходимо сильный сектор водородной промышленности. Использование ВИЭ, в том числе водорода, создает возможности для регионального стратегического сотрудничества и возникает необходимость долгосрочного стратегического сотрудничества в сфере энергетики [16].

Таким образом, энергетическая стратегия, реализуемая АР совместно с партнерами, выходит за рамки вопросов узкой энергетической диверсификации и энергетической безопасности. Она создает качественно новые партнерские отношения между странами, способствует их развитию, повышает уровень взаимного доверия между всеми участниками этого процесса. Проекты могут быть разными, но дух сотрудничества помогает достичь поставленных целей. Этот приоритет диктует необходимость сотрудничества между сторонами на взаимовыгодной основе [4, 10, 17].

В связи очень позитивной демографической ситуации в АР и ускоренным развитием промышленности в 2022 году в неэнергетическом секторе экономики был отмечен рекордный показатель роста (более чем на 20 %). Для обеспечения внутренних потребностей в большем объеме требуется энергоносители, а также в скором времени необходимо дополнительные объемы природного газа для газификации территории страны. Сегодня АР является одной из немногих стран мира, экспортирующих сырую нефть, природный газ, нефтехимическую продукцию, нефтепродукты и электроэнергию [1, 2].

Электроэнергетический потенциал АР рассчитан в основном на внутреннее потребление, в связи с чем он вложил значительные средства в электроэнергетическую инфраструктуру, полностью модернизировал линии электропередач, построил новые электростанции и занимает второе место в мире по доступности электроэнергии. Началось строительство первого крупного проекта в области ВИЭ – ветропарка мощностью 240 МВт, который будет полностью финансироваться иностранным инвестором – известной на энергетическом рынке саудовской компанией «ACWA Power». Использование ветряной электростанции позволит сэкономить до 300 млн куб м газа в год [1, 2, 4].

Потребность в азербайджанской электроэнергии есть и на региональном рынке, и это позволяет выйти рынки Европы, так как АР уже экспортирует электроэнергию в четыре соседние страны – Турцию, Россию, Грузию и Иран. Увеличение мощности производства ВИЭ, позволит сэкономить природного газа для удовлетворения внутренних и экспортных потребностей. Разрабатывается стратегия АР в области «зеленой энергии» и ее завершения позволит оценить состояние электроэнергетики в стране, а также ее перспективной планировании. По оценкам международных экспертов потенциал ВИЭ на Восточно-Зангезурском экономическом регионе АН ресурсы ветряной энергии составляет около 7200 МВт, а солнечной – более 2000 МВт. Стратегический партнер АР в нефтегазовом секторе британская компания «British Petroleum» (BP) проявляет большой интерес к работе на этих территориях, планируется развитие производства ВИЭ мощностью более 200 МВт [1, 5, 11].

В рамках внутренней стратегии АР по развитию «зеленой энергетики» в стране, она также может стать дополнительным источником дохода от экспорта электрических ресурсов. Будет проведена работа по специальной программе оценки энергетического потенциала Каспийского моря, у которого по предварительным данным, технический потенциал превышает 157 ГВт, и в настоящее время ведется работа с ведущими международными энергетическими компаниями, связанная с развитием этого потенциала [16].

АР диверсифицировал имеющиеся в стране линии электропередачи, соединяющие его со всеми соседними государствами. Проводимая совместная энергетическая политика АР с соседними государствами выходит за рамки вопросов энергетической диверсификации и энергетической безопасности, поскольку создает новые связи между странами, способствует развитию этих связей, повышает уровень взаимного доверия между всеми странами, вовлеченными в этот процесс [5, 11, 18].

В частности, консорциум Трансадриатического трубопровода (TAP) и Государственная нефтяная компания АР «SOCAR» проводят исследования по транспортировке водорода на европейский рынок. В частности, изучаются требования к конструкции необходимого оборудования для транспортировки смеси природного газа и водорода по трубопроводу «TAP». В то же время в сотрудничестве с международными компаниями «BP» и «KBR» (Великобритания), «Masdar» (ОАЭ) и «Equinor» (Норвегия) ведутся дискуссии относительно перспективных технологий производства водорода: речь идет о производстве «зеленого водорода» путем электролиза морской воды с использованием электроэнергии от морских ветряных турбин, а также «голубого водорода» из природного газа, добываемого в море. Однако транспортировка газородной смеси – это достаточно сложный технологический процесс, который также связан с рядом эксплуатационных и коммерческих факторов. Поэтому «SOCAR», как один из альтернативных вариантов, рассматривает возможность инвестирования в водородные проекты непосредственно из источников сбыта в Европе. В частности, речь идет о планах швейцарской дочерней компании «SOCAR – Energy Switzerland» принять участие в консорциуме по строительству в Швейцарии электролизного завода мощностью до 10



МВт, где будет налажено производство водородного топлива и его розничная реализация через сеть АЗС, принадлежащих компании [1, 12, 15].

Каспийский регион обладает большим потенциалом для производства «зеленого» и других видов водорода. В будущем АР также намерен использовать экологически «чистый водород» на внутреннем топливном рынке: в настоящее время этот газ производится в ограниченных количествах, в основном для нужд отечественной химической промышленности. В целом, если говорить о таком приоритетном направлении энергоперехода, как производство водорода – «зеленого» и других его разновидностей – то этот Каспийский регион имеет очень большие возможности для того, чтобы стать центром производства всех видов водорода. Строительство новой инфраструктуры, большой потенциал, опыт – все эти факторы играют свою важную роль в привлечении важных энергетических компаний инвестировать в ВИЭ. А также, улучшение энергоэффективности системы транспортировки позволит увеличить экспорт газа из АР [6, 12, 18].

Диверсификация является одним из важнейших факторов энергобезопасности, над которым АР работает с самых первых дней реализации энергетической стратегии: страна диверсифицировала маршруты экспорта, созданы три нефтепровода, четыре газопровода, экспортируем электричество в четыре страны. Работа с традиционными партнерами, энергетическими компаниями позволяет увеличить производство и расширить существующую инфраструктуру страны. АР становится сильным партнером в продвижении энергетической безопасности в регионе и продолжает работы над стратегиями развития надежных источников энергии, которые также поддерживают важнейшие климатические цели.

Вызовы, стоящие перед странами мира, и ожидаемые структурные преобразования в мировом энергетическом балансе выдвинули такие задачи, как увеличение устойчивых и чистых энергетических сил для региона, определение новых энергетических маршрутов. Исходя из этого, Азербайджан, являющийся одним из важных игроков в обеспечении глобальной и региональной энергетической безопасности, реализует устойчивые проекты, в частности, в области развития возобновляемой энергетики, поддерживает тесную интеграцию с энергетическими системами соседних стран, поддерживает мир, стабильность и безопасность в регион [1, 2, 4].

АР определила долгосрочные цели в отношении энергетической безопасности, в частности, политики «зеленой энергии». Неизменными принципами являются открытое, прозрачное, ориентированное на бизнес и результаты сотрудничество в энергетическом секторе, а также взаимная поддержка. В качестве одного из национальных приоритетов в области социально-экономического развития до 2030 года АР определила превращение в страну «зеленого роста» и достижение чистой окружающей среды. Такая политика обеспечит отличную основу для успешной энергетической трансформации в регионе [2].

Стабильность, экономическое развитие, современная инфраструктура, благоприятная бизнес-среда и большой энергетический потенциал в АР создали широкие перспективы для производства и экспорта возобновляемой энергии. Азербайджан совместно с компаниями, имеющими большой опыт в области энергетики, приступил к реализации крупных проектов, направленных на создание новых мощностей возобновляемых источников энергии. Уже достигнут значительный прогресс в области создания новых генерирующих мощностей на 855 МВт, что еще больше расширяет и укрепляет позиции АР? как нового надежного поставщика энергоресурсов на международные рынки.

Особое значение в этом процессе имеют диверсификация энергоресурсов, декарбонизация, а также увеличение использования природного газа как низкоуглеродного источника энергии. А также у АР есть огромный потенциал солнечной энергии, который в конечном итоге можно использовать для производства водорода [2, 19].

Азербайджан не только присоединяется к обсуждениям, но и принимает практические меры по борьбе с изменением климата и экологическому благополучию планеты. По данным международных организаций, «SOCAR» достигнет декарбонизации в ближайшие 10 лет. Это более короткий срок, чем тот, который установлен для декарбонизации многими другими странами [13].

При поддержке европейских банковских систем ведется работа по разработке водородной стратегии и проекта «Исследование рынка для низкоуглеродной водородной экономики» для АР. Разрабатываемый документ охватывает текущий и будущий спрос, текущее и прогнозируемое производство, анализ затрат на производство водорода, нормативно-правовой и финансовый контекст, а также оценку возможностей экспорта низкоуглеродного водорода на мировой энергетический рынок [18].

Ведется работа по реализации планов, связанных с прокладкой линий электропередач по дну Черного моря, соединяющих Центральную Европу с Азербайджаном. Электрический кабель из АР протянется до Румынии, а затем до Венгрии, а Грузия выступит в качестве транзитной страны. Данный проект однозначно заложит прочный фундамент для сотрудничества в области ВИЭ и обеспечения энергоэффективности между этими странами. В результате сотрудничества в этом четырехстороннем формате будет создан коридор «зеленой энергии». Проект «Зеленым коридором» планирует соединить морские ветряные электростанции Каспийского и Черного морей. Как и «Южный газовый коридор», этот коридор диверсифицирует маршруты энергоснабжения и транзита в европейские страны, придаст новый импульс расширению сотрудничества между странами за счет ресурсов «зеленой энергии». Реализация этих проектов, безусловно, укрепит позиции АР, как проверенного, надежного партнера ЕС, который играет незаменимую роль в обеспечении энергетической безопасности Европы. В целом, Европа полагается на энергию ветра



и солнца, чтобы не только постепенно отказаться от угля к 2030 году, но и постепенно отказаться от производства газа, заменить закрывающиеся атомные электростанции, а также удовлетворить растущий спрос на электроэнергию для электромобилей, тепловых насосов и электролизеров. То есть на наших глазах происходят поистине революционные изменения [4].

В этом контексте необходимо отметить, что в документе «Азербайджан 2030: национальные приоритеты социально-экономического развития» одним из пяти приоритетов является превращение АР в страну с чистой окружающей средой. И действительно, в последние годы в АР правительством проводится работа в этой области, производство «зеленой энергии» и энергии из ВИЭ становится важным, ориентированным на будущее направлением энергетической стратегии страны. Следует отметить, что в АР к 2030 году планируется увеличить долю альтернативной энергетики в общем объеме производства электроэнергии с нынешних 17 % до 30 % [1, 4].

Азербайджан планирует к 2027 году произвести 3 ГВт ветровой и 1,0 ГВт солнечной энергии, 80 % которой будет экспортироваться. А к 2037 году планируется создать дополнительные мощности в размере не менее 6 ГВт. Для интеграции растущей доли возобновляемой энергии необходимы мощные электрические соединительные линии. Именно поэтому линия электропередачи «зеленый коридор» имеет огромное значение [1, 20, 14].

Ведётся работа по оценке возможности строительства солнечной электростанции мощностью 500 МВт в Нахчыванской Автономной Республике. Заложен фундамент новой электростанции мощностью 1280 мегаватт в городе Мингячевир (Азербайджан), к 2025 году планируется вести ее в эксплуатацию, что значительно усилит энергетический потенциал, и в то же время еще больше повысит значение центра электроэнергетики АР. Электростанция мощностью около 1300 МВт значительно усилит потенциал АР, не только удовлетворит внутренний спрос, но и предпримет еще большие шаги в области электроэнергетики и природного газа. Потому что на строящейся новой станции расход условного топлива достаточно низок, и это позволит сэкономить около 1,0 млрд куб м газа в год. Новая электростанция будет отвечать современным стандартам, в значительной степени – на 2 млн тонн – уменьшатся выбросы углекислого газа, и, это таким образом, принесет большую пользу и для окружающей среды. Электроэнергетические мощности, которые АР создаст в течение 1–1,5 года, позволят сэкономить сотни миллионов кубометров природного газа на экспорт [1, 4, 12].

Азербайджан в последние годы в сфере электроэнергетики развивается очень быстро и успешно, и за последние 20 лет в были построены 34 электростанции с генерационной мощностью 3400 МВт, при том, что на сегодняшний день общая мощность генерации страны составляют 7200 МВт.

Таким образом, на фоне текущих процессов Азербайджан как один из важных участников на мировом энергетическом рынке взял на себя важную миссию участие снижения энергетического кризиса в континенте, развитие производство «зелёной энергетики», и благодаря чему, увеличить объём экспортируемой электроэнергии и добиться рост валютных поступлений в государственный бюджет страны.

Список литературы:

1. Гасумов Э.Р. Перспективы производства и транспортировки (экспорта) водорода в Азербайджане // Естественные и технические науки. – 2021. – № 12. – С. 228–232.
2. Азербайджан приступил к реализации крупных проектов по возобновляемой энергии. – URL : <https://caliber.az/ru/post/84065/>
3. Дальновидная политика Президента Азербайджана Ильхама Алиева: наша страна в авангарде революционных перемен. – URL : <https://ncfu.antiplagiat.ru/report/source/105?v=1&source=6>
4. Байгускарова Н.Ш., Сафиуллина А.И. Возобновляемые источники энергии и безопасность // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. – Казань, 2022. – С. 233–236.
5. Гасумов Э.Р. Перспективы развития возобновляемых источников энергии в Азербайджане // Технические и технологические системы : материалы тринадцатой Международной научной конференции. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – С. 189–193.
6. ЕС заинтересован в будущих поставках азербайджанского водорода. – URL : <https://caliber.az/ru/post/57784/>
7. Использование «зеленого» водорода на транспорте / С.С. Белоусов [и др.] // Инновационный транспорт. – 2021. – № 4 (42). – С. 34–38.
8. К вопросу об экономике возобновляющихся источников энергии / К.С. Дегтярев [и др.] // Энергия. Экономика. Техника. Экология. – 2016. – № 10. – С. 10–21.
9. Альтернативная энергетика. – URL : <https://www.promenergotor.com/alternativnaya-energetika>
10. Gasumov E.R. Azerbaijan's participation in the diversification of the gas transport infrastructure of the continent // Scientific Reviews in UNEC. – 2021. – V. 9. – P. 60–70.
11. Выступления Президента АР на заседании Консультативного совета по ЮГК. – URL : <https://report.az/ru/energetika/prezident-azerbajdzhana-prinimaet-uchastie-v-zasedanii-konsultativnogo-soveta-po-yugk/>



12. Соловьёва О. Европа начинает строить «зеленые» водородные коридоры. 11.12.2022.
13. Азербайджан и Европа наращивают сотрудничество в «зеленой» энергетике // Вестник Кавказа. – URL : <https://vestikavkaza.ru/analytics/azerbajdzan-i-evropa-narasivaut-sotrudnicestvo-v-zelenoj-energetike.html>
14. На пути к «зеленому» переходу: как Азербайджан планирует осваивать сферу возобновляемой энергии? 26.10.2021.
15. Азербайджан предложил решения глобальных проблем – к итогам Бакинской энергетической недели. 07. 29.06.2022
16. Ашимов О. Азербайджан укрепляет своё место в новом энергетическом миропорядке. 29.06.2022
17. Попадьюко Н.В., Панков С.В., Попадьюко А.М. Водородная энергетика: этапы развития, проблемы и перспективы // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 1. – С. 293–296.
18. Что еще Азербайджан может предложить Европе? – URL : <https://news.myseldon.com/ru/news/index/266748649>
19. Гасумов Э.Р. По вопросу развития водородной энергетике // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли. Проблемы устойчивого развития территорий. Сборник трудов III Международной научно-практической конференции. – Ставрополь, 2022. – С. 218–224.
20. В Азербайджане будет представлено исследование по разработке и применению водорода. 21.11.2022.

List of references:

1. Gasumov E.R. Prospects of hydrogen production and transportation (export) in Azerbaijan // Natural and Technical Sciences. – 2021. – № 12. – P. 228–232.
2. Azerbaijan began to implement major renewable energy projects. – URL : <https://caliber.az/ru/post/84065/>
3. The far-sighted policy of Azerbaijan President Ilham Aliyev: our country is in the forefront of revolutionary changes. – URL : <https://ncfu.antiplagiat.ru/report/source/105?v=1&source=6>
4. Baiguskarova N.Sh., Safiullina A.I. Renewable energy sources and security // Problems and prospects of power engineering and electrical engineering. Proceedings of IV All-Russian Scientific and Practical Conference. – Kazan, 2022. – P. 233–236.
5. Gasumov E.R. Prospects for Renewable Energy Sources Development in Azerbaijan // Technical and Technological Systems : Proceedings of the Thirteenth International Scientific Conference. – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2022. – P. 189–193.
6. EU interested in future deliveries of Azerbaijani hydrogen. – URL : <https://caliber.az/ru/post/57784/>
7. Use of «green» hydrogen for transport / S.S. Belousov [et.c.] // Innovative Transport. – 2021. – № 4 (42). – P. 34–38.
8. To a question about economy of renewable energy sources / K.S. Degtyarev [et al.] // Energy. Economy. Technique. Ecology. – 2016. – № 10. – P. 10–21.
9. Alternative energy. – URL : <https://www.promenergorg.com/alternativnaya-energetika>
10. Gasumov E.R. Azerbaijan's participation in the diversification of the gas transport infrastructure of the continent // Scientific Reviews in UNEC. – 2021. – V. 9. – P. 60–70.
11. Speeches by the President of the AR at the meeting of the Advisory Council on the SSC. – URL : <https://report.az/ru/energetika/prezident-azerbajdzhana-prinimaet-uchastie-v-zasedanii-konsultativnogo-soveta-po-yugk/>
12. Solovyova O. Europe begins to build «green» hydrogen corridors. 11.12.2022.
13. Azerbaijan and Europe increase cooperation in «green» energy // Vestnik Kavkaza. – URL : <https://vestikavkaza.ru/analytics/azerbajdzan-i-evropa-narasivaut-sotrudnicestvo-v-zelenoj-energetike.html>
14. On the way to green transition: how Azerbaijan plans to develop renewable energy sector? 26.10.2021.
15. Azerbaijan proposed solutions to global problems – the results of the Baku Energy Week. 07. 29.06.2022
16. Ashimov O. Azerbaijan strengthens its place in the new energy world order. 29.06.2022
17. Popadko N.V., Pankov S.V., Popadko A.M. Hydrogen energy: stages of development, problems and prospects. – 2020. – № 1. – P. 293–296.
18. What else can Azerbaijan offer to Europe? – URL : <https://news.myseldon.com/ru/news/index/266748649>
19. Gasumov E.R. On the development of hydrogen energy // Innovative technologies in oil and gas industry. Problems of sustainable development of territories. Proceedings of III International Scientific and Practical Conference. – Stavropol, 2022. – P. 218–224.
20. Research on the Development and Use of Hydrogen in Azerbaijan will be presented. 21.11.2022.



УДК 62-192+62-225+62-226+608.2+533.2+662.767.1+62-531.8+62-714.9+62-714.72

ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО МЕТОДА ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТУРБОСОПЛОВЫХ УСТАНОВОК

APPLICATION OF A NEW METHOD OF GAS COOLING AT COMPRESSOR STATIONS THROUGH THE USE OF TURBOSPLANE INSTALLATIONS

Игнатченко Олег Андреевич

аспирант, ассистент кафедры машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов, Кубанский государственный технологический университет
ignatchenko.oleg2501@outlook.com

Игнатченко Дмитрий Андреевич

студент кафедры «Земледелие», Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина
mr.193rus@mail.ru

Аракелян Алина Григорьевна

магистр кафедры «Психологии и коррекционной педагогики», Ставропольский государственный институт
alya.arakelyan.18@mail.ru

Аннотация. В работе представлена технология для энергосбережения и повышения энергоэффективности ПХГ. В состав ПХГ входят компрессорные станции (КС). На КС компримированный газ охлаждают, в основном, с помощью аппаратов воздушного охлаждения (АВО), на работу которых требуются затраты электроэнергии. Для работы газоперекачивающих агрегатов (ГПА) необходим топливный газ, который проходит процесс снижения давления (редуцирование), затем подогревается в теплообменниках. Тем самым изначальное давление не используется при редуцировании газа, а также существуют определенные затраты на подогрев газа после редуцирования. Повышение эффективности работы ПХГ и КС, в том числе снижение энергозатрат актуальны на сегодняшний день. Для выполнения перечисленных задач предлагается внедрить систему оборудования, включающую турбосопловую установку, теплообменник и радиатор охлаждения.

Ключевые слова: охлаждение, топливный газ, аппарат, подземное хранилище, эффективность.

Ignatchenko Oleg Andreevich

Postgraduate Student, Assistant of the Department of Machinery and Equipment of Oil and Gas Fields, Kuban State Technological University
ignatchenko.oleg2501@outlook.com

Ignatchenko Dmitry Andreevich

The student of the Department of «Agriculture», Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
mr.193rus@mail.ru

Arakelyan Alina Grigorievna

Master of the Department of Psychology and Correctional Pedagogy, Stavropol State Institute
alya.arakelyan.18@mail.ru

Annotation. The paper presents a technology for energy saving and improving the energy efficiency of UGS. The composition of the UGS includes compressor stations (CS). At the CS, the compressed gas is cooled mainly with the help of air cooling devices (ABO), the operation of which requires electricity costs. For the operation of gas pumping units (GPA), fuel gas is required, which undergoes a pressure reduction process (reduction), then is heated in heat exchangers. Thus, the initial pressure is not used during gas reduction, and there are also certain costs for heating the gas after reduction. Improving the efficiency of UGS and CS, including reducing energy costs are relevant today. To perform these tasks, it is proposed to introduce an equipment system including a turbosople unit, a heat exchanger and a cooling radiator.

Keywords: cooling, fuel gas, apparatus, underground storage, efficiency.

П одземные хранилища газа – это часть газотранспортной системы ПАО «Газпром». Объектом исследования является технология охлаждения газа на КС Краснодарского УПХГ. Целью работы является разработка технологии для повышения эффективности охлаждения газа на КС.

В Краснодарском ПХГ каждый год во время периода «закачки газа» происходит транспортировка природного газа из магистрального трубопровода Майкоп-Невинномысск с помощью ГМК МК-8 и МК-8М в пласт-коллектор.

При компримировании газа возрастает его температура, которую снижают с помощью АВО. Аппараты воздушного охлаждения типа 2АВГ-100 «С» используются в Краснодарском УПХГ для охлаждения природного газа после 1 ступени компримирования в период закачки газа, а также в период отбора. Для охлаждения газа после 2 ступени компримирования используются аппараты воздушного охлаждения АВГ-160.

Расход энергии на охлаждение компримированного газа может составлять 60–70 % общего энергопотребления на транспорт газа. Таким образом, разработка новых технологий для повышения эффективности охлаждения газа на КС – один из основных факторов экономии топливно-энергетических ресурсов и снижения себестоимости транспорта газа. [1]



Для работы компрессоров ГМК необходим топливный газ. Подача газа для ГМК осуществляется путём отбора его из коллекторов всасывания первой ступени компрессорных цехов, после чего газ поступает в пункты редуцирования топливного газа (ПРТГ). [2]

Для повышения эффективности охлаждения газа на КС и уменьшения электрического оборудования предлагаю технологию выработки крутящего момента за счет энергии топливного газа в ПРТГ КЦ. [3]

Для реализации этой технологии предлагаю установку, функцией которой является использование потенциальной энергии топливного газа для охлаждения технологического, которая получила название «турбосопловая установка» (ТСУ). [4]

ТСУ состоит из корпуса 1, трубопровода питания 2, приёмной ёмкости 3, вала-коллектора 4, перегородки 5, сопел 6, зубчатого венца 7, подшипника 8, лопастного вентилятора 9, теплообменника 10, байпасной линии 11, радиатора охлаждения 12 (рис. 1).

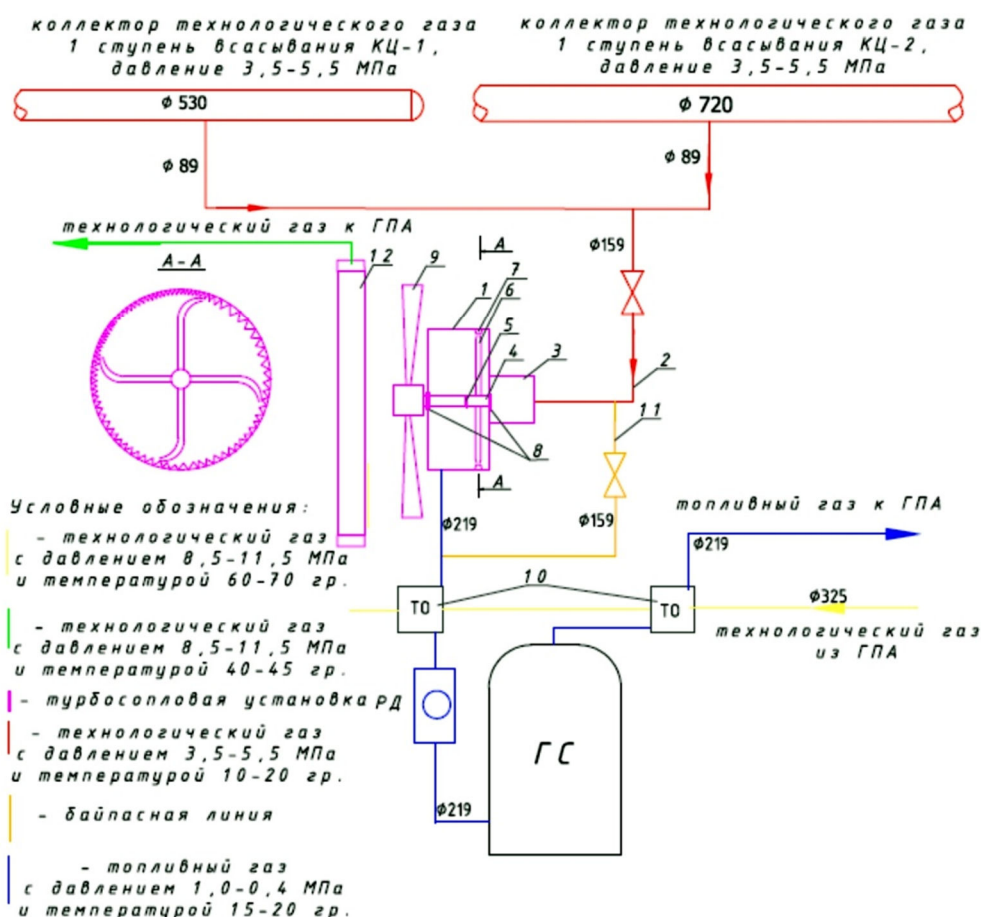


Рисунок 1 – Технологическая схема работы турбосопловой установки

Важную роль в ТСУ выполняет вал-коллектор, который служит одновременно приемным коллектором, также распределяет газ между соплами, в добавок к этому служит валом для передачи вращательной энергии на расположенный снаружи вентилятор. На вал-коллектор ТСУ смонтированы 4 сопла, имеющих изгиб в 45 градусов. После выхода топливного газа из сопел, он движется через выкидное отверстие в корпусе установки и далее уже с давлением, используемым для вращения вала, от 0,4 МПа до 3,5 МПа поступает в теплообменник № 1, затем на регуляторы давления ПРТГ для необходимого «доредуцирования» до давления 0,39 МПа. После чего газ поступает в газосепаратор, затем в теплообменник № 2 и далее в топливный коллектор ГМК для работы двигателя.

Тем временем вал, под действием энергии газа, вращается и передает энергию на расположенный снаружи лопастной вентилятор типа ГАЦ-50-4М2, который в свою очередь воздушным потоком охлаждает трехходовой шестирядный радиатор охлаждения с биметаллическими трубками.

В данной работе произведен расчет необходимого диаметра сопел – 20 мм, а также диаметра вала-коллектора 89 мм и диаметра выходной линии – 219 мм для обеспечения работы оборудования в Краснодарском УПХГ. [5]

Научная новизна заключается в использовании энергии топливного газа для выработки крутящего момента на вал ТСУ, расчета термических характеристик газа и оборудования, выполнении расчета узлов и деталей ТСУ исходя из заданного расхода газа и его характеристик, исследование потока газа через сопла ТСУ и выбор оптимальных углов изгиба и сужения сопел установки.



Технико-экономическое обоснование проектных решений – в таблице 1.

Таблица 1 – Затраты на работу АВО и внедрение ТСУ

Мощность одного вентилятора АВО газа, кВт	37
Среднее количество вентиляторов, находящихся в работе, шт.	15
Время работы АВО за сезон, сут.	90
Стоимость 1 кВт/ч, руб.	3,37
Затраты на модернизацию схемы топливоподачи, млн руб.	5
Стоимость установки ТСУ с ЗРА и трубопроводной обвязкой, млн руб.	20

Потребляемая энергия за 90 суток или один сезон закачки газа составит 1 млн 138 тыс. кВт/ч. Затраты на электроэнергию турбосопловой установки равны нулю. Дополнительная прибыль компании ПАО «Газпром» за сезон составит 3 млн 837 тыс. руб. Срок окупаемости проекта с внедрением на Краснодарское ПХГ составит 6,5 сезона. А при проектировании новой КС с предлагаемым техническим решением, тогда срок окупаемости составит – 3 сезона. Внедрение ТСУ возможно на компрессорных станциях с газоперекачивающими агрегатами и газотурбинными установками, работающими на метане.

Выводы: предложена установка, позволяющая осуществлять непрерывное охлаждение газа на полную мощность, без потребления электроэнергии в отличие от существующих метод и способов охлаждения газа. Разработан рациональный способ использования энергии топливного газа.

Список литературы:

1. Омелянюк М.В., Пахлян И.А., Бондаренко Л.Ю. Энергосбережение при эксплуатации АВО газа // Сборник тезисов по материалам международной конференции «Наука и технологии в нефтегазовом деле». – 2018. – С. 175–177.
2. Колпакова Н.В. Газоснабжение : учебное пособие / науч. ред. Н.П. Ширяева; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.
3. Ивановский В.Н., Мерициди И.А., Куликова И.С. Оборудование для сбора и подготовки газа на промыслах : учебное пособие. – М. : Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. – 421 с.
4. Хоменко А.С., Волон А.Г., Чернов С.К. Турбодетандеры и оборудование компрессорных станций. Ч. 1 : учебное пособие. – ХАИ, 2005. – 64 с.
5. Сидягин А.А., Косырев В.М. Расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения : учеб. пособие. – Н. Новгород : НГТУ, 2009. – 150 с.

List of references:

1. Energy saving during the operation of the gas pumping station // Proceedings of the international conference «Science and Technology in the oil and gas business». – 2018. – P. 175–177.
2. Kolpakova N.V. Gas supply : textbook / scientific ed. by N.P. Shiryayeva; Ministry of Education and Science of Russia. Federation, Ural. fed. university. – Yekaterinburg : Ural. Univ. ed., 2014. – 200 p.
3. Ivanovsky V.N., Meritsidi I.A., Kulikova I.S. Equipment for gas collection and preparation at fields : tutorial. – M. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2014. – 421 p.
4. Khomenko A.S., Volov A.G., Chernov S.K. Turbodetanders and compressor station equipment. P. 1 : Tutorial. – KAI, 2005. – 64 p.
5. Sidyagin A.A., Kosyrev V.M. Calculation and design of air-cooling devices: textbook. – N. Novgorod : NSTU, 2009. – 150 p.



УДК 621.6

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ БЕЗОПАСНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ВИДЕ ГАЗОВОГО ГИДРАТА

INNOVATIVE METHODS OF SAFE TRANSPORTATION OF NATURAL GAS IN THE FORM OF GAS HYDRATE

Смолякова Олеся Евгеньевна

студент,
Дальневосточный федеральный университет
Olesi01@bk.ru

Smolyakova Olesya Evgenievna

Student,
Far Eastern Federal University
Olesi01@bk.ru

Аннотация. Рост мирового спроса на энергетическое сырье практически безвариантно создает не только потребность развития сектора альтернативной энергетики, а также – потребность усовершенствования и оптимизации существующих технологий добычи, переработки и транспортировки. Природный газ является одним из основных энергетических ресурсов, а также химическим сырьем. С каждым годом возрастает потребность в разработке экономически эффективных и бесперебойных систем поставки газа от малых и средних месторождений. В различных условиях транспортировка по трубопроводам или в сжиженном виде нецелесообразна в связи с нерентабельностью, следовательно, существует необходимость поиска альтернативного способа транспорта и хранения газа. Данная статья посвящена обзору современных безопасных методов транспортировки природного газа с применением газогидратных технологий.

Ключевые слова: природный газ, транспорт газа, газовый гидрат, газогидратные пеллеты.

Annotation. The growth of global demand for energy raw materials practically invariantly creates not only the need for the development of the alternative energy sector, but also the need to improve and optimize existing technologies for extraction, processing and transportation. Natural gas is one of the main energy resources, as well as chemical raw materials. Every year there is an increasing need to develop cost-effective and uninterrupted gas supply systems from small and medium-sized fields. In various conditions, transportation by pipelines or in liquefied form is impractical due to unprofitability, therefore, there is a need to find an alternative method of transportation and storage of gas. This article is devoted to the review of modern safe methods of natural gas transportation using gas hydrate technologies.

Keywords: natural gas, gas transportation, gas hydrate, gas hydrate pellets.

Природный газ является одним из основных энергетических ресурсов, а также химическим сырьем. Как правило, природный газ транспортируется по трубопроводам или на судах в виде сжиженного природного газа (далее СПГ). Известно, что из-за дороговизны заводов системы транспортировки СПГ были приняты только для очень крупных газовых месторождений [1].

Следовательно, существует необходимость поиска альтернативных способов транспорта и хранения газа. Таким, на перспективу, является транспортировка в газогидратном виде.

Газовые гидраты – это клатраты, которые образуются из 2-х фаз, одна из которых – вода (или ее агрегатные состояния), а вторая фаза – индивидуальный газ или многокомпонентная смесь газов. Гидраты могут удерживать большое количество газа: в идеальном случае, при нормальной температуре и давлении, один кубический метр гидрата метана состоит из 0,8 м³ воды, заключающей в себе до 164 м³ газа метана (около 110 кг) [2, 3].

Стабилизация газогидратных структур обеспечивается за счет Ван-дер-Ваальсовых сил притяжения. Так, газовые гидраты образуют многие газы, летучие органические жидкости, а также их двойные и многокомпонентные смеси (Ar, N₂, O₂, CH₄, C₂H₆, C₃H₈, и -C₄H₁₀, C₂H₄, CO₂, H₂S, SO₂, Cl₂, Br₂, CS₂, галогенпроизводные углеводородов C1-C4, линейные и циклические простые эфиры, кетоны и т.д.).

Кристаллический каркас газогидратов может быть представлен в виде комбинации разделяющих граней полиэдрических полостей, вершины которых заняты атомами кислорода молекул воды, а края образованы водородными связями. Углы между водородными связями может варьироваться от 90° до 120°, но в большинстве случаев они близки к тетраэдрическим углам. Структура газовых гидратов полиэдрических полостей и кристаллографические параметры каркасов гидратов представлены на рисунке 1 и в таблице 1, соответственно.

Природный газ в основном состоит из легких углеводородов с небольшим присутствием неуглеводородных примесей. Компоненты природного газа, такие как метан CH₄, этан C₂H₆, пропан C₃H₈, сероводород H₂S являются первичными гидратообразователями структур типа KC- I и KC- II. Углеводороды C₅+ не образуют газогидраты.

В зависимости от состава газовой смеси, компоненты которой участвуют в процессе гидратообразования, могут образовываться как простые, так и смешанные газовые гидраты, которые описываются следующими стехиометрическими уравнениями (1 – для простых газогидратов; 2 – для смешанных):



$$M \cdot nH_2O, \tag{1}$$

$$M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_i \cdot nH_2O, \tag{2}$$

где M, M_1, M_2, \dots, M_i – молекулы гидратообразователя; n – гидратное число, для КС-I $n = 5,75 \dots 7,67$, для КС-II $n = 5,75 \dots 17$.

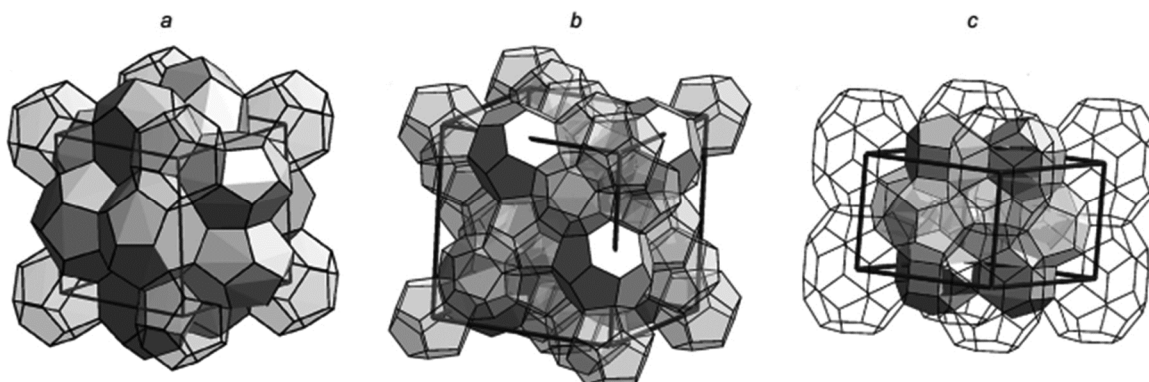


Рисунок 1 – Схематичные изображения структур газовых гидратов [4, 5]: а) кубическая I (КС-I); б) кубическая II (КС-II); в) гексагональная III (ГС-III)

Таблица 1 – Характеристика наиболее часто встречающихся структур газовых гидратов [6, 4]

Структура	Элементарная ячейка			Размер гостевой молекулы, Å	Некоторые примеры гостевых молекул
	Кристаллографическая группа	Формула	Параметры, Å		
КС-I	$Pm\bar{3}n$	$6 T \cdot 2 D \cdot 46 H_2O$	$a = 12,0$	4,3–5,8	$H_2S, CH_4, CO_2, C_2H_6, Xe$
КС-II	$Fd\bar{3}m$	$8 H \cdot 16 D \cdot 136 H_2O$	$a = 17,1$	3,5–4,2, 5,8–7,2	$Ar, Kr, O_2, N_2, SF_6, C_3H_8$
ГС-III	$P6/mmm$	$E \cdot 2 D' \cdot 3 D \cdot 34 H_2O$	$a = 12,3, c = 10,2$	7,2–9,0	CH_4, Xe

Перспективность применения данной технологии обуславливается простотой транспортировки газа в виде газогидратных пеллет (гранул/таблеток) более низкими затратами и безопасностью в сравнении с известными способами транспортировки в компримированном и сжиженном видах. Повышение эффективности транспортировки гидратов обеспечивается путем регулирования и совмещения разных размеров пеллет. Данный способ позволяет хранить газогидраты при атмосферном давлении.

Технология производства газогидратных пеллет такова: полученный гидрат в порошковом состоянии с помощью скребок попадает в таблетирующее устройство, где под прессом приобретает различные размеры и форму как показано на рисунке 2.

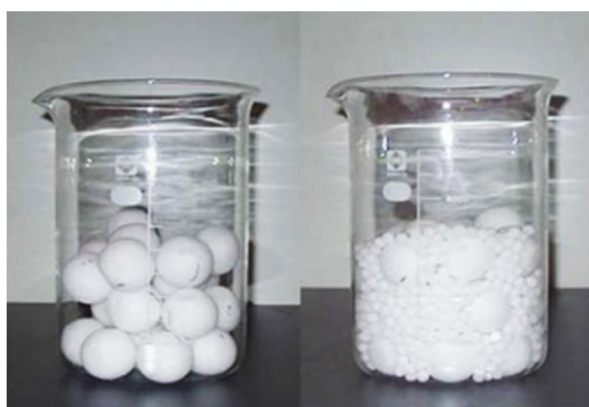


Рисунок 2 – Газогидратные пеллеты (диаметр 5 и 20 мм) [7]

Гранулы твердого газа – экономичный и перспективный способ хранения и транспортировки этого углеводорода. Для транспортировки требуются температуры в районе минус 15–20 градусов и атмосферное давление. В таком виде он может перевозиться в обычном холодильнике. На месте при оттаивании – газ выделяется и поступает к месту использования.



Хранение и транспортировка природного газа в клатратных гидратах является многообещающей благодаря ряду преимуществ:

- процесс образования клатратного гидрата является экологически безопасным, так как для синтеза используются только вода и природный газ (а также промоторы при необходимости);
- метан хранится в соответствующей молекулярной форме;
- умеренные условия температуры и давления, требуемые для процессов производства и хранения;
- высококомпактный способ хранения с относительно высоким содержанием энергии на единицу объема;
- безопасный способ хранения благодаря невзрывоопасной природе гидратов.

Технология гидратов природного газа является самым безопасным вариантом хранения и транспортировки. Природный газ, хранящийся в гидратах, может высвободиться невзрывоопасным образом и может быть легко локализован даже в случае воспламенения, в отличие от традиционных способов хранения природного газа. При диссоциации гидратов высвобождается вода и газ, образующаяся вода уменьшает взрывной характер газа, в отличие от СПГ или КПГ (компримированный природный газ), которые подвержены взрыву при воспламенении. Одно и то же гидратообразующее вещество можно использовать несколько раз. А значит, снижаются выбросы в окружающую среду.

На сегодняшний день известны следующие методы производства искусственных гидратов природного газа [8]:

- механическое перемешивание жидкой фазы и газовой;
- перемешивание посредством барботажа газовой фазы в жидкую;
- мелкодисперсное распыление водяной струи в атмосфере газа.

Имеются предпосылки для разработки методов непрерывного синтеза газогидратов, не требующих высоких энергозатрат в технологическом цикле производства. Однако, все разработанные методы на данный момент предполагают многостадийное производство конечного продукта.

Основным недостатком большинства динамических методов, основанных на перемешивании фаз, является малая скорость гидратообразования, что ведет к низкой производительности установок и, как следствие, к повышению энергозатрат. Для интенсификации процесса возможно комбинирование методов, а также применение дополнительных физических воздействий на процесс гидратообразования.

Немецкие ученые Gregor Rehder и др. предложили непрерывную схему получения газового гидрата, основанную на принципе механического перемешивания с использованием формовочных прессов. Схема состоит из реактора непрерывного перемешивания (далее CSTR), устройств дегидратации, гранулирования, охлаждения. Авторы отметили, что внедрение газогидратных технологий в промышленность требует непрерывности процесса и малой энергозатратности, потому для больших объемов производств подходит именно реактор CSTR, но обязательно в сочетании с другими способами для ускорения процесса гидратообразования. Сам же способ непрерывного перемешивания используют только в лабораторных исследованиях как самый простой [9].

М. Педченко и Л. Педченко в своем патенте предложили грануляцию гидратов уже после охлаждения, для повышения плотности, стабильности и механической прочности гидратных пеллет (на основе эффекта «самоконсервации») и предложили технологическую схему опытного производства и гранулирования газогидратных пеллет производительностью 20 тыс. м³ газа/сутки (140 тонн в сутки гидрата). Авторы считают, что их метод может быть использован для промышленного получения газогидратов.

Перспективной в нашей стране, но недостаточно исследованной газогидратной технологией является способ получения газогидратов при термоциклировании в стандартных условиях (без воздействий извне), запатентованный Семеновым М.Е. [10].

Главная особенность изобретения – использование естественного холода, поэтому технология подходит для использования только в пределах районов Арктики.

Ученые из Тюменского института криосферы Земли разработали способ получения газовых гидратов при помощи диоксида кремния. Ингредиенты перемешивают, порошок диоксида кремния облепляет каждую молекулу H₂O. На выходе получается сухая вода. В реакторе в нее нагнетают газ, замораживают и получают газовый гидрат. Газ, который непосредственно нужен конечному потребителю, выделяется при таянии гидрата. Превращение происходит в десятки раз быстрее и эффективнее, чем с использованием воды в жидком виде. [11]

Данная технология даже не потребует строительства отдельной инфраструктуры, под нее можно адаптировать уже существующую базу. Особенно востребован гранулированный газ будет в условиях вечной мерзлоты и других областях, в которых сложно строить трубопроводы.

В таблице 2 приведен сравнительный анализ приведенных способов получения газогидратов по основным критериям, определенным исходя из необходимости внедрения технологии в промышленность. Наиболее важным для промышленности критерием сравнения является возможность обеспечения непрерывности процесса.

Кроме того, важно понимать, что внедрение технологии в промышленность следует осуществлять только после ее успешного практического применения на пилотных установках.



Таблица 2 – Сравнительный анализ рассмотренных способов получения газогидратов

Критерии	Способы получения газогидратов			
	Непрерывное перемешивание	Непрерывное перемешивание + барботаж	Распыление фаз	Термоциклирование при статических условиях
Скорость синтеза	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая
Непрерывность процесса	+	+	– Остановки из-за закупоривания	– Требуется загрузка льда в реактор
Увеличение площади межфазного взаимодействия	Низкое	Высокое	Высокое	Высокое
Простота устройства	Сложная конструкция	Сложная конструкция	Простая конструкция (за счет отсутствия подвижных элементов)	Простая конструкция (за счет отсутствия подвижных элементов)
Эффективность при масштабировании	Низкая	Высокая	Сравнительно высокая	Низкая

Способ транспорта природного газа в виде газогидратных пеллет обладает достаточными преимуществами в связи со сравнительно низкими затратами и энергопотреблением при определенных условиях объема продукта и транспортного расстояния.

Современный научно-технический уровень позволяет использовать данную технологию, однако все еще существует ряд проблем, которые предстоит решить перед ее внедрением на предприятиях отрасли.

Некоторыми из них являются:

- длительный индукционный период;
- низкая скорость роста;
- невысокая степень перехода воды в газовый гидрат.

Учитывая все вышесказанное, можно сделать вывод о необходимости более глубокого изучения процесса синтеза гидратов, а также оптимизации существующих способов их получения.

Список литературы:

1. Kim K., Kang H., Kim Y. Risk Assessment for Natural Gas Hydrate Carriers: A Hazard Identification (HAZID) Study // *Energies*. – 2015. – № 8. – P. 3142–3164. [Electronic resource]. – URL : <https://www.mdpi.com/1996-1073/8/4/3142>
2. Семенов М.Е., Портнягин А.С., Шиц Е.Ю. Получение синтетических гидратов природного газа из льда в закрытых реакторах при термоциклировании // *Наука и образование*. – 2017. – № 3. – С. 76–81.
3. Cheng Z., Wang S., Xu N. Quantitative analysis of methane hydrate formation in size-varied porous media for gas storage and transportation application // *Fuel*. – 2021. – № 301. – P. 121021.
4. Manakov A.Y., Stoporev A.S. Physical chemistry and technological applications of gas hydrates: topical aspects // *Russian chemical reviews*. – 2021. – № 90(5). – P. 566–600.
5. Structural and Mechanical Stability of Clathrate Hydrates Encapsulating Monoatomic Guest Species / K. Xu [et al.] // *Journal of Molecular Liquids*. – 2021. – № 347. – P. 118391.
6. E. Dendy Sloan Jr., Carolyn A. Koh, Carolyn A. Koh. *Clathrate Hydrates of Natural Gases* : Book – 3rd Edition. – Boca Raton : CRC Press/Taylor & Francis Group, 2008. – 721 p.
7. Nakai S. Development of natural gas hydrate (NGH) supply chain // *Proc. of the 25th world gas conferences*. – 2012. – P. 4–8.
8. Гошовский С.В., Зурьян А.В. Обзор технологий искусственного получения газогидратов // *Геология и полезные ископаемые мирового океана*. – 2019. – № 1(15). – С. 97–114.
9. Rehder G., Eckl R., Elfgem M. Methane Hydrate Pellet Transport Using the Self-Preservation Effect: A Techno-Economic Analysis // *Energies*. – 2012. – № 5(12). – P. 2499–2523.
10. Патент РФ 2714468 С1, 17.02.2020. Способ получения гидратов из природного газа и льда / Патент России № 2714468. 2020 / М.Е. Семенов, А.С. Портнягин, Е.Ю. Шиц.
11. URL : <https://tm-courier.ru/2023/02/09/a-u-nas-snezhnyj-gaz-a-u-vas>

List of references:

1. Kim K., Kang H., Kim Y. Risk Assessment for Natural Gas Hydrate Carriers: A Hazard Identification (HAZID) Study // *Energies*. – 2015. – № 8. – P. 3142–3164. [Electronic resource]. – URL : <https://www.mdpi.com/1996-1073/8/4/3142>



2. Semenov M.E., Portnyagin A.S., Schitz E.Yu. Obtaining synthetic natural gas hydrates from ice in closed reactors by thermocycling // *Science and Education*. – 2017. – № 3. – P. 76-81.
3. Cheng Z., Wang S., Xu N. Quantitative analysis of methane hydrate formation in size-varied porous media for gas storage and transportation application // *Fuel*. – 2021. – № 301. – P. 121021.
4. Manakov A.Y., Stoporev A.S. Physical chemistry and technological applications of gas hydrates: topical aspects // *Russian chemical reviews*. – 2021. – № 90(5). – P. 566–600.
5. Structural and Mechanical Stability of Clathrate Hydrates Encapsulating Monoatomic Guest Species / K. Xu [et al.] // *Journal of Molecular Liquids*. – 2021. – № 347. – P. 118391.
6. E. Dendy Sloan Jr., Carolyn A. Koh, Carolyn A. Koh. *Clathrate Hydrates of Natural Gases* : Book – 3rd Edition. – Boca Raton : CRC Press/Taylor & Francis Group, 2008. – 721 p.
7. Nakai S. Development of natural gas hydrate (NGH) supply chain // *Proc. of the 25th world gas conferences*. – 2012. – P. 4–8.
8. Goshovsky S.V., Zuryan A.V. Review of technologies of artificial production of gas hydrates // *Geology and Mineral Resources of the World Ocean*. – 2019. – № 1(15). – P. 97–114.
9. Rehder G., Eckl R., Elfgem M. Methane Hydrate Pellet Transport Using the Self-Preservation Effect: A Techno-Economic Analysis // *Energies*. – 2012. – № 5(12). – P. 2499–2523.
10. Patent of the Russian Federation 2714468 C1, 17.02.2020. Method of obtaining hydrates from natural gas and ice / Russian patent № 2714468. 2020 / M.E. Semenov, A.S. Portnyagin, E.Yu. Schitz.
11. URL : <https://tm-courier.ru/2023/02/09/a-u-nas-snezhnyj-gaz-a-u-vas>



УДК 622.692.4

РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА ПРИ ОТСТУПЛЕНИИ ОТ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

DEVELOPMENT OF SOLUTIONS TO ENSURE THE SAFETY OF THE MAIN OIL PIPELINE IN CASE OF DEVIATION FROM THE DESIGN STANDARDS

Федорин Денис Андреевич

аспирант кафедры транспорта и хранения нефти и газа,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
fedorin.denis.1@yandex.ru

Бахтизин Рамиль Назифович

доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры транспорта и хранения нефти и газа,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
ramil_bahtizin@mail.ru

Аннотация. Проектирование таких объектов капитального строительства, как магистральных нефтепроводов, должно выполняться в строгом соблюдении требований действующих нормативно-технических документов (НТД). Однако, стоит отметить, что соблюдение всех требований НТД при проектировании не всегда представляется возможным ввиду наличия различных осложняющих факторов. Авторами данной статьи рассмотрены конкретные случаи отступления от норм проектирования, а также разработаны решения, направленные на обеспечение безопасности магистрального нефтепровода при его реконструкции с нарушением предписанных действующим законодательством требований. Достаточность разработанных решений доказана путем выполнения по утвержденной методике МЧС России расчетов, направленных на оценку пожарного риска.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, проектирование, реконструкция, отступление от норм проектирования, компенсирующие мероприятия.

Fedorin Denis Andreevich

postgraduate of the Department
Transportation and Storage of Oil and Gas,
Ufa State Petroleum Technological University
fedorin.denis.1@yandex.ru

Bahtizin Ramil Nazifovich

Dr. Sci. (Phys.-Math.), professor,
professor of the Department Transportation
and Storage of Oil and Gas
Ufa State Petroleum Technological University
ramil_bahtizin@mail.ru

Annotation. The design of capital construction projects such as oil trunk pipelines must be carried out in strict compliance with the requirements of the current regulatory and technical documents (NTDs). However, it is worth noting that compliance with all the requirements of the NTD in the design is not always possible due to the presence of various complicating factors. The authors of this article have considered specific cases of deviation from the design standards, as well as developed solutions aimed at ensuring the safety of the main oil pipeline during its reconstruction in violation of the requirements prescribed by current legislation. The sufficiency of the developed solutions is proved by performing calculations based on the approved methodology of the Ministry of Emergency Situations of Russia aimed at assessing fire risk.

Keywords: oil trunk pipeline, design, reconstruction, deviation from design standards, compensating measures.

Актуальность данной работы заключается в разработке в соответствии с [1–4] компенсирующих отступление от норм проектирования мероприятий, направленных на обеспечение необходимого уровня безопасности.

На текущий момент времени и в обозримом будущем основным способом транспортировки подготовленной нефти на дальние расстояния является использование магистральных нефтепроводов (МН). Перекачиваемый по ним флюид подвержен высокой вероятности возникновения таких аварийных ситуаций как возгорание и взрыв. В связи с чем, обеспечение достаточного уровня безопасности МН является ключевой задачей проектирования новых и реконструкции существующих систем трубопроводного транспорта. Выполнение данной задачи возможно только при строгом соблюдении всех предписанных норм и правил проектирования, отображенных в действующих нормативно-технических документах (НТД) [5–10], но это не всегда представляется возможным ввиду наличия различных осложняющих проектирование факторов.

Рассматриваемым объектов в данной статье является МН имеющий следующие характеристики:

- 1) внешний диаметр – 1020 мм;
- 2) толщина стенки трубопровода – 14 мм;
- 3) проектная пропускная способность – 47,5 млн т/год;
- 4) уровень ответственности – повышенный.

Реконструкция указанного выше нефтепровода предусматривается с целью повышения надежности при дальнейшей его эксплуатации и снижения вероятности возникновения аварийной ситуации.



Анализируя трассу трубопровода, были выявлены отступления от норм проектирования. Сведем их, а также послужившие этому причины в таблицу 1.

Таблица 1 – Перечень отступлений от требований НТД и причины их осуществления

№	Отступление	Причина
1	п. 7.15 (п. 1 таблицы 4) [7] в части несоблюдения минимально допустимого расстояния от оси проектируемого МН до границ сельскохозяйственного предприятия (сближение до 7 м)	Отсутствие альтернативных вариантов прокладки
2	п. 7.22 [7] в части прокладки МН DN1000 на расстоянии менее 1000 м от населенных пунктов Поповка, Первомайское, Подборье и Хлебороб на отметках выше населенного пункта без устройства защитных сооружений на участках	Отсутствие альтернативных вариантов прокладки
3	п. 7.15 (п. 10 таблицы 4) [7] в части несоблюдения минимально допустимого расстояния от оси проектируемого МН до пруда (сближение до 60 м)	Отсутствие альтернативных вариантов прокладки
4	п. 7.15 (п. 10 таблицы 4) [7] в части несоблюдения минимально допустимого расстояния от оси проектируемого МН до реки (сближение до 8 м)	Отсутствие альтернативных вариантов прокладки

Как видно по таблице 1, все отступления от требований НТД вызваны отсутствием альтернативных вариантов прокладки трассы трубопровода. Однако, стоит отметить, что причины могут быть различными, например, ограничение размещения защитного сооружения по из-за рельефа местности, наличие водоохранных зон и прибрежно-защитных полос водных преград, наличие большое количество инженерных коммуникаций сторонних собственников, развитие населенных пунктов и, в связи с этим смещение их границ. Иначе можно сказать, что отсутствие альтернативных вариантов прокладки невозможно ввиду наличия территориальной стесненности.

Для разработки компенсирующих мероприятий определим основные сценарии возможных аварий и вероятности их возникновения. Для этого воспользуемся утвержденным МЧС России методом логических деревьев событий [11]. Составленные «деревья событий» представлены на рисунках 1–3.

Разработка компенсирующих мероприятий

Для случаев в представленных выше «деревьях событий», а также для обеспечения необходимого уровня безопасности МН и компенсаций отступлений, представленных в таблице 1 были разработаны следующие компенсирующие мероприятия:

- 1) категория трубопровода должна быть принята В;
- 2) толщину стенки трубопровода принять:

- не менее 16 мм на участке прокладки трубопровода методом ННБ (увеличение на 33,33 % относительно минимальной толщины стенки для магистрального трубопровода с номинальным диаметром DN 1000, определенной в соответствии с требованиями п. 12.3 [7] – 12 мм).

- не менее 14 мм на остальных участках действия СТУ (увеличение на 16,67 % относительно минимальной толщины стенки для магистрального трубопровода с номинальным диаметром DN 1000, определенной в соответствии с требованиями п. 12.3 [7] – 12 мм).

Частичное разрушение емкости с двухфазной смесью, Большой расход (>50 кг/с)



Рисунок 1 – Типовое дерево событий при аварии на магистральном трубопроводе с нефтью под давлением, инициируемой в результате частичного разрушения трубопровода (большой расход истечения, тип разгерметизации «свищ»)



Частичное разрушение емкости с двухфазной смесью,
Большой расход (>50 кг/с)



Рисунок 2 – Типовое дерево событий при аварии на магистральном трубопроводе с нефтью под давлением, инициируемой в результате частичного разрушения трубопровода (большой расход истечения, тип разгерметизации «трещина»)

Полное разрушение емкости
с двухфазной смесью



Рисунок 3 – Типовое дерево событий при аварии на магистральном трубопроводе с нефтью под давлением, инициируемой в результате полного разрушения оборудования (тип разгерметизации «гильотинный» разрыв)

3) применение труб классом прочности K56 по [12] из низколегированной стали контролируемой прокатки с минусовым допуском по толщине стенки не более 5 % со следующими свойствами:

- временное сопротивление (предел прочности) – 550 МПа;
- предел текучести – 410 МПа;

– значение эквивалента углерода, характеризующего свариваемость трубной стали, не должно превышать 0,42.

4) применение дублирующего контроля радиографическим методом 100 % всех сварных соединений трубопровода застройщиком или сторонней независимой лабораторией, нанятой застройщиком, в присутствии специалиста строительного контроля;

5) устройство противофильтрационного экрана из геомембраны по дну и боковым откосам траншеи проектируемого МН на участках траншейной прокладки;

6) установка опознавательных знаков в пределах прямой видимости на расстоянии не более 500 м.

Определение расчетных величин пожарного риска на объекте

Для определения достаточности разработанных компенсационных мероприятий необходимо определить расчетные величины пожарного риска МН в соответствии со статьей 6 [1]. Расчеты проведем по методикам, представленным в нормативно-правовых актах [11, 13]. Согласно данных методик, для количественной оценки риска аварийных ситуаций для людей, в случае МН, выступающего в качестве объекта защиты необходимо определить потенциальные, индивидуальные и социальные риски.



Величина потенциального пожарного риска $P(a)$ (год^{-1}) в определенной точке (a) как на территории, так и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) \cdot Q_j, \quad (1)$$

где J – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий); $Q_{dj}(a)$ – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному иницирующему аварии событию; Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год^{-1} .

Условные вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ определялись по значениям пробит-функций.

При проведении расчета риска рассмотрены различные пожароопасные ситуации, определены зоны поражения опасными факторами пожара, взрыва и частоты реализации указанных пожароопасных ситуаций. Территория разделена на зоны, внутри которых величина $P(a)$ рассчитывалась с точностью 3 м (по каждой координате).

Оценка условной вероятности поражения человека проводилась с учетом совместного воздействия более чем одного опасного фактора.

Условная вероятность поражения человека $Q_{dj}(a)$ от совместного независимого воздействия несколькими опасными факторами в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций определялась по формуле:

$$Q_{dj}(a) = 1 - \prod_{k=1}^h (1 - Q_k \cdot Q_{djk}(a)), \quad (2)$$

где h – число рассматриваемых опасных факторов; Q_k – вероятность реализации k -го опасного фактора; $Q_{djk}(a)$ – условная вероятность поражения k -ым опасным фактором.

Максимальным значением, полученным в результате вычисления величины потенциального пожарного риска, является $1,58 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$.

Индивидуальный пожарный риск для работников объекта оценивается частотой поражения определенного работника объекта опасными факторами пожара в течение года.

Величина индивидуального риска R_m (год^{-1}) для работника при его нахождении на территории объекта определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} \cdot P(i), \quad (3)$$

где $P(i)$ – величина потенциального риска в i -ой области, год^{-1} ; q_{im} – вероятность присутствия работника m в i -ой области; I – число областей.

Наиболее рискованными группами людей, попадающими в зону действия поражающих факторов, являются:

- персонал, обслуживающий проектируемый участок МН (около 2 часов в сутки);
- персонал сторонних организаций (третьи лица), обслуживающий инженерные коммуникации, проходящие в одном техническом коридоре с проектируемым участком МН (около 2 часов в сутки);
- персонал строителей при проведении работ по строительству проектируемого объекта (во время проведения СМР продолжительность нахождения около 8 часов в сутки);
- водители и пассажиры автотранспортных средств на пересекаемой автодороге (при длине участка дороги, попадающего в зону потенциального риска от проектируемых объектов около 300 м и скорости движения 50 км/ч ориентировочное время нахождения не более 1 мин.).

Максимальным значением, полученным в результате вычисления величины индивидуального пожарного риска, является:

- для обслуживающего персонала – $1,26 \cdot 10^{-9}$;
- для персонала сторонних организаций – $1,26 \cdot 10^{-9}$;
- для строителей – $2,46 \cdot 10^{-9}$;
- для водителей и пассажиров автобусов – $1,11 \cdot 10^{-11}$.

Величина социальных пожарных рисков в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в ближайшей жилой застройке равна 0, поскольку зоны рекреационного назначения, а также жилые и общественно-деловые зоны не попадают в зону действия поражающих факторов.



Выводы

Имея актуальную проблему отступления от требований действующих НТД, авторами были разработаны компенсирующие данные отступления мероприятия. Достаточность разработанных решений была доказана путем выполнения расчетов по оценке пожарного риска. Все полученные значения расчетных величин пожарных рисков не превышают максимально допустимые значения, приведенные в [1]. С учетом рельефа местности, а также разработанных мероприятий при возникновении аварий на рассматриваемых участках МН разлив нефти не достигнет территории населенных пунктов. Таким образом, пожарная безопасность МН считается обеспеченной.

Представленная в данной статье информация носит как теоретическую, так и практическую ценность для работников нефтяной отрасли, связанных с как с проектированием, так и со строительством МН.

Список литературы:

1. Федеральный закон № 123. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». ФЗ № 123 от 22.07.2008 // Собрание законодательства РФ. – 2008.
2. Постановление Правительства РФ № 87 «О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию». Постановление Правительства РФ № 87 от 16.02.2008 (ред. от 01.12.2021), 2021 г.
3. Федеральный закон № 384. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». ФЗ № 384 от 30.12.2009 // Собрание законодательства РФ. – 2009.
4. Приказ министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ № 734/пр. «Порядок разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства» от 30.11.2020. Зарегистрировано в Минюсте России 18 декабря 2020 г. № 61581. Редакция от 22.10.2021.
5. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2006. – 96 с.
6. ГОСТ Р 12.3.047-2012. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. – М. : Стандартинформ, 2014. – 86 с.
7. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*. – М. : Госстрой, ФАУ «ФЦС», 2013. – 88 с.
8. Приказ Ростехнадзора № 306. «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности. Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта». Приказ Ростехнадзора от 15.07.2013 № 306. Зарегистрировано в Минюсте России 20 августа 2013 г. № 29581. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Редакция от 12.07.2018 – действует с 04.10.2018.
9. ФНИП «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» от 15 декабря 2020 года № 534, 2020 г.
10. Федеральный закон № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» (в редакции от 24.04.2020). ФЗ № 256 от 21 июля 2011 г. Собрание законодательства РФ. – 2020.
11. «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 17 августа 2009 г. Регистрационный N 14541) утвержденная Приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 (с изменениями).
12. ГОСТ 31447-2012. Трубы стальные сварных для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2013. – 37 с.
13. Постановление Правительства РФ № 1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска». Постановление Правительства РФ № 1084 от 22.07.2020, 2020 г.

List of references:

1. Federal Law No. 123. «Technical Regulations on Fire Safety Requirements». Federal Law No. 123 of 22.07.2008 // Sbranie zakonodatelstva RF. – 2008.
2. Decree of the Government of the Russian Federation № 87 "On the composition of sections of design documentation and requirements for their content. Decree of the RF Government № 87 of 16.02.2008 (revised on 01.12.2021), 2021.
3. Federal Law No. 384. «Technical regulation on safety of buildings and constructions». FZ № 384 from 30.12.2009 // Collection of Legislation of RF. – 2009.
4. Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation № 734/pr. «The order of development and approval of special technical conditions for the development of design documentation for the object of capital construction» from 30.11.2020. Registered with the Russian Ministry of Justice on December 18, 2020 № 61581. Revision of 22.10.2021.



5. GOST 12.1.004–91. SSBT. Fire safety. General requirements. – М. : Standardin-form, 2006. – 96 p.
6. GOST P 12.3.047–2012. SSBT. Fire safety of technological processes. General requirements. Control methods. – М. : Standardinform, 2014. – 86 p.
7. SP 36.13330.2012. Main pipelines. Revised edition of SNiP 2.05.06–85*. – М. : Gosstroj, Federal Autonomous Establishment «FTSS», 2013. – 88 p.
8. Order of Rostekhnadzor No 306. «On Approval of Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety. General requirements for justification of safety of hazardous production facility». Order of Rostekhnadzor of 15.07.2013 No. 306. Registered in the Ministry of Justice of Russia on August 20, 2013 № 29581. Federal Service for Ecological, Technological and Atomic Supervision. Revision of 12.07.2018 – in force from 04.10.2018.
9. FNIP «Safety Rules in the Oil and Gas Industry» dated December 15, 2020, No. 534, 2020.
10. Federal Law No. 256-FZ «On Safety of Fuel and Energy Complex Facilities» (as amended on 24.04.2020). FZ No. 256 of July 21, 2011. Collection of Laws of the Russian Federation. – 2020.
11. «Methods of calculation of fire risk in production facilities» (Registered with the Russian Ministry of Justice on August 17, 2009. Registration N 14541) approved by Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia from July 10, 2009 № 404 (as amended).
12. GOST 31447–2012. Welded steel pipes for main gas pipelines, oil pipelines and oil-products pipelines. Technical conditions. – М. : Standardinform, 2013. – 37 p.
13. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1084 «On the procedure of fire risk assessment calculations». Decree of the Government of the Russian Federation No. 1084 of 22.07.2020, 2020.



УДК 622.276.1/4.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАКАЧКИ И ДОБЫЧИ ГАЗА В ПОДЗЕМНОМ ХРАНИЛИЩЕ ГАЗА (ПХГ)

MODELING OF THE PROCESS OF GAS INJECTION AND EXTRACTION IN AN UNDERGROUND GAS STORAGE (UGS)

Ширалиев Алем Адем оглы

начальник цеха,
SOCAR, Производственное Объединение «Азнефть»,
Подземная Хранилища Газы «Калмаз»,
Shiraliyev.alam@gmail.com

Shiraliyev Alam Adam oglu

Workshop superintendent,
SOCAR, Production Union «Azneft»,
Underground Gas Storage «Kalmaz»,
Shiraliyev.alam@gmail.com

Аннотация. Разработана теоретическая методика моделирования процесса закачки и отбора газа в ПХГ в соответствии с изменением значений объемного коэффициента и вязкости газа по изменению компонентного состава газовой фазы и давления, и на его основе идентифицировано регулирование работы скважин конкретного горизонта газовой залежи в сезоне закачки и отбора газа.

Annotation. A theoretical method has been developed for modeling the process of gas injection and withdrawal in UGS in accordance with the change in the values of the volumetric coefficient and gas viscosity according to the change in the component composition of the gas phase and pressure, and on its basis, the regulation of well operation of a specific horizon of a gas deposit in the gas injection and withdrawal season has been identified.

Ключевые слова: подземная хранилища газа, давление, проницаемость, пористость, газовые компоненты.

Keywords: Underground gas storage, pressure, permeability, porosity, gas components.

Введение

Подземное хранение газа относится к наиболее эффективным и экологически безопасным технологиям регулирования неравномерности газопотребления и обеспечения надежного газоснабжения промышленных и бытовых потребителей. Современные особенности работы ПХГ определяют не только выполнение сезонно ориентированных функций, но и спрос на газ и рыночную конъюнктуру, что, в свою очередь, связано с повышением производительности его устройств и технологической маневренностью системы подземного хранения. С этой точки зрения, поиск и разработка новых технологических решений в направлении повышения производительности периодической эксплуатации ПХГ считается одной из актуальных исследовательских проблем.

Постановка задачи и метод решения

Принято, что пласт-коллектор подземного газохранилища, неоднородный, с замкнутыми со всех сторон границами, эксплуатируется нагнетательными и эксплуатационными скважинами. Начальное давление пласта-коллектора p_0 , проницаемость по площади k_x, k_y , а по вертикали k_z . Требуется определить давление и другие технологические показатели разработки в пласт-коллекторе и на забое скважины.

В рамках принятых допущений задача описывается следующим нелинейным дифференциальным уравнением с частным производным и соответствующими начальными и граничными условиями [1, 2]:

$$\operatorname{div} \left[\frac{k\rho\beta}{\mu(p)Z(p)\rho_{am}} \operatorname{grad} p \right] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{m\rho\beta}{Z(p)\rho_{am}} \right] \pm \sum_{l=1}^s Q_l(t) \delta(x-x_l) \delta(y-y_l) \delta(z-z_l),$$

$$D = ((x, y) \in G, 0 \leq z \leq h), t \in (0, T), \quad (1)$$

$$p(x, y, z, t)|_{t=0} = p_0(x, y, z), (x, y, z) \in D, \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial n} \Big|_{\Omega} = 0, (x, y, z) \in \Omega. \quad (3)$$

Здесь m, k – соответственно коэффициент пористости и проницаемости пласта; h – толщина пласта; μ – коэффициент вязкости газа; Z – коэффициент сжимаемости газа; β – температурный поправочный коэффициент; ρ_{am}, p – соответственно атмосферное и пластовое давление; $\pm Q_l(t)$ – добыча газа, закачанного в пласт-коллектор и отобранного газа; $\delta(\cdot)$ – функция Дирака; G – площадь фильтрации; S – количество скважин; n – вектор нормали, проведенный к внешней границе области фильтрации; Ω – внешняя граница области фильтрации.



Для решения системы (1)–(3) применяется интегро-интерполяционный метод, и полученная разностная схема становится нелинейной из-за давления. Поэтому к нелинейным коэффициентам применялась линеаризация для однозначного определения давления из конечно-разностной схемы, а корректировка их точных значений обеспечивалась итерационным процессом [2].

Давление находится из решения следующей системы линейных алгебраических уравнений:

$$g_{i,j,k}^v p_{i-1,j,k}^{v+1} + c_{i,j,k}^v p_{i,j-1,k}^{v+1} + \lambda_{i,j,k}^v p_{i,j,k-1}^{v+1} + a_{i,j,k}^v p_{i,j,k}^{v+1} + f_{i,j,k}^v p_{i+1,j,k}^{v+1} + b_{i,j+1,k}^v p_{i,j+1,k}^{v+1} + \eta_{i,j,k}^v p_{i,j,k+1}^{v+1} = d_{i,j,k}^v \quad (4)$$

Коэффициенты системы определяются следующим образом:

$$g_{i,j,k}^v = \frac{1}{\Delta x_i \Delta x_{i-1/2}} [x_{i-1/2} k_{xi-1/2,j,k}^{v+1} \phi_{i-1/2,j,k}^{v+1}], \quad c_{i,j,k}^v = \frac{1}{\Delta y_j \Delta y_{j-1/2}} [y_{j-1/2} k_{yi,j-1/2,k}^{v+1} \phi_{i,j-1/2,k}^{v+1}],$$

$$\lambda_{i,j,k}^v = \frac{1}{\Delta z_k \Delta z_{k-1/2}} [z_{k-1/2} k_{zi,j,k-1/2}^{v+1} \phi_{i,j,k-1/2}^{v+1}], \quad f_{i,j,k}^v = \frac{1}{\Delta x_i \Delta x_{i+1/2}} [x_{i+1/2} k_{xi+1/2,j,k}^{v+1} \phi_{i+1/2,j,k}^{v+1}],$$

$$b_{i,j,k}^v = \frac{1}{\Delta y_j \Delta y_{j+1/2}} [y_{j+1/2} k_{yi,j+1/2,k}^{v+1} \phi_{i,j+1/2,k}^{v+1}], \quad \eta_{i,j,k}^v = \frac{1}{\Delta z_k \Delta z_{k+1/2}} [z_{k+1/2} k_{zi,j,k+1/2}^{v+1} \phi_{i,j,k+1/2}^{v+1}],$$

$$a_{i,j}^v = -\left(g_{i,j,k}^v + c_{i,j,k}^v + \lambda_{i,j,k}^v + f_{i,j,k}^v + b_{i,j,k}^v + \eta_{i,j,k}^v\right) + \phi_{i,j,k}^v, \quad \phi_{i,j,k}^v = -\frac{1}{\Delta \tau} [B_{i,j,k}^v],$$

$$d_{i,j,k}^v = \phi_{i,j,k}^v p_{i,j,k}^v \pm \sum_{l=1}^s Q_{l,i,j,k}^v, \quad \phi_{i,j,k}^n = \frac{p_{i,j,k}^n \beta}{\mu_{i,j,k}^n Z_{i,j,k}^n p_{at}}, \quad B_{i,j,k}^n = \left(\frac{m_{i,j,k}^n p_{i,j,k}^n}{Z_{i,j,k}^n} \right)'$$

Во всех внутренних точках сеточных областей уравнение (4) выражается в виде матричного уравнения. Матрица имеет семидиагональную структуру, для решения системы используется итерационный точечный метод Якоби [2]. Ввиду нелинейности на каждой итерации решается уравнение давления и находится $p_{i,j}^{v+1}$ при известных значениях $p_{i,j}^n$. При достижении требуемой точности значения искомой функции последняя итерация $p_{i,j}^{n+1}$ считается решением.

При моделировании скважин функция $Q_i(t)$ моделируется на основе принятия квазистационарности потока в прискважинном областе, ограниченной окружностями с радиусами r_c $\forall r_k$ и соответствующими давлениями $p_c(t)$ $\forall p_{kc}(t)$ на них [3]:

$$Q_i(t) = \frac{2\pi h}{\ln \frac{r_k}{r_c}} \frac{p_c(t)}{p_{kc}(t)} \int \frac{k\rho\beta}{\mu(p)Z(p)p_{at}} dp, \quad r_k = \sqrt{\Delta x_i \Delta y_i / \pi} \quad (5)$$

Здесь $p_c(t)$ и $p_{kc}(t)$ – соответственно давление на забое и среднее давление в зоне дренирования скважины.

Для решения системы (1)–(3) значения параметров, выражающих физических свойств, входящего в них газа, должны быть рассчитаны по изменению давления, температуры и состава газа и учтены в системе уравнений. Для этого, система дифференциальных уравнений, позволяющая рассчитать физические свойства газа [1]

$$\frac{d}{dt} [V\rho_e y_i] = \pm Q_i(t) y_i \quad i = \overline{1, N}, \quad t \in (0, T) \quad (6)$$

на основе начальных условий

$$p|_{t=0} = p_0, \quad y_i|_{t=0} = y_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, N-2 \quad (7)$$

решается вместе с уравнением состояния газовой фазы [4]:



$$p = RT \left[\frac{1}{V-b} - \frac{a}{V(V+c)} \right], \quad (8)$$

здесь V – объем пористой среды; ρ_g – плотность газа; y_i – молярное количество i -го компонента в газовой фазе; N – количество компонентов газа; R – универсальная газовая постоянная; T – температура газовой фазы; a , b и c – коэффициенты уравнения состояния.

С учетом начального известного значения ρ_c в системе уравнений (5) в соответствии с процессом закачки или отбора газа из пласта решается система дифференциальных уравнений, и исходя из нового значения определяемых переменных $y_1, y_2, \dots, y_{N-2}, p, T$ определяются значения плотности газовой фазы, соответствующие изменению давления, температуры и состава [1].

На основе указанного подхода объемный коэффициент газа ($a_g(p)$) определяется следующим образом [1]:

$$a_g(p) = \frac{\rho_{g.am}}{\rho_g(y_1, \dots, y_{N-1}, p)} = \frac{Z(p)\rho_{am}}{p\beta}.$$

Вязкость газа определяется по значению плотности газа по методу Дина и Стила [5].

На основе изменения давления и компонентного состава газовой фазы с учетом определяемых значений объемного коэффициента и вязкости газа с учетом в уравнении (1) реализуется моделирование и регулирование процесса закачки и отбора газа в ПХГ.

Собраны технологические показатели блоков I и III Калмазского подземного газохранилища и их скважин, и на основе результатов расчета системы уравнений (1)–(3), (5), (6)–(8) по суммарному объему газа необходимой потребности по сезону скорректирована карта изобар пласта по динамике объемов закачиваемого и добываемого газа.

В сезон отбора газа 2016–2017 гг. из 102 скважин, участвующих в блоках I и III Калмазского подземного газохранилища, отобрано 837447 тыс. м³ газа, а при сезоне закачки газа в эти блоки закачено 840508 тыс. м³ газа. Точнее, в период закачки газа одной скважиной ПХГ было закачено в среднем 54,935 тыс. м³ газа, а в период добычи газа эта величина составила примерно 39,2394 тыс. м³. При отборе газа давление в каждой скважине имело тенденцию к изменению с пульсационным режимом.

Выводы

Таким образом, разработана теоретическая методика моделирования процесса закачки и отбора газа в ПХГ в соответствии с изменением значений объемного коэффициента и вязкости газа по изменению компонентного состава газовой фазы и давления, и на его основе идентифицировано регулирование работы скважин конкретного горизонта газовой залежи в сезоне закачки и отбора газа.

Список литературы:

1. Фейзуллаев Х.А. Магеррамова С.Д. Моделирование процесса эксплуатации нескольких изолированных газовых пластов единой сеткой скважин в режиме истощения // Азербайджанское Нефтяное Хозяйство. – 2016. – № 12. – С. 24–28.
2. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем / Пер. с английского. – М.: Недра, 1982. – 407 с.
3. Фейзуллаев Х.А. Численное исследование задач теории нестационарной фильтрации газа и газоконденсатной смеси в пористой среде: дис. ... канд. техн. наук. – Баку, 1992. – 164 с.
4. Аббасов З.Я. Методы расчета статического динамического забойного давления в газовых и газоконденсатных скважинах. – Баку: Элм, 1993. – 312 с.
5. Многомерная и многокомпонентная фильтрация: Справочное пособие / С.Н. Закиров [и др.]. – М.: Недра, 1988. – 335 с.

List of references:

1. Feyzullaev H.A. Magerramova S.D. Simulation of the exploitation of several isolated gas reservoirs by a single network of wells in the depletion mode // Azerbaijan Oil Economy. – 2016. – № 12. – P. 24–28.
2. Aziz H., Settari E. Mathematical modeling of reservoir systems / Translated from English. – M.: Nedra, 1982. – 407 p.



3. Feizullaev H.A. Numerical study of non-stationary filtration theory problems of gas and gas-condensate mixture in porous medium : Ph. Candidate of Technical Sciences. – Baku, 1992. – 164 p.
4. Abbasov Z.Y. Calculation methods of static dynamic bottomhole pressure in gas and gas-condensate wells. – Baku : Elm, 1993. – 312 p.
5. Multidimensional and multicomponent filtration: Reference book / S.N. Zakirov [and others]. – M. : Nedra, 1988. – 335 p.

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ
В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**CHEMICAL TECHNOLOGY AND ECOLOGY
IN THE OIL AND GAS INDUSTRY**



УДК 544.723.2

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ АДсорбЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ОБЛАСТИ ИХ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF ADSORPTION PROCESSES AND AREAS OF THEIR INDUSTRIAL APPLICATION

Арипджанов Ойбек Юсупджанович

кандидат технических наук, доцент,
Ташкентский химико-технологический институт
aripdjanov81@gmail.com

Тиркашева Хуршидахон Отабек кизи

магистрант,
Ташкентский химико-технологический институт
khurshidati@gmail.com

Аннотация. В статье дано описание разработки и совершенствование методологического подхода к синтезу прямой и обменных форм цеолитных адсорбентов на основе обедненного каолинового сырья, предназначенных для осушки углеводородных и других технологических газов. Определение химического и минерального составов проб исходного каолинового сырья, а также состава реакционной смеси.

Ключевые слова: цеолитные адсорбенты, каолины, осушка газов, очистка газов.

Aripdjanov Oybek Yusupdjanovich

PhD in Technical Sciences,
Associate Professor,
Tashkent Institute of Chemical Technology
aripdjanov81@gmail.com

Tirkasheva Khurshidakhon Otabek qizi

master's student,
Tashkent Institute of Chemical Technology
khurshidati@gmail.com

Annotation. The article describes the development and improvement of a methodological approach to the synthesis of direct and exchange forms of zeolite adsorbents based on depleted kaolin raw materials intended for drying hydrocarbon and other process gases. Determination of the chemical and mineral composition of samples of the initial kaolin raw materials, as well as the composition of the reaction mixture.

Keywords: zeolite adsorbents, kaolins, gas dehydration, gas purification.

В современных условиях на всех стадиях кондиционирования газов применяются либо могут быть применены адсорбционные методы, использующие, большей частью, цеолитные адсорбенты.

Потребность действующих предприятий Республики Узбекистана для очистки и кондиционирования природных и технологических газов в селективных цеолитных адсорбентах составляет порядка 1000 тонн в год, и удовлетворяется, в основном, за счет импорта [1].

Одним из важнейших направления технического развития является создание технологий получения импортозамещающей продукции из местного сырья и вторичных ресурсов.

Объектами исследования являются: образцы проб каолинов, образцы проб отработанных цеолитных адсорбентов, применяемых в качестве затравочных кристаллов, кристаллизованные гранулы цеолитных адсорбентов, составы подаваемого на осушку либо очистку.

Адсорбционные процессы подразделяются на проводимые в стационарном, движущемся, псевдооживленном слоях адсорбентов. Сам процесс адсорбционной осушки производится чередованием стадий адсорбции и десорбции адсорбата после насыщения адсорбента и появления проскока – повышенной концентрации адсорбата в осушенном или очищенном потоке по отношению к требуемой по техническим условиям на продукцию.

В целом основными областями промышленного применения цеолитов являются следующие процессы:

- осушка газовых потоков различного состава;
- очистка газовых потоков;
- глубокая осушка газовых и жидкостных потоков;
- разделение веществ, основанное на молекулярно-ситовом свойстве цеолитов углеводородов различного строения (облагораживание топливных фракций и т.п.);
- ионообменная очистка веществ, связанная с катионообменными свойствами цеолитов (очистка и умягчение воды, растворов солей, применение в качестве компонентов моющих средств и т.п.);
- в сельском хозяйстве – как дезинфицирующие и водосберегающие препараты;
- каталитические процессы крекинга, изомеризации и многие другие.

Что касается применимости цеолитов в сельском хозяйстве, то следует, в первую очередь, отметить влагоудерживающие свойства цеолитов, а также способность адсорбировать аммиак из естественного органического удобрения, с последующей постепенной отдачей его в почву при питании



растений. Отмечено, что внесение в почву, в частности, при посеве зерновых культур, различных обменных форм клиноптилолита дает несколько различные результаты в содержании белка в зерне: наилучшие результаты получены при внесении аммонийной формы. При проведении работ в некоторых районах установлены нормы расхода цеолитов зернением 1–5 мм в чистом виде и в смеси с микроудобрениями (Mn, Zn, Mg по 0,5, и Cu – 0,3 г/м³) – 40 г/м² [2].

В процессе получения цеолита А из глин основным исходным сырьем для синтеза цеолита А являются каолины либо галлуазит, сырые или термообработанные при определенных температурах, в соответствии с применяемым способом производства.

Каолиновые глины от каолинов отличаются высокой степенью дисперсности каолиновых частиц (менее 2 мкм) и пониженным содержанием кварца. Элювиальные, или первичные каолины, месторождения которых расположены в местах их образования, чаще всего содержат в качестве включений большое количество природного кварца и его разновидности – кристобалита; преобладающий размер частиц – менее 5 мкм. Частицы обыкновенно хорошо окристаллизованы.

В следствии наличия примесей химический состав каолинов изменяется в широких пределах, однако для месторождения в целом имеются определенные закономерности. Так, по использованию в синтезе цеолитов обогащенных каолинов Просяновского Каолины элювиального Просяновского месторождения характеризуются содержанием 90–95 % каолинита в глинистой фракции [3]. Примеси гиббсита, лейкоксена, галлуазита и др. содержатся лишь в отдельных пробах. Химический состав каолинов следующий (%):

Каолин – сырец:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	ΣR ₂ O	SO ₂	П.п.п.
49,60–55,80	24,00–38,41	0,48–0,50	0,21–0,46	0,20–0,68	0,13–0,68	0,5–0,6	0,03–0,12	8,80–12,8

Обогащенный каолин:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	ΣR ₂ O	SO ₂	П.п.п.
46–47	36–38,5	0,1–1,4	0,1–0,7	0,3–0,6	–	0,5–0,6	–	12,5–14,0

Из приведенных данных о составах каолинов, широко применяемых в качестве сырья для получения цеолитов А, видно, что в Просяновском месторождении минеральный состав каолинов являются наиболее чистыми.

Можно сделать основные выводы:

Хорошим глинистым сырьем для синтеза цеолита типа А, наиболее широко применяемом для осушки углеводородных газов в связи размерами его входных окон (4А) и большой адсорбционной емкостью при адсорбции паров воды, являются каолины с содержанием Al₂O₃ (в составе каолинита) 37–39,5 % масс [4]. Однако в связи с истощаемостью месторождений каолинов, содержащих такой большой процент каолинита, мировой тенденцией становится использование для целей получения цеолитных адсорбентов сырья с меньшим содержанием каолинита и корректировкой реакционной смеси по недостающему оксиду алюминия, а также поиск другого подходящего сырья и методов синтеза.

Синтез цеолитных адсорбентов методом перекристаллизации метакаолина позволяет получать цеолитный адсорбент без предварительного получения чистого кристаллического порошкового цеолита, и не требует подборки связующего для получения готовой, гранулированной формы цеолитного адсорбента.

Список литературы:

1. Neftegas.ru
2. Природные цеолиты / Г.В. Цицишвили [и др.]. – М. : Химия, 1985. – 223 с.
3. Сайидов У.Х. Разработка адсорбентов для кондиционирования технологических газов : дис. ... д-ра философ. по техн. наукам. – Ташкент, 2018. – 172 с.
4. Сбор, транспорт и хранение природных углеводородных газов / А.И. Гужов [и др.]. – М. : Недра, 1978. – 405 с.

List of references:

1. Neftegas.ru
2. Natural zeolites / G.V. Tsitsishvili [et al.]. – M. : Chemistry, 1985. – 223 p.
3. Sayidov U.H. Development of adsorbents for conditioning process gases : Ph. D. in technical sciences. – Tashkent, 2018. – 172 c.
4. Collection, transport and storage of natural hydrocarbon gases / A.I. Guzhov [et al.] – M. : Nedra, 1978. – 405 c.



УДК 66.074.5.081.3

ОБЩИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ АБСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ КИСЛЫХ ГАЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ АБСОРБЕНТОВ

GENERAL ANALYSIS OF ABSORPTION CLEANING TECHNOLOGY OF NATURAL GAS FROM ACID GASES USING COMPOSITE ABSORBENTS

Арипджанов Ойбек Юсупджанович

кандидат технических наук, доцент,
Ташкентский химико-технологический институт
aripdjanov81@gmail.com

Хайруллаева Диёра Зохидаки

магистрант,
Ташкентский химико-технологический институт
diyora-zokhidovna1999@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены технология очистки природного газа от кислых компонентов и вопросы по обеспечению чистоты продуктов нефтегазового производства в соответствии с требованиями государственного стандарта; повышение их уровня очистки от H_2S , SO_2 , меркаптанов, тиосульфидов и дисульфидов. Создание новых композиционных сорбентов, полученных на основе местного сырья и обладающих высокой сорбционной производительностью.

Ключевые слова: композиционный абсорбент, этаноламин (ЭА), метилэаноламин (МЭА), диэаноламин (ДЭА), метилдиэаноламин (МДЭА).

Aripdjanov Oybek Yusupdjanovich

PhD in Technical Sciences,
Associate Professor,
Tashkent Institute of Chemical Technology
aripdjanov81@gmail.com

Khayrullaeva Diyora Zokhidqizi

master's student,
Tashkent Institute of Chemical Technology
diyora-zokhidovna1999@gmail.com

Annotation. The article discusses the technology of purification of natural gas from acidic components and the issues of ensuring the purity of oil and gas products according to the requirements of the state standard; increasing their purification from H_2S , SO_2 , mercaptans, thiosulfide and disulfide. Creation of new composite sorbents obtained on the basis of local materials and with high sorption output.

Keywords: composite absorbent, ethanalamine (EA), methylethanalamine (MEA), diethanalamine (DEA), methyl-diethanalamine (MDEA).

Modern innovative technologies, while saving energy consumption, have a great impact on the improvement of the technology of oil and gas extraction and processing, including the deep absorption cleaning of natural gas with alkanolamines.

Globally, the volume of gas production and processing has increased over the next three years, and now, in Uzbekistan, these figures have approached the annual volume of 50.0 billion m^3 . At the same time, the amount of hydrogen sulphide in natural gas is also increasing, and in this case high-sulfur gases make up a large part of this index [1]. In addition to hydrogen sulfide, which is harmful for environmental protection and corrosively active, carbon dioxide, thiols, mercaptans and alkyl sulfides are preserved in the composition of natural gases and it is required to separate them at the initial stages of processing. Gaseous compounds of sulfur are toxic and cause a number of problems in the processes of gas extraction, storage and processing, cause corrosion of equipment metals, and affect their physical-mechanical and operational properties. At the same instant, the composite forms of natural gas is an important raw material for the production of isolated sulfur compounds (ethyl mercaptans, odorants for household gases, ethyl and butyl mercaptans), insecticides and various detergents.

Currently, at the world level, methyl-diethanolamine (MDEA) solution, diethanolamine (DEA) solution are used in gas purification devices using amine solutions. The presence of sulfur compounds (COS , $R-SH$, $R-S-R'$, etc.) and chlorine ions in the gas (which is sent to the devices for cleaning natural and secondary gases using amines, from the devices for drying gases using zeolites) causes the formation of heat-resistant salts in the MDEA and DEA solutions used in the device. It should be noted that the accumulation of difficult-to-dissolve various salts and organic acids in the absorbent solution has a negative effect on the process of cleaning gases from toxic compounds, causing great problems for environmental protection. Also, such technological problems accelerate the corrosion of devices and equipment, causing them to fail.

Alkanolamines used as absorbents are colorless, viscous, hygroscopic liquids, miscible with water and alcohols of lower molecular weight in any ratio, practically insoluble in non-polar solvents. Anhydrous alkanolamines are usually used as an aqueous solution. The indicator of the concentration of amine in the solution can vary in wide ranges, it is chosen based on the reasons for conducting experiments and corrosion of technological devices [2].

The technological parameters of the cleaning process are obtained taking into account the concentration of the absorbent, its degree of saturation with H_2S and CO_2 , that is, practical recommendations that al-



low to eliminate negative phenomena such as corrosion, degradation and loss of the absorbent. Table 1 shows the recommended concentration of alkanolamines in the absorbent and their saturation level with H₂S, CO₂ [3].

Table 1 – The recommended concentration of alkanolamines and their saturation level with H₂S and CO₂ [3]

Alkanolamines	Concentration of alkanolamines in the solution, % mass.	The percentage of H ₂ S and CO ₂ , mole/mole of amine	
		in saturated absorbent	in regeneration
MEA-monoethanolamine H ₂ N-CH ₂ -CH ₂ -OH	15–20	0,30–0,35	0,10–0,15
DEA- diethanolamine HN(CH ₂ -CH ₂ -OH) ₂	25–35	0,35–0,40	0,05–0,07
MDEA-methyldiethanolamine CH ₃ N(CH ₂ -CH ₂ -OH) ₂	30–50	0,45–0,50	0,004–0,01
DGA-diglycolamine HOCH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ NH ₂	40–60	0,35–0,40	0,02–0,10

As a result of subsequent studies, it became clear that the use of MDEA was of great value in the removal of acidic components of gases, including hydrogen sulfide. MDEA differs from DEA in several parameters. In particular, since MDEA is a selective absorber, it absorbs more H₂S and less CO₂; provides additional sulfur as a result of increasing the concentration of hydrogen sulfide in high-sulfur acid gases; as a result of reducing the emission of CO₂ into the atmosphere, the environmental situation in the areas where the plant located can be improved. MDEA solution saturated with sour gases is less corrosive to metals than DEA.

The reaction rate of CO₂ and MDEA is slower than that of MEA and DEA, reducing the selectivity of H₂S extraction from natural gas. It is necessary to take into account that the rate of reactions of alkanolamine and gases with acidic components decreases when the pH of the medium decreases, depending on the saturation of the absorbent and the depletion of free ethanolamine (EA).

In the process of saturation of gases with acidic components of an aqueous solution of alkanolamine, not only the rate of mutual chemical reaction slows down, but also the partial pressure of the same components in the vapor phase decreases; physical solubility, concentration in the liquid phase increases under the influence of temperature, and the general quantitative description of the process becomes complicated.

The efficiency of the gas cleaning technology depends on the correct selection of the absorbent. The higher the absorbency of the absorbent to H₂S, CO₂ and other components, the less amount of ethanolamine is used for absorption at the level of demand for the gas being cleaned. The selection of absorbent for gas cleaning processes requires a feasibility study based on alternative indicators in each specific situation. Table 2 shows that the absorbent composition is effective in cleaning gases with amine absorbents and preventing foaming [4].

Table 2 – The effective absorbent composition in amine cleaning of gases and in foaming prevention [4]

Component	Percentage, %
methyldiethanolamine (MDEA) – absorbent	30–40 %
polimal – surface activator	10–15 %
ethylene glycol – solvent	10–15 %
water – solvent in creating a dissociative condition	30–35 %

The concentration of amines in aqueous solution used in production conditions is up to 20 % for MEA, and up to 30 % for DEA [5]. Chemically purified or distilled water is used to prepare solutions of amines. In some cases, steam condensates are used.

In summary, composite absorbents used in cleaning processes have these following properties, so they have:

- a high absorption capacity for aggressive components of natural gas;
- high selectivity to acidic components;
- low saturated vapor pressure for minimal loss in the absorption process;
- low solubility of hydrocarbons;
- reactive inertness according to the properties of the gas to be cleaned;
- ensure purification at the standard level (no more than 20 mg/m³ of gas);
- lack of corrosive activity on metal;
- and that it is required to be stable to foaming.

**Список литературы:**

1. Энергетика нефтегазового производства Узбекистана – 2022. – URL : <https://neftegaz.ru>
2. Мурин В.И., Кисленко Н.Н., Сурков Ю.В. Технология переработки газа и конденсата. Сп.: В 2 ч. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – Ч. 1 – 517 с.
3. Технология переработки природного газа, процессы и аппараты / Х.С. Нурмухамедов [и др.] // Учебное пособие для ВУЗов; под ред. академика АН РУз Н.Р. Юсупбекова. – 2016. – 856 с.
4. Деградация алканоламинов и их влияние на экологию / Н.А. Игамкулова [и др.] // Материалы 2-й Международной конференции «Инновации в нефтегазовой отрасли, современная энергетика и ее проблемы». – Ташкент, 2021. – С. 124–125.
5. Направление развития нефте- и газоперерабатывающей отрасли. – URL : <https://www.neftegaz-expo.ru/ru/articles/2016/gazopererabotka/>

List of references:

1. The energy of Uzbekistan's oil and gas production – 2022. – URL : <https://neftegaz.ru>
2. Murin V.I., Kislenco N.N., Surkov Y.V. Technology of gas and condensate processing. Sp.: In 2 parts. – M. : LLC «Nedra-Business Center», 2002. – P. 1 – 517 p.
3. Technology of natural gas processing, processes and apparatuses / H.S. Nurmukhamedov [and others] // Textbook for higher education institutions; under the editorship of Academician of the Academy of Sciences of Uzbekistan N.R. Yusupbekov. – 2016. – 856 p.
4. Degradation of alkanolamines and their impact on the environment / N.A. Igamkulova [et al.] // Proceedings of the 2nd International Conference «Innovations in the oil and gas industry, modern energy and its problems». – Tashkent, 2021. – P. 124–125.
5. Direction of development of oil and gas processing industry. – URL : <https://www.neftegaz-expo.ru/ru/articles/2016/gazopererabotka/>



УДК 665.753

ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ**STUDY OF THE STABILITY OF MODIFIED FUEL EMULSIONS****Багирова Н.Н.**

кандидат химических наук, доцент,
доцент кафедры Нефтехимическая технология
и промышленная экология,
Университет Нефти и Промышленности,
г. Баку, Азербайджан

Мустафаева Р.Э.

кандидат химических наук, доцент,
доцент кафедры Нефтехимическая технология
и промышленная экология
Университет Нефти и Промышленности,
г. Баку, Азербайджан
rena-babaeva0@rambler.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме разработки способа, устраняющего образование токсичных веществ в дизельных двигателях, в частности путем использования перспективного метода модифицирования состава дизельного топлива добавками, изменяющими процесс горения топливных смесей и снижающими образование токсичных веществ в отработавших газах дизельных двигателей. На основании проведенных экспериментов по эмульгированию топливных смесей выявлено, что высокой эффективностью по стабилизации модифицированных топливных композиций обладают спирты: изобутанол, бутанол и пропанол.

Ключевые слова: дизельное топливо, токсические вещества, бутанол, пропанол, дизельные двигатели.

Bagirova N.N.

PhD in Chemistry,
Associate professor the Department
of Petrochemical Technology
and Industrial Ecology,
State University of Oil and Industry
Baku, Azerbaijan

Mustafayeva R.E.

PhD in Chemistry,
Associate professor the Department
of Petrochemical Technology
and Industrial Ecology,
State University of Oil and Industry,
Baku, Azerbaijan
rena-babaeva0@rambler.ru

Annotation. The article is devoted to the problem of developing a method that eliminates the formation of toxic substances in diesel engines, in particular, by using a promising method for modifying the composition of diesel fuel with additives that change the combustion process of fuel mixtures and reduce the formation of toxic substances in the exhaust gases of diesel engines. Based on the experiments on the emulsification of fuel mixtures, it was found that alcohols: isobutanol, butanol and propanol have a high efficiency in stabilizing modified fuel compositions.

Keywords: diesel fuel, toxic substances, butanol, propanol, diesel engines.

Известно, что при сжигании дизельных топлив в двигателях внутреннего сгорания выделяются токсичные газы: оксиды углерода (II) CO, азота NO_x, серы SO_x, углеводороды, альдегиды и сажа. Высокая токсичность, канцерогенные свойства этих выбросов приводят к увеличению заболеваний людей, ухудшению экологической обстановки регионов. Поэтому необходимо снижать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Это особенно актуально при использовании дизельных двигателей в рудниках, шахтах, закрытых помещениях (складах, гаражах, ангарах и т.п.), воздух которых поступает на рабочие места персонала и должен соответствовать санитарным нормам. Существующие способы снижения воздействия выбросов загрязняющих веществ указанных газов (окислительное или восстановительное каталитическое дожигание, сорбция твердыми или жидкими хемосорбентами и др.) относятся в основном к способам, устраняющим последствия эмиссии выбросов [1–3]. Эти способы требуют установки дорогостоящих очистительных устройств, регенерации поглотителей.

Известно, что современное состояние атмосферного воздуха представляет большую угрозу здоровью населения. Наибольший вклад в загрязнение воздуха на сегодняшний день вносят передвижные источники загрязнения – автотранспорт [4–6]. Под выбросами автотранспорта подразумеваются отработанные газы (выхлопные газы) – это продукты окисления и неполного сгорания нефтяного топлива. Выбросы отработанных газов (ОГ) – основная причина превышения допустимых концентраций токсичных веществ и канцерогенов. Как известно причиной загрязнения воздуха является неполное сгорание топлива. В отработанных газах двигателя внутреннего сгорания (ДВС) содержится свыше 170 вредных компонентов, из них 160 – производные углеводородов, прямо обязанные своим появлением неполному сгоранию топлива в двигателе.

Повышенная экологическая опасность топлив и продуктов их сгорания представляют собой большую проблему. Решение этой проблемы может быть только комплексным. Оно включает в себя разработку топлив с экологически улучшенными характеристиками; разработку экологически чистых транспортных средств и двигателей внутреннего сгорания, оборудованных, в частности, устройствами для дожигания и нейтрализации отработанных газов и правильную эксплуатацию – применение топлив и масел соответствующих марок, поддерживающих горение топлив в оптимальном режиме [7].

Для решения задачи снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при горении дизельного топлива необходимо разработать составы топливных добавок на основе метанола и сивушных масел,



подобрать допустимые концентрации вводимых компонентов в топливо. Для получения устойчивых модифицированных дизельных эмульсий необходимо произвести выбор эффективного эмульгатора, создать условия, при которых полученная смесь не будет расслаиваться на две различные фазы в течение трех-четырех месяцев. Для оценки влияния снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу воздуха при сгорании модифицированных топлив, необходимо изучить влияние вводимых в топливо компонентов, на изменение продуктов горения топлив, установить химизмы процессов горения, окисления, восстановления и нейтрализации токсичных компонентов топливных эмульсий. Для эколого-экономической оценки введения добавок на основе метанола и сивушных масел необходимо произвести оценку предотвращенного экологического ущерба от снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу двигателей внутреннего сгорания и утилизации сивушных масел и утилизации отходов.). Смеси дизельного топлива с добавками подвержены расслоению, особенно при наличии воды в топливе. Это явление недопустимо в двигателях внутреннего сгорания. Однако, все предлагаемые, на основании литературного анализа, добавки в своем составе содержат воду в количестве до 35 % об. Решить проблему устойчивости дизельных смесей с добавками можно путем получения эмульсий

Основным способом приготовления эмульсий является перемешивание двух жидкостей вращающимися лопастями или с помощью специально сконструированных перемешивающих приспособлений. Сосуды, в которых ведется процесс, делаются обычно с двойными стенками, что позволяет поддерживать необходимую температуру. Состав добавки в дизельное топливо, снижающей выбросы загрязняющих веществ в атмосферу двигателями внутреннего сгорания, разрабатывался на основе спиртов и амидной составляющей.

В качестве исходных материалов использовали:

1. Дизельное топливо марки Л-0,2-40, 3-0,2-35, высший сорт по ГОСТ 305-82, произведенная на ОАО «Лукойл». Прозрачная у жидкость бледно желтого цвета, плотность – 820 кг/м.
2. Метанол технический синтетический марки А производства ОАО «Метафракс». Прозрачная, бесцветная жидкость, плотность при 20 °С – 791 кг/м³. Массовая доля воды – не более 0,05 % по ГОСТ 2222-95.
3. Этанол гидролизный, с содержанием этанола не менее 96,2 об. % по ГОСТ 18300-87, плотность – 798 кг/м³.
4. Эмульгатор – прозрачная бесцветная жидкость, плотность при 20 °С – 806 кг/м³.
5. Сивушное масло (фракция метанол-масло-вода). Плотность 0,876 г/см, содержание воды – 33,98 % масс.
6. Амид технический. Представляет собой белые или желтоватые кристаллы, имеющие форму иглообразных ромбических призм, не имеющие запаха, с плотностью 1335 кг/м и температурой плавления 132,4 °С. В чистом амиде содержится 46,6 % азота (в пересчете на аммиак – 56,7 %).

Эмульгирование проводили двумя методами: гидромеханическим и ультразвуковым с целью определить возможность эффективного использования каждого метода при приготовлении модифицированной топливной эмульсии. Эмульгирование топливной смеси проводили с помощью механического перемешивающего устройства типа ПЭ-8300 с блоком питания ПЭ-8000, имеющего встроенный секундомер и тахометр. Эксперименты проводили при различных скоростях перемешивания топливной эмульсии, контролируемые управляющим блоком. Определяли влияние скорости и времени перемешивания модифицированного топливной эмульсии на ее устойчивость.

При подборе эмульгаторов руководствовались рядом требований, предъявляемых к топливу: а) высокая эффективность стабилизации эмульсии; б) минимальное количество эмульгатора в смеси (для предотвращения усиленного образования нагара в камере сгорания и перебоев в работе двигателя); в) эмульгаторы и продукты их распада должны быть нетоксичными и не коррозионно-активными; Исследованы эмульгаторы, представляющие ряд органических спиртов: изобутанол, бутанол, пропанол, глицерин. В табл.1 представлены экспериментальные данные по стабильности топливных эмульсий в зависимости от вида эмульгатора при длительности механического перемешивания 30 мин. и скорости перемешивания 100 об/мин.

Таблица 1 – Длительности стабильного состояния топливных эмульсий

Тип эмульгатора	Соотношение содержания эмульгатора к содержанию метанола в ДТ (концентрация метанола – 8 % об.)				
	1 : 1	1 : 1,2	1 : 1,4	1 : 1,6	1 : 2
пропанол	1650	1650	1620	1619	1545
бутанол	1700	1700	1650	1650	1600
изобутанол	1800	1800	1750	1740	1700
глицерин	10	8	8	5	3

Как видно из данных таблицы 1, наибольшая стабильность топливной смеси достигается при введении эмульгатора – изобутанола, который обеспечивает стабильность смеси в течение 1800с. Несколько меньшая эффективность наблюдается при введении бутанола и пропанола. В отсутствие эмульгатора топливная смесь расслаивается в течение 60 с. Разница в длительности сохранения стабильного объём



няется способностью эмульгаторов понижать поверхностное натяжение, а на границе раздела капле метанола и дизельного топлива. Таким образом, на основании полученных данных можно сделать выбор по применению в качестве эмульгатора спиртов – изобутанолов и пропанол.

Поскольку температурный интервал работы топлива включает отрицательные температуры, то важно было исследовать зависимость устойчивости к расслоению спирто-топливной эмульгированной смеси от температуры. Исследования проводили в интервале температур от -20 до $+25$ °С. При этом стабильная топливная эмульсия охлаждалась до некоторой температуры, при которой межфазное поверхностное натяжение на границе раздела добавка – дизельное топливо не начинает отличаться от нуля, но все еще является крайне низкой, в результате самопроизвольно образуется критическая эмульсия, в которой стремление капле эмульсии к слиянию уравнивается энтропийным фактором – стремлением веществ к равномерному распределению в объеме. При более глубоком охлаждении поверхностное натяжение на границе раздела добавка – дизельное топливо увеличивается и все более преобладает стремление к понижению поверхностной энергии путем уменьшения поверхности раздела, т.е. путем коалесценции капле и расслоения жидкости. Устойчивость модифицированных топливных эмульсий также зависит и от природы и количества вводимых, добавок, поэтому было изучено влияние концентраций спиртов на стабильность модифицированных топлив.

Для изучения устойчивости приготовленных топливных эмульсий различных концентраций до 5 % об. метанола с эмульгатором, их выдерживали длительное время в герметично закрытых емкостях при различных температурах (-20 и $+25$ °С). В течение этого времени визуально наблюдали за состоянием эмульсии: измеряли границу расслоения и длительность стабильности в зависимости от концентрации сивушных масел и выбранного эмульгатора. На основании экспериментов выявлены оптимальные соотношения ДТ: метанол: изобутанол, при которых достигается желаемый результат – смесь однородна по всему объему, не происходит ее помутнения и расслоения, эмульсия прозрачна, бледно желтого цвета. На основании проведенных экспериментов по эмульгированию топливных смесей выявлено, что высокой эффективностью по стабилизации модифицированных топливных композиций обладают спирты: изобутанол, бутанол и пропанол.

Список литературы:

1. Анализ мирового рынка дизельного топлива в 2006–2010 гг., прогноз на 2011–2015 гг. [электронный ресурс] // *Busines Stat.* – 2011. – URL : <http://marketing.rbc.ru/researchJ562949979784348.shtml>
2. Муллакаев М.С. Ультразвуковая интенсификация процесса каталитического окисления сероорганических соединений дизельной фракции // *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса.* – 2010. – № 4. – С. 38–41.
3. Баулин О.А. Методы получения дизельных топлив с улучшенными экологическими показателями // *Нефтегазовое дело.* – 2007. – № 1. – Т. 5. – С. 189–192.
4. Лыткин А.С. Бегак О.Ю. Цетаноповышающие добавки для дизельного топлива // *Автомобильная промышленность.* – 2008. – № 8 – С. 30.
5. Багирова Н.Н., Гусейнова М.А. Пути снижения вредных выбросов в атмосферу при сжигании жидких топлив // *Матрица научного познания.* – 2021. – № 1–2. – С. 29–33.
6. Багирова Н.Н., Гусейнова М.А. Методы переработки и утилизации нефтесодержащих отходов // *The Scientific Heritage.* – 2022. – № 94. – С. 10–14.
7. Багирова Н.Н., Мустафаева Р.Э. Экстракционное обогащение дизельных фракций n-метилпирролидоном // *Нефтепереработка и нефтехимия. ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ.* – 2023. – № 3. – С. 38–39.

List of references:

1. Analysis of the world market of diesel fuel in 2006–2010, forecast for 2011–2015. [electronic resource] // *Busines Stat.* – 2011. – URL : <http://marketing.rbc.ru/researchJ562949979784348.shtml>
2. Mullakaev M.S. Ultrasonic intensification of catalytic oxidation of sulfur-organic compounds of diesel fractions // *Equipment and technologies for oil and gas complex.* – 2010. – № 4. – P. 38–41.
3. Baulin O.A. Methods of producing of diesel fuel with the improved ecological characteristics // *Neftegazovoye Delo.* – 2007. – № 1. – V. 5. – P. 189–192.
4. Lytkin A.S., Begak O.Y. Cetane-increasing additives for diesel fuel // *Avtomobil'naya Promyshlennost'.* – 2008. – № 8 – P. 30.
5. Bagirova N.N., Guseinova M.A. Ways to reduce harmful emissions into the atmosphere when burning liquid fuels // *Matrix of scientific knowledge.* – 2021. – № 1–2. – P. 29–33.
6. Bagirova N.N., Huseinova M.A. Methods of processing and disposal of oil-containing wastes // *The Scientific Heritage.* – 2022. – № 94. – P. 10–14.
7. Bagirova N.N., Mustafaeva R.E. Extraction enrichment of diesel fractions by n-methylpyrrolidone // *Oil refining and petrochemistry. PETROLEUM REFINING AND PETROCHEMICALS.* – 2023. – № 3. – P. 38–39.



УДК 547.464.7

СИНТЕЗ И РЕАКЦИИ 4-МЕТИЛЕН-2-МЕТИЛ-2-ИЗОБУТИЛ-1,3-ДИОКСОЛАНА**SYNTHESIS AND REACTIONS OF 2-[(E)-2-PHENYLETHENYL]-1,3-DIOXOLANE****Борисова Юлианна Геннадьевна**

кандидат химических наук,
доцент кафедры «Общая, аналитическая
и прикладная химия»,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
yulianna_borisova@mail.ru

Джумаев Шахобиддин Шамсидинович

кандидат химических наук,
инженер кафедры «Общая, аналитическая
и прикладная химия»,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет

Мусин Айрат Ильдарович

инженер-исследователь кафедры «Общая, аналитическая
и прикладная химия»,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет

Раскильдина Гульнара Зинуровна

доктор химических наук,
профессор кафедры «Общая, аналитическая
и прикладная химия»,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет

Аннотация. Конденсацией эпихлоргидрина и метилизобутилкетона получены диастереомерные син- и анти-2-метил-2-изобутил-4-хлорметил-1,3-диоксоланы. Синтезированные хлориды были использованы в реакции дегидрохлорирования в присутствии твердого гидроксида калия. В результате с количественным выходом выделен 2-метил-2-изобутил-4-метил-1,3-диоксолан – стартовый реагент для синтеза дихлор- и алкоксипроизводных.

Ключевые слова: циклические ацетали, 1,3-диоксоланы, гем-дихлорциклопропан, карбонильные соединения.

Borisova Yulianna Gennadievna

PhD in Chemistry,
Associate Professor of the Department
«General, Analytical and Applied Chemistry»,
Ufa State Petroleum Technological University
yulianna_borisova@mail.ru

Dzhumaev Shakhobiddin Shamsidinovich

PhD in Chemistry,
Engineer of the Department
«General, Analytical and Applied Chemistry»,
Ufa State Petroleum Technological University

Musin Airat Ildarovich

Research Engineer of the Department
«General, Analytical and Applied Chemistry»,
Ufa State Petroleum Technological University

Raskildina Gulnara Zinurovna

Doctor of Chemical Sciences,
Professor of the Department
«General, Analytical and Applied Chemistry»,
Ufa State Petroleum Technological University

Annotation. Condensation of epichlorohydrin and methylisobutylketone gave diastereomeric syn- and anti-2-methyl-2-isobutyl-4-chloromethyl-1,3-dioxolanes. The synthesized chlorides were used in the dehydrochlorination reaction in the presence of solid potassium hydroxide. As a result, 2-methyl-2-isobutyl-4-methylene-1,3-dioxolane, the starting reagent for the synthesis of dichloro- and alkoxy derivatives, was isolated in quantitative yield.

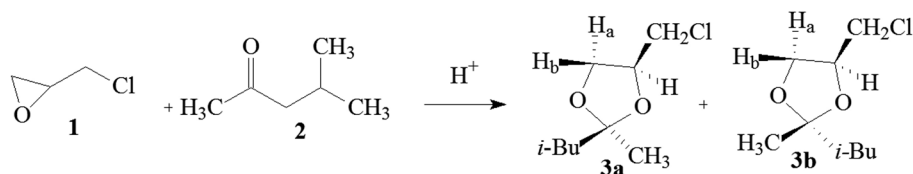
Keywords: cyclic acetals, 1,3-dioxolanes, gem-dichlorocyclopropane, carbonyl compounds.

Известно, что при переработке растительного сырья образуются различные циклические ацетали, которые применяются в качестве компонентов и добавок к моторным топливам [1-6]. Так же описано использование замещенных 1,3-диоксоланов для синтеза фармацевтических или полимерных продуктов [7, 8].

Ранее нами были получены изомерные 2- и 4-фенил-, 2- и 4-феноксиметил-1,3-диокса-циклоалканы – замещенные циклические ацетали (1,3-диоксацикланы) и определено их пространственное строение [9].

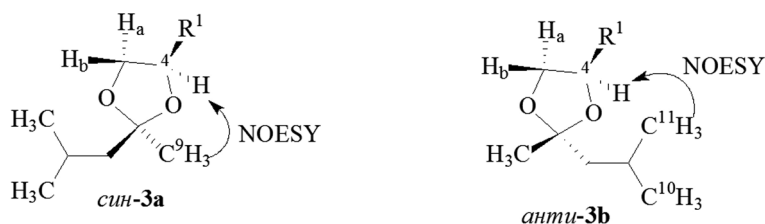
Продолжая эти исследования, мы синтезировали диастереомерные 2,2,4-триалкилзамещенные-1,3-диоксоланы в условиях микроволнового излучения с целью получения 2-метил-2-изобутил-4-метил-1,3-диоксолана, который был использован в реакциях дихлорциклопропанирования и присоединения в присутствии КУ-2 этанола.

2,2,4-Тризамещенные 1,3-диоксоланы 3а, б были получены конденсацией доступных нефтехимических соединений эпихлоргидрина 1 и метилизобутилкетона 2 присутствии КУ-2 в условиях микроволнового излучения.



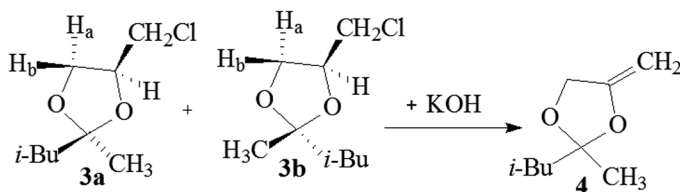
В выбранных условиях (40 °С и мощность 250 Вт) конденсация 1 с кетоном 2 проходила в условиях микроволнового излучения в течении 1 ч. Отметим, что получение 3а, б в условиях термического нагрева занимает 6 ч., тогда как при микроволновом способе синтеза время реакции сокращается в 6 раз, однако выход и селективность остаются прежними.

Строение полученных 2,2,4-тризамещенных 1,3-диоксоланов 3а, б подтверждено данными ЯМР ¹³С и ¹Н, а так же 2D гетероядерных ¹Н¹³С ЯМР экспериментов HSQC и HMBC методов. В случае различных заместителей R¹ и R² для молекул 3а, б в спектрах ЯМР ¹Н и ¹³С для каждого изомера наблюдается удвоенный набор сигналов одинаковой интенсивности, что свидетельствует об образовании диастереомерных пар, отличающихся положением заместителей у атомов С² в соотношении 1 : 1.

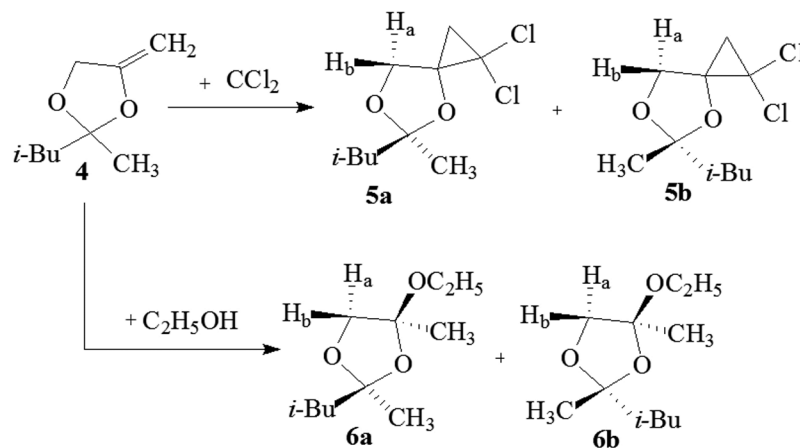


Анализ спектра 2D NOESY для 3а, б установлено, что наблюдаются кросс-пики взаимодействия протонов с ХС (химический сдвиг) в области 4.29–4.32 м.д. с протонами с ХС при 1.33 м.д., что указывает на сближенность С(4)Н протонов с протонами С(9)Н₃ и образовании син-конфигурации для 3а, так же для протонов с ХС в области 4.29–4.32 м.д. наблюдаются кросс-пики взаимодействия с протонами с ХС при 0.93 и 0.95 м.д., что указывает на сближенность протонов С(4)Н с протонами С(10)Н₃ или С(11)Н₃ для 3б и образование анти-конфигурации.

Синтезированные хлориды 3а, б в среде твердого гидроксида калия были использованы для получения при 200 °С 2-метил-2-изобутил-4-метил-1,3-диоксолана 4 – перспективного соединения для синтеза полимерных материалов [10].



Полученный 2-метил-2-изобутил-4-метил-1,3-диоксолан 4 – циклический аналог виниловых эфиров применялся для синтеза диастереомерных дихлоридов 5а, б и этоксипроизводных 6а, б.



Строение полученных 2,2,4-тризамещенных 1,3-диоксоланов 5а, б и 6а, б подтверждено данными ЯМР ¹³С и ¹Н, а так же 2D гетероядерных ¹Н¹³С ЯМР экспериментов HSQC и HMBC методов. В



случае различных заместителей R¹ и R² для молекул 5a, b и 6a, b в спектрах ЯМР ¹H и ¹³C для каждого изомера наблюдается удвоенный набор сигналов одинаковой интенсивности, что свидетельствует об образовании диастереомерных пар, отличающихся положением заместителей у атомов C² в соотношении 1 : 1.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности, номер для публикаций FEUR – 2022-0007 «Нефтехимические реагенты, масла и материалы для теплоэнергетики».

Список литературы / List of references:

1. Maximov A.L., Nekhaev A.I., Ramazanov D.N. Ethers and acetals, promising petrochemicals from renewable sources // *Pet. Chem.* – 2015. – V. 55. – № 1. – P. 1–21.
2. Oxygenate fuel additives on the basis on renewable raw materials. *Izvestiya Vuzov / L.A. Oparina [et al.] // Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology].* – 2018. – V. 8. – № 1. – P. 19–34. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-1-19-34.
3. Reaction between glycerol and acetone in the presence of ethylene glycol / D.N. Ramazanov [et al.] // *Pet. Chem.* – 2015. – V. 55. – № 2. – P. 140–145.
4. New possibilities in the synthesis of fuel oxygenates from renewable sources / S.D. Varfolomeev [et al.] // *Russian Chemical Bulletin.* – 2019. – V. 68. – № 4. – P. 717–724. DOI:10.1007/s11172-019-2478-3.
5. Cyclic Acetals as Novel Long-Lasting Mosquito Repellents / I. Immacolata [et al.] // *J. Agric. Food Chem.* – 2023. – V. 71. – P. 2152–2159.
6. Kadiev K.M., Batov A.E., Dandaev A.U. Hydrogenation processing of oil wastes in the presence of ultrafine catalysts // *Pet. Chem.* – 2015. – V. 55. – P. 667–672. DOI: 10.1134/S0965544115080083.
7. Raskil'dina G.Z., Sultanova R.M., Zlotsky S.S. Carbo- and heterocyclic platform compounds from petrochemical raw materials and their use in low-tonnage chemistry (review). – 2018. – № 3. – P. 3–15. DOI: 10.31040/2222-8349-2019-0-3-5-18.
8. New medium oxacyclic O-, N-acetals and related open analogues: biological activities / J. Campos [et al.] // *Current Medicinal Chemistry.* – 2005. – V. 12. – № 12. – P. 1423–1438. DOI:10.2174/0929867054020927.
9. Synthesis and physical and chemical characteristics of isomeric 2-, 4-substituted 1,3-dioxacycloalcanes / G.Z. Raskil'dina [et al.] // *Chemistry and Technology of Organic Substances.* – 2019. – № 1 (9). – P. 4–12.
10. Morariu S., Simionescu B.C. On the polymerization of 2-(2',4'-dichlorophenyl)-4-methylene-1,3-dioxolane // *European Polymer Journal.* – 1994. – № 30(11). – P. 1339–1343.



УДК 628.3

ОЧИСТКА МОДЕЛЬНЫХ ВОД ОТ РАСТВОРЕННОЙ НЕФТИ КОМБИНИРОВАННЫМ СОРБЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР

PURIFICATION OF MODEL WATERS FROM DISSOLVED OIL BY COMBINED SORPTION MATERIAL BASED ON CEREAL WASTE

Брылякова Алина Александровна

магистр 1 курса,
студент кафедры «Инженерной экологии»,
Инженерный химико-технологический университет,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет
o123005@yandex.ru

Научный руководитель –

Степанова Светлана Владимировна

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Инженерной экологии»,
доцент кафедры «Химии и технологии органических
соединений азота»,
Инженерный химико-технологический университет,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет
ssvkan@yandex.ru

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию очистке модельных растворов растворенной нефти в воде в статических условиях с использованием инновационных сорбционных материалов на основе кислото- и термически обработанных образцов плодовых оболочек зерен овса, как по отдельности, так и в комбинации друг с другом. Показано, что при использовании комбинированных сорбционных материалов время «проскока» достигается через 140 мин, что в 1,75 раз больше по сравнению с термически обработанным образцом, при этом эффективность очистки остается на таком же уровне.

Ключевые слова: растворенная нефть, кислотообработанные плодовые оболочки зерен овса, термообработанные плодовые оболочки зерен овса, статическая адсорбция, отходы злаковых культур, очистка модельных вод.

Brylyakova Alina Aleksandrovna

1st year Master student of the Department
of «Engineering Ecology»,
Engineering Chemical Technology University,
Kazan National Research
Technological University
o123005@yandex.ru

Scientific supervisor –

Stepanova Svetlana Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of «Engineering Ecology»,
Associate Professor of the Department
of «Chemistry and Technology
of Organic Nitrogen Compounds»,
Engineering Chemical Technology University,
Kazan National Research
Technological University
ssvkan@yandex.ru

Annotation. This article is devoted to the study of purification of model solutions of dissolved oil in water under static conditions using innovative sorption materials based on acid- and heat-treated samples of oat husks, both individually and in combination with each other. It is shown that when using combined sorption materials, the «slip» time is reached after 140 minutes, which is 1.75 times more than with a thermally treated sample, while the cleaning efficiency remains at the same level.

Keywords: dissolved oil, acid-treated fruit shells of oat grains, heat-treated fruit shells of oat grains, static adsorption, waste of cereal crops, purification of model waters.

Введение. В настоящее время проблема загрязнения водных объектов нефтепродуктами стоит как никогда остро. Поступление нефтепродуктов в водные объекты вызывают гибель большинства их обитателей. Проблема очистки воды от нефтяных загрязнений является значимой в народном хозяйстве страны и для многих отраслей промышленности [1].

Одной из главных причин увеличения содержания углеводородов в пресных водах в растворенном состоянии, и не только в растворенном, являются аварии при добыче и транспортировке нефти [2]. Второй по значимости источник загрязнения водных объектов – сточные воды, сбрасываемые предприятиями, в деятельности которых так или иначе вовлечены нефть и нефтепродукты. В малой степени еще одними источниками загрязнения водоемов нефтепродуктами, не связанные с добычей, хранением, транспортировкой и переработкой нефти, являются водный транспорт и коммунальная деятельность [3].

Нефть и нефтепродукты, попадая в водную среду, очень быстро перестают существовать в качестве исходных субстратов. Их судьба и биологическое действие в водных экосистемах определяются физико-химическими свойствами. В момент попадания нефть локализуется на поверхности воды в виде пленки, вследствие чего нарушается газо-, энерго-, тепло- и влагообмен между атмосферой и гидросферой [4]. Почти все компоненты сырой нефти и ее фракций имеют плотность менее 1 г/см³, а некоторые из них так



или иначе переходят в растворенное состояние. Одновременно с этим происходит процесс испарения летучих фракций. В среднем лишь около 1–3 % (иногда до 15 %) сырой нефти (в основном легкие углеводороды) растворимы в воде, тогда как испаряется ее от 10 до 40 % [5]. В водной среде нефть может находиться в нескольких агрегатных состояниях, а именно в виде: поверхностной пленки, эмульсии, взвешенной и растворенной форме

Предельно допустимая концентрация (ПДК) нефти и нефтепродуктов в воде составляет от 0,05 мг/дм³ до 0,1–0,3 мг/дм³ в зависимости от цели водопользования [6]. При наличии в воде 0,2–0,4 мг/дм³ нефти вода приобретает нефтяной запах, который не устраняется даже при фильтрации и хлорировании. Нефтяной запах распространяется на большие расстояния, чем другие загрязнения.

Для рыб наиболее токсичны легкие фракции нефти, особенно ароматические углеводороды. Они способны накапливаться в тканях рыб и, попадая в организм человека, вызывать в жировых клетках образование канцерогенно-белкового комплекса. Мальки, вылупившиеся из икры загрязненной рыбы, имеют мутагенные нарушения (отсутствие жабр, две головы и др.) [7]. Особую опасность представляют нефтяные кислоты, содержащиеся в нефти и нефтепродуктах (их концентрация в воде 0,3 мг/дм³ смертельна для гидробионтов) [8].

Извлечение растворимой нефти сложный и трудоемкий процесс, и это удастся осуществить только с помощью применения адсорбентов или озонирования, другими методами отделить растворенную нефть не представляется возможным [9]. Часто в качестве сорбентов для удаления нефти и нефтепродуктов используют активированный бурый уголь, однако сейчас ведутся исследования по разработке новых сорбционных материалов из отходов растительного, плодовых оболочек зерен овса, ячменя, пшеницы и т.д. – которых подвергают модификации и термообработке [10, 11]. Использование данных сорбентов является перспективным направлением, так как они очень дешевы и доступны.

Основная часть. В данной работе проводились исследования по очистке модельных вод от растворенных компонентов нефти термо- (ТПЗО) и кислотообработанных плодовых оболочек зерен овса (КПОЗО) [12].

В ходе эксперимента взяты навески модифицированных образцов по 1 г и помещены в колбы на 250 см³ исследуемого материала, которые залили 100 см³ модельного раствора. Концентрация нефтепродуктов в воде варьировалась в пределах 10–50 мг/дм³. Колбы поставлены на качалку, и перемешивались в течении 3–4 часов. Пробы брались каждые 20 минут, в каждой измерялась остаточная концентрация нефтепродуктов.

По результатам очистки модельного раствора от нефтепродуктов образцами определена их остаточная концентрация нефти в воде после эксперимента и эффективность очистки. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Остаточная концентрация нефти в воде после очистки

t, мин	ТПЗО	КПОЗО	ТПЗО : КПОЗО = 2 : 1
	C, мг/дм ³		
0	46,88	10,49	16,4
20	39,09	1,47	3,67
40	5,67	0,08	3,55
60	1,42	0,08	3,33
80	0,85	0,07	2,00
100	9	0,63	0,68
120	17,8	0,05	0,05
140	19,4	0,09	0,05
180	12,03	2,38	3,35
240	–	2,6	3,41
Э, %	98,19	99,52	99,70

Также подсчитана статическая обменная емкость для каждого образца по формуле 1:

$$Э = \frac{C_{исх} - C_{ост}}{C_{исх}} \cdot 100 \%, \tag{1}$$

где $C_{исх}$ – исходная концентрация нефти в воде, мг/см³; $C_{ост}$ – остаточная концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, мг/дм³.

Результаты представлены на рисунке 1.

Из данных, представленных на гистограмме и в таблице видно, что продолжительность работы КПОЗО 2 часа и КПОЗО+ТПЗО составила 140 мин, когда как ТПОЗО работал около 80 минут. Эффективность очистки всех образцов варьировалась в пределах 98–99 %.

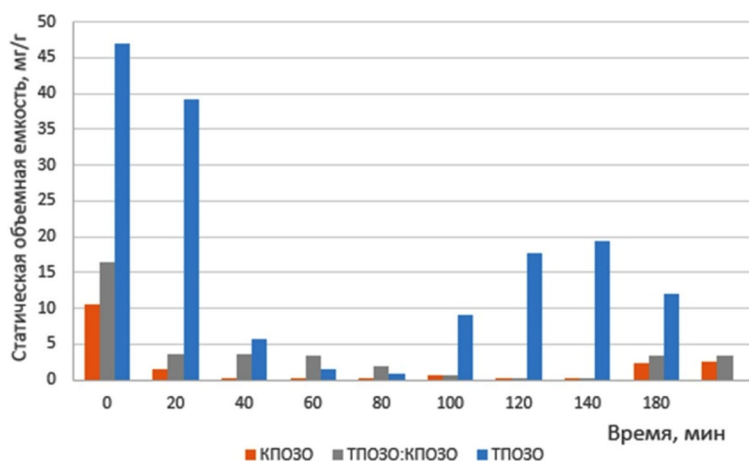


Рисунок 1 – Зависимость статической емкости от времени

Вывод: при проведении эксперимента установлено, что при использовании комбинированных сорбционных материалов на основе отходов злаковых культур в очистке модельного раствора от растворенной нефти время «проскока» достигается через 140 мин, что в 1,75 раз больше по сравнению с термически обработанным образцом, при этом эффективность очистки остается на таком же уровне.

Данный комбинированный сорбционный материал можно рекомендовать в качестве загрузки на стадии доочистки сточных вод нефтехимических производств.

Список литературы:

1. Громыко Н.В. Новые сорбционные материалы для очистки сточных вод от нефтепродуктов [Электронный ресурс]. – URL : http://sci-article.ru/number/11_2015.pdf
2. Карпович Л.Л., Масленникова В.В. Аварийное загрязнение поверхностных вод Российской Федерации // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто/ИнтерГИС». – 2013. – Т. 19(1). – С. 69–72.
3. Индивидуальные органические соединения нефти как индикаторы техногенного нефтяного загрязнения водной среды / М.Г. Кульков [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 196–200.
4. Караев С., Шихалиев К. Экологические проблемы транспортировки нефти и нефтепродуктов и новые методы очистки водной поверхности от нефти и нефтепродуктов // Hannover: EAEN. – 2014. – 44 с.
5. Поверхностные воды. Основы нефтегазовой геоэкологии. – [Электронный ресурс]. – URL : <https://studref.com/600537/>
6. ГН 2.1.5.689-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М. : Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003.
7. Влияние нефти на водоем. Водные ресурсы – [Электронный ресурс]. – URL : https://vuzlit.com/1332971/vliyanie_nefti_vodoem?
8. Нефтяное загрязнение. Экология природных ресурсов – [Электронный ресурс]. – URL : <https://oblasti-ekologii.ru/ecology/vozdjstvie-na-vodnuu-sredu/osnovnye-zagraznaushie-veschestva/neftyanoe-zagryaznenie?>
9. Возможные состояния нефти в нефтесодержащих водах. – [Электронный ресурс]. – URL : <https://helpiks.org/9-51537.html?>
10. Хусаинова А.А., Степанова С.В. Очистка вод от растворенных нефтепродуктов кислотомодифицированными растительными отходами // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: Сборник докладов Всероссийской научной конференции, Белгород, 14–18 октября 2019 года. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 266–270.
11. Степанова С.В., Шайдуллина А.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод термически обработанными оболочками плодов овса в динамических условиях // Химия и инженерная экология: XVI международная научная конференция, посвященная 15-летию реализации принципов Хартии Земли в Республике Татарстан, Казань, 25–27 сентября 2016 года. – Казань : Фолиант, 2016. – С. 253–256.
12. Брылякова А.А., Яковлева А.В., Степанова С.В. Разработка технологии получения нового адсорбционного материала из отходов злаковых культур // Инновационные технологии защиты окру-



жающей среды в современном мире: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов, Казань, 18–19 марта 2021 года. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2021. – С. 758–761.

List of references:

1. Gromyko N.V. New sorption materials for wastewater treatment of petroleum products [Electronic resource]. – URL : http://sci-article.ru/number/11_2015.pdf
2. Karpovich L.L., Maslennikova V.V. Accidental pollution of surface waters of the Russian Federation // Proceedings of the International Conference «InterKarto/InterGIS2. – 2013. – V. 19(1). – P. 69–72.
3. Individual organic compounds of oil as indicators of technogenic oil pollution of the aquatic environment / M.G. Kulkov [et al.] // Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. – 2010. – V. 317. – № 1. – P. 196–200.
4. Karayev S., Shikhaliyev K. Environmental problems of oil and oil products transportation and new methods of cleaning water surface from oil and oil products // Hannover: EAEN. – 2014. – 44 p.
5. Surface waters. Fundamentals of oil and gas geoecology. – [Electronic resource]. – URL : <https://studref.com/600537/>
6. GN 2.1.5.689–98. Maximum Permissible Concentrations (MPC) of Chemical Substances in Water of Water Bodies for Household and Drinking and Cultural and Domestic Use. – M. : Russian Register of Potentially Hazardous Chemicals and Biological Substances of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2003.
7. Influence of oil on water reservoirs. Water resources – [Electronic resource]. – URL : https://vuzlit.com/1332971/vliyanie_nefti_vodoem?
8. Oil pollution. Ecology of natural resources – [Electronic resource]. – URL : <https://oblasti-ekologii.ru/ecology/vozdejstvie-na-vodnuu-sredu/osnovnye-zagraznaushie-veschestva/neftyanoe-zagryaznenie?>
9. Possible states of oil in oily waters. – [Electronic resource]. – URL : <https://helpiks.org/9-51537.html?>
10. Khusainova A.A., Stepanova S.V. Cleaning waters from dissolved petroleum products by acid-modified vegetable wastes // Safety, protection and conservation of the natural environment: fundamental and applied research: Collection of reports of the All-Russian scientific conference, Belgorod, October 14–18, 2019. – Belgorod : Belgorod State Technological University named after Shukhov. V.G. Shukhov, 2019. – P. 266–270.
11. Stepanova S.V., Shaydullina A.A. Treatment of oily wastewater by thermally treated oat fruit shells under dynamic conditions // Chemistry and Engineering Ecology: XVI International Scientific Conference dedicated to the 15th anniversary of the Earth Charter principles in the Republic of Tatarstan, Kazan, September 25–27, 2016. – Kazan : Foliant, 2016. – P. 253–256.
12. Brylyakova A.A., Yakovleva A.V., Stepanova S.V. Development of technology for obtaining new adsorption material from cereal waste // Innovative technologies of environmental protection in the modern world: materials of All-Russian scientific conference with international participation of young scientists and specialists, Kazan, 18–19 March 2021. – Kazan : Kazan National Research Technological University, 2021. – P. 758–761.



УДК 66.011

ОЦЕНКА РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИДКОЙ ФАЗЫ ТРУБЧАТЫМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕМ МЕТОДОМ CFD-АНАЛИЗА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПЛОТНОСТЯХ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

EVALUATION OF THE UNIFORMITY OF THE DISTRIBUTION OF THE LIQUID PHASE BY A TUBULAR DISTRIBUTOR BY THE METHOD OF CFD-ANALYSIS AT DIFFERENT DENSITIES OF THE LIQUID PHASE

Валеев Анвар Ринатович

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
spestersnape@gmail.com

Чуракова Светлана Константиновна

доктор технических наук, профессор,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
chskugntu@rambler.ru

Муллабаев Камиль Азаматович

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
kamil200995@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрена работа трубчатого распределителя жидкости при различных плотностях жидкой фазы.

Ключевые слова: CFD-анализ, равномерность распределения, трубчатый распределитель.

Valeev Anvar Rinatovich

Post-graduate of Department
of Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
spestersnape@gmail.com

Churakova Svetlana Konstantinovna

Doctor of technical Sciences, Professor,
Ufa State Petroleum Technological University
chskugntu@rambler.ru

Mullabaev Kamil Azamatovich

Post-graduate of Department
of Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
kamil200995@gmail.com

Annotation. The article considers the operation of a tubular liquid distributor at various densities of the liquid phase.

Keywords: CFD-analysis, distribution uniformity, tubular distributor.

Для обеспечения эффективной работы контактных устройств массообменных аппаратов важным фактором является равномерное распределение жидкости. В случае низкой эффективности распределителей жидкости на контактных устройствах возможно локальное пересыхание, что приводит к выведению таких областей из процесса массообмена, а также снижает срок службы контактного устройства [3].

В данной работе рассмотрена работа трубчатого распределителя жидкости в диапазоне плотностей жидкой фазы от 400 до 1000 кг/м³, при расходе жидкости 12,8 м³/ч при расходе воздуха 3620 м³/ч и диаметре колонны 800 мм (рис. 1). [1]

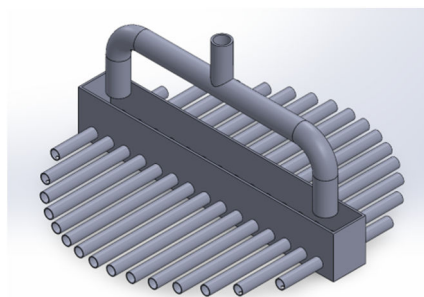


Рисунок 1 – Трехмерная модель трубчатого распределителя жидкости

Методика оценки эффективности распределения дисперсной фазы подробно рассмотрена в работе [2]. Функция эффективности распределения для капель дисперсной фазы $\Phi(v_\varphi)$ рассчитывается по формуле:

$$\Phi(v_\varphi) = \frac{1}{1 + \sigma_\varphi / \bar{\varphi}}, \quad (1)$$



где σ_φ – среднеквадратичное отклонения величины объемной доли дисперсной фазы; $\bar{\varphi}$ – среднее значение объемной доли дисперсной фазы в сечении S_{XY} .

Для сравнительной оценки эффективности распределения потоков в CFD-среде просчитываются поля объемной доли дисперсной фазы. Далее высчитывается функция эффективности распределения $\Phi(v_\varphi)$ (табл. 1). В соответствии с данными, приведенными в работе [2], значения функции $\Phi(v) > 0.5$ отвечают приемлемому распределению, а $\Phi(v) < 0.5$ – неравномерному распределению. Сечение SXY принято на 200 мм ниже нижней точки распределительного устройства.

Таблица 1 – Результаты расчетного анализа

Плотность жидкой фазы, кг/м ³	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
Значение функции эффективности распределения	0,382	0,371	0,432	0,489	0,463	0,493	0,520	0,516	0,534	0,546	0,577

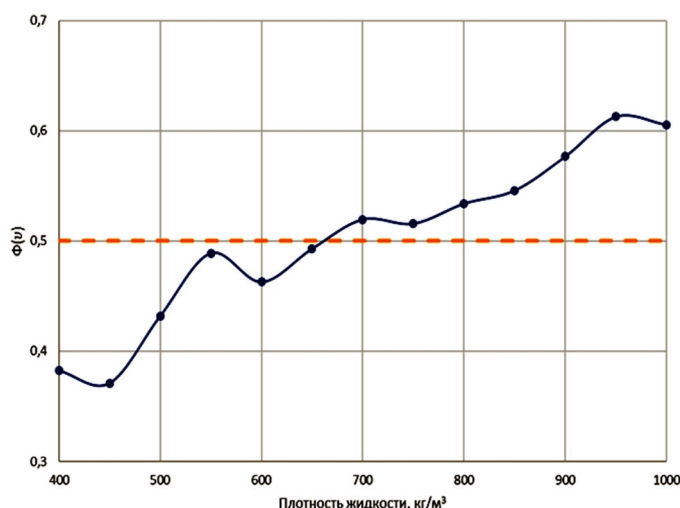


Рисунок 2 – График зависимости функции эффективности распределения от плотности жидкой фазы

По графику зависимости функции эффективности распределения от плотности жидкой фазы (рис. 2), видно, что значение функции распределения для рассмотренной конструкции выше 0,5 достигается при плотности жидкой фазы выше 663 кг/м³.

Наиболее эффективное распределение достигается при плотности жидкости 950 кг/м³ ($\Phi(v_\varphi) = 0,613$).

В рассмотренном диапазоне график представляет собой практически линейную зависимость функции эффективности распределения от плотности жидкой фазы, в следствие чего можно сделать вывод о наличии некоторого нижнего граничного значения, при которой применение трубчатого распределителя жидкости в каждом конкретном случае становится нецелесообразным.

Список литературы:

1. Koch-Glitsch. Liquid distributors [Электронный ресурс]: каталог внутренних устройств колонного оборудования [Электрон. ресурс]. – URL : <https://koch-glitsch.com/products/packing-and-internals?productcategory=packing-and-internals&categoryname=m-Liquid-Distributors>
2. Муллабаев К.А., Чуракова С.К., Валеев А.Р. Разработка методов оценки равномерности распределения фаз в насадочных экстракторах средствами CFD-систем // Башкирский химический журнал. – 2022. – Т. 29. – № 2. – С. 71–76.
3. Чуракова С.К. Варианты интенсификации действующего массообменного оборудования в процессах нефтегазопереработки и нефтехимии // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2013. – № 5. – С. 48–52.

List of references:

1. Koch–Glitsch. Liquid distributors [Electronic resource]: catalog of column equipment internals [Electronic resource]. – URL : <https://koch-glitsch.com/products/packing-and-internals?productcategory=packing-and-internals&categoryname=m-Liquid-Distributors>.
2. Mullabaev K.A., Churakova S.K., Valeev A.R. Development of methods for assessing the uniformity of phase distribution in the packed bed extractors by means of CFD-systems // Bashkir Chemical Journal. – 2022. – V. 29. – № 2. – P. 71–76.
3. Churakova S.K. Options for intensifying the current mass exchange equipment in the processes of oil and gas refining and petrochemicals // Refining and Petrochemicals. – 2013. – № 5. – P. 48–52.



УДК 621.181

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАРОГЕНЕРАТОРА СО СТАТИЧЕСКИМ РАСПЫЛИТЕЛЕМ ЖИДКОСТИ

ANALYSIS OF STEAM GENERATOR OPERATION WITH STATIC LIQUID SPRAYER

Васильев Пётр Сергеевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Процессы и аппараты химических
и пищевых производств»,
Волгоградский государственный технический университет
nestorvv@mail.ru

Шурак Антон Анатольевич

старший преподаватель кафедры
«Процессы и аппараты химических и пищевых производств»,
Волгоградский государственный технический университет
a-shurak2@mail.ru

Рева Леонид Саввич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Процессы и аппараты химических
и пищевых производств»,
Волгоградский государственный технический университет
leonidreva46@mail.ru

Аннотация. На основе теоретического анализа процесса капельного кипения определены оптимальные геометрические размеры и технологические параметры работы электрического парогенератора со статическим распылителем жидкости.

Ключевые слова: водяной пар, капельное кипение, технологический аппарат, статический распылитель.

Vasilyev Pyotr Sergeevich

Ph. D., associate professor of the department
«Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production»,
Volgograd State Technical University
nestorvv@mail.ru

Shurak Anton Anatolevich

Senior Lecturer of the Department
«Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production»,
Volgograd State Technical University
a-shurak2@mail.ru

Reva Leonid Savvich

Ph. D., associate professor of the department
«Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production»,
Volgograd State Technical University
leonidreva46@mail.ru

Annotation. Based on a theoretical analysis of the drip boiling process, the optimal geometric dimensions and technological parameters of the electric steam generator with a static liquid sprayer are determined.

Keywords: water vapor, drip boiling, technological apparatus, static sprayer.

Водяной пар является ключевым теплоносителем, обеспечивающим работу ТЭЦ в химической, нефтяной и газовой отраслях промышленности. Кроме того, его закачивают в нефтяные пласты для повышения выработки остаточных запасов нефти в месторождениях, находящихся в поздней стадии разработки, а также в начальной стадии в условиях крайнего севера [1]. Для выработки водяного пара в больших объёмах необходимо наличие высокопроизводительных парогенераторов, обладающих значительными габаритами и металлоёмкостью, что увеличивает их стоимость, а также тепловые потери в окружающую среду.

На рисунке 1 представлена схема конструкции электрического парогенератора, работающего по технологии капельного кипения, со статическим распылителем жидкости в виде соосно расположенной питающей трубы с установленными на ней форсунками, расстояние между которыми определяется соотношением $l = (0,5 \div 1,5) \cdot D$.

Необходимо отметить, что для капельного кипения воды под атмосферным давлением максимальные значения температурного напора составляют $140 \div 160$ °С, коэффициента теплоотдачи $90 \div 100$ кВт/(м²·К), а удельного теплового потока $10 \div 12$ МВт/м². Это обстоятельство позволяет поддерживать высокую интенсивность процесса парообразования, обеспечивающую уменьшение габаритов, металлоёмкости и стоимости парогенераторов [2–4].

В таблице приведены основные исходные данные и результаты теоретического анализа работы представленного на рисунке 1 парогенератора с центробежными форсунками при $l = D$, выполненного с использованием расчётных зависимостей [2–6] на производительность по насыщенному водяному пару 5000 кг/ч.

На основании данных таблицы можно сделать вывод о том, что предлагаемый парогенератор обеспечивает значения температурного напора порядка 100 °С, коэффициента теплоотдачи порядка 60 кВт/(м²·К) и удельного теплового потока порядка 9 МВт/м², в результате чего имеет очень компактные габариты и крайне невысокую металлоёмкость при весьма умеренных энергетических затратах на распыливание жидкости.

На рисунке 2 – основные результаты модельного расчёта парогенератора представлены в графическом виде.

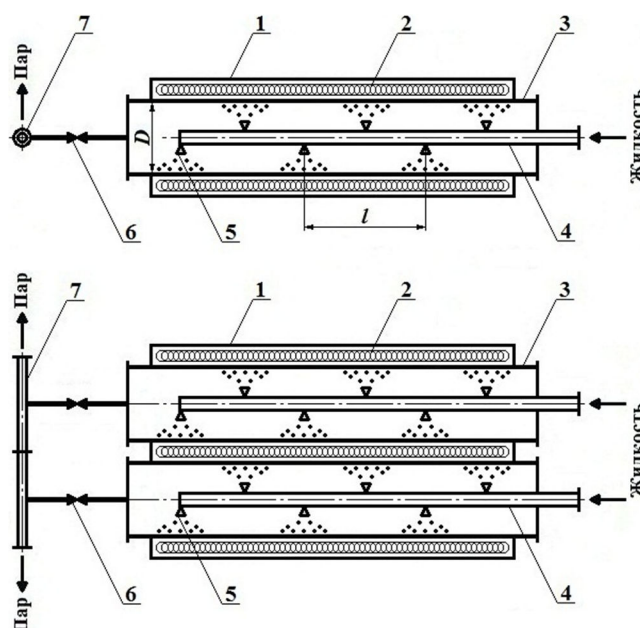


Рисунок 1 – Схема электрического парогенератора со статическим распылителем жидкости:
 1 – корпус; 2 – электрический нагреватель; 3 – поверхность нагрева; 4 – питающая труба; 5 – форсунки; 6 – дроссельное устройство; 7 – паровой коллектор

Таблица – Основные исходные данные и результаты модельного расчёта парогенератора со статическим распылителем жидкости

Исходные данные			
1. Производительность по насыщенному водяному пару	кг/ч	G	5000
2. Температура кипения воды	°С	t _{кип}	100
3. Начальная температура воды	°С	t _н	20
4. Краевой угол смачивания стальной поверхности нагрева водой [3]	град.	θ	46
5. Среднее арифметическое отклонение профиля стальной поверхности нагрева (горячий листовой прокат) [3]	мкм	R _a	2,3
6. Средний шаг неровностей профиля стальной поверхности нагрева (горячий листовой прокат) по средней линии [3]	мкм	S _m	170
7. Характеристический диаметр капель воды при её распыле центробежной форсункой с винтовым завихрителем [5]	мм	d _к	0,22
8. Скорость подачи капель воды на поверхность нагрева с помощью центробежной форсунки с винтовым завихрителем [5]	м/с	w	32,1
9. Коэффициент плотности укладки капель воды на поверхности нагрева [6]	–	ε _к	0,4
10. Единичная площадь поверхности нагрева [6]	м ²	F ₁	1
11. Внутренний диаметр испарительной трубы	м	D	0,2
Расчётные параметры			
12. Рабочая температура поверхности нагрева [4]	°С	t _{ср}	202
13. Диаметр пятна контакта кипящих на поверхности нагрева капель воды [3]	мм	d _п	0,64
14. Время испарения капель воды с поверхности нагрева [2]	с	τ	2,5·10 ⁻³
15. Коэффициент теплоотдачи при капельном кипении воды [4]	кВт/(м ² ·К)	α	58,3
16. Площадь поверхности нагрева [6]	м ²	F	0,41
17. Тепловая нагрузка	кВт	Q	3600
18. Удельный тепловой поток	кВт/м ²	q	8780
19. Длина испарительной трубы	м	L	0,65
20. Число испарительных труб	–	n _т	1
21. Число центробежных форсунок [5]	–	n _ф	6
22. Гидравлическое сопротивление при распыливании воды [5]	кПа	Δр	1200

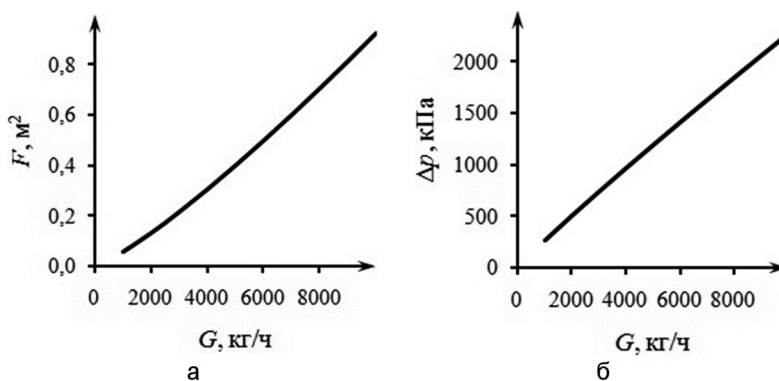


Рисунок 2 – Основные результаты расчёта ($n\phi = 6$):
а – график зависимости $F = f(G)$; б – график зависимости $\Delta p = f(G)$

Из рисунка 2 видно, что площадь поверхности нагрева и гидравлическое сопротивление при распыливании воды линейно зависят от расхода насыщенного водяного пара, что делает процесс проектирования предлагаемого парогенератора менее затратным по времени.

Таким образом, использование технологии капельного кипения обеспечивает работу предлагаемого парогенератора со статическим распылителем жидкости в эффективном режиме, что позволяет рекомендовать его к использованию в различных отраслях промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-1603.2022.4 «Разработка энергоресурсоэффективного оборудования для реализации тепломассообменных процессов с использованием множественного капельного кипения и высокопористых материалов на основе экспериментально-теоретических исследований».

Список литературы:

1. Шурак А.А., Васильев П.С., Рева Л.С. Повышение энергоэффективности и экологичности процесса разработки нефтяных месторождений за счёт утилизации тепла попутного нефтяного газа // Сборник докладов IV международной научно-практической конференции «Повышение эффективности сопровождения нефтегазовых активов» (г. Пермь, 19–21 октября 2022 г.) / под ред. Н.В. Мельниковой; ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг». – Сыктывкар, 2022. – С. 271–275.
2. Определение времени испарения кипящей на поверхности нагрева капли жидкости / П.С. Васильев [и др.] // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 5. – С. 121–126.
3. Определение площади пятна контакта кипящей на поверхности нагрева капли жидкости / П.С. Васильев [и др.] // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 13. – С. 116–123.
4. Экспериментальное исследование теплоотдачи при кипении капли жидкости на поверхности нагрева / П.С. Васильев [и др.] // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 22. – С. 28–33.
5. Геллер З.И. Мазут как топливо. – М. : Недра, 1965. – 496 с.
6. Энергоэффективная конструкция испарителя в производстве стирола / П.С. Васильев [и др.] // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 2. – С. 52–56.

List of references:

1. Shurak A.A., Vasiliev P.S., Reva L.S. Improvement of energy efficiency and environmental friendliness of the oil field development process through utilization of associated petroleum gas heat // Collection of reports of the IV International Scientific-Practical Conference «Improving the efficiency of oil and gas assets support» (Perm, 19–21 October 2022) / edited by N.V. Melnikova; LLC «LUKOIL–Engineering». – Syktyvkar, 2022. – P. 271–275.
2. Determination of the evaporation time of boiling on the heating surface of the liquid drop / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulletin of technological university. – 2016. – V. 19. – № 5. – P. 121–126.
3. Determination of the contact area of the liquid droplet boiling on the heating surface / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulletin of technological university. – 2016. – V. 19. – № 13. – P. 116–123.
4. Experimental study of heat transfer at boiling a liquid drop on the heating surface / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulletin of technological university. – 2017. – V. 20. – № 22. – P. 28–33.
5. Geller Z.I. Fuel oil as fuel. – Moscow: Nedra, 1965. – 496 p.
6. Energy Efficient Evaporator Design in Styrene Production / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulatov Readings. – 2022. – V. 2. – P. 52–56.



УДК 621.181

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАРОГЕНЕРАТОРА С ДИНАМИЧЕСКИМ РАСПЫЛИТЕЛЕМ ЖИДКОСТИ

ANALYSIS OF STEAM GENERATOR OPERATION WITH DYNAMIC LIQUID SPRAYER

Васильев Пётр Сергеевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Процессы и аппараты химических
и пищевых производств»,
Волгоградский государственный технический университет
nestorvv@mail.ru

Шурак Антон Анатольевич

старший преподаватель кафедры
«Процессы и аппараты химических и пищевых производств»,
Волгоградский государственный технический университет
a-shurak2@mail.ru

Рева Леонид Саввич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Процессы и аппараты химических
и пищевых производств»,
Волгоградский государственный технический университет
leonidreva46@mail.ru

Аннотация. На основе теоретического анализа процесса капельного кипения определены оптимальные геометрические размеры и технологические параметры работы электрического парогенератора с динамическим распылителем жидкости.

Ключевые слова: водяной пар, капельное кипение, технологический аппарат, динамический распылитель.

Vasilyev Pyotr Sergeevich

Ph. D., associate professor of the department
«Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production»,
Volgograd State Technical University
nestorvv@mail.ru

Shurak Anton Anatolevich

Senior Lecturer of the Department
«Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production»,
Volgograd State Technical University
a-shurak2@mail.ru

Reva Leonid Savvich

Ph. D., associate professor of the department
«Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production»,
Volgograd State Technical University
leonidreva46@mail.ru

Annotation. Based on a theoretical analysis of the drip boiling process, the optimal geometric dimensions and technological parameters of the electric steam generator with a dynamic liquid sprayer are determined.

Keywords: water vapor, drip boiling, technological apparatus, dynamic sprayer.

Водяной пар является ключевым теплоносителем, обеспечивающим работу ТЭЦ в химической, нефтяной и газовой отраслях промышленности. Кроме того, его закачивают в нефтяные пласты для повышения выработки остаточных запасов нефти в месторождениях, находящихся в поздней стадии разработки, а также в начальной стадии в условиях крайнего севера [1]. Для выработки водяного пара в больших объёмах необходимо наличие высокопроизводительных парогенераторов, обладающих значительными габаритами и металлоёмкостью, что увеличивает их стоимость, а также тепловые потери в окружающую среду.

На рисунке 1 представлена схема конструкции электрического парогенератора, работающего по технологии капельного кипения, с динамическим распылителем жидкости в виде вращающейся пористой трубы, диаметр и длина которой определяется соотношениями $d = (0,5 \div 0,8) \cdot D$ и $l = (0,5 \div 0,8) \cdot L$.

Необходимо отметить, что для капельного кипения воды под атмосферным давлением максимальные значения температурного напора составляют $140 \div 160$ °С, коэффициента теплоотдачи $90 \div 100$ кВт/(м²·К), а удельного теплового потока $10 \div 12$ МВт/м². Это обстоятельство позволяет поддерживать высокую интенсивность процесса парообразования, обеспечивающую уменьшение габаритов, металлоёмкости и стоимости парогенераторов [2–4].

В таблице приведены основные исходные данные и результаты теоретического анализа работы представленного на рисунке 1 парогенератора с вращающейся пористой трубой при $d = 0,8 \cdot D$ и $l = 0,8 \cdot L$, выполненного с использованием расчётных зависимостей [2–6] на производительность по насыщенному водяному пару 5000 кг/ч.

На основании данных таблицы можно сделать вывод о том, что предлагаемый парогенератор обеспечивает значения температурного напора порядка 110 °С, коэффициента теплоотдачи порядка 65 кВт/(м²·К) и удельного теплового потока порядка 9 МВт/м², в результате чего имеет очень компактные габариты и крайне невысокую металлоёмкость при весьма умеренных энергетических затратах на распыливание жидкости.

На рисунке 2 основные результаты модельного расчёта парогенератора представлены в графическом виде.

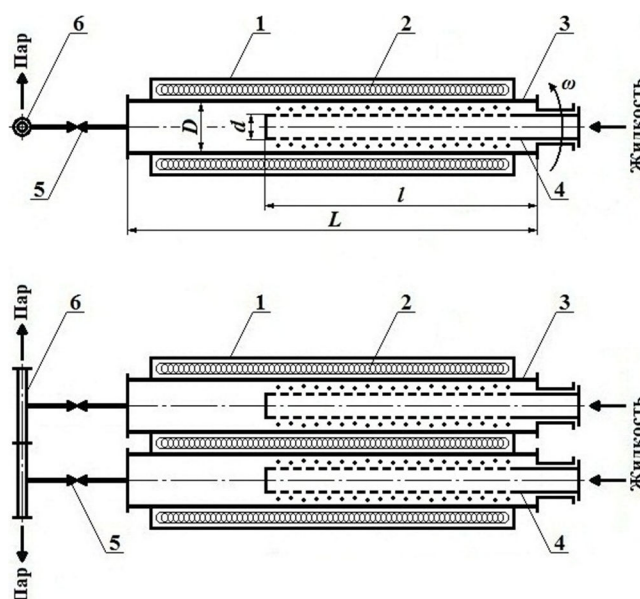


Рисунок 1 – Схема электрического парогенератора с динамическим распылителем жидкости:
 1 – корпус; 2 – электрический нагреватель; 3 – поверхность нагрева; 4 – вращающаяся пористая труба;
 5 – дроссельное устройство; 6 – паровой коллектор

Таблица – Основные исходные данные и результаты модельного расчёта парогенератора с динамическим распылителем жидкости

Исходные данные			
1. Производительность по насыщенному водяному пару	кг/ч	G	5000
2. Температура кипения воды	°С	t _{кип}	100
3. Начальная температура воды	°С	t _н	20
4. Краевой угол смачивания стальной поверхности нагрева водой [3]	град.	θ	46
5. Среднее арифметическое отклонение профиля стальной поверхности нагрева (горячий листовой прокат) [3]	мкм	R _a	2,3
6. Средний шаг неровностей профиля стальной поверхности нагрева (горячий листовой прокат) по средней линии [3]	мкм	S _m	170
7. Характеристический диаметр капель воды при её распыле с помощью вращающейся пористой трубы [5]	мм	d _к	0,29
8. Скорость подачи капель воды на поверхность нагрева с помощью вращающейся пористой трубы [5]	м/с	w	14,6
9. Диаметр зерна абразивного материала пористой трубы [5]	мкм	d _з	2000
10. Пористость абразивного материала трубы [5]	м ³ /м ³	ε	0,5
11. Коэффициент плотности укладки капель воды на поверхности нагрева [6]	–	ε _к	0,4
12. Единичная площадь поверхности нагрева [6]	м ²	F ₁	1
13. Внутренний диаметр испарительной трубы	м	D	0,2
Расчётные параметры			
14. Рабочая температура поверхности нагрева [4]	°С	t _{ст}	213
15. Диаметр пятна контакта кипящих на поверхности нагрева капель воды [3]	мм	d _п	0,76
16. Время испарения капель воды с поверхности нагрева [2]	с	τ	3,8·10 ⁻³
17. Коэффициент теплоотдачи при капельном кипении воды [4]	кВт/(м ² ·К)	α	64,8
18. Площадь поверхности нагрева [6]	м ²	F	0,49
19. Тепловая нагрузка	кВт	Q	3600
20. Удельный тепловой поток	кВт/м ²	q	8780
21. Длина испарительной трубы	м	L	0,79
22. Число испарительных труб	–	n _т	1
23. Частота вращения пористой трубы [5]	об/мин	n	2460

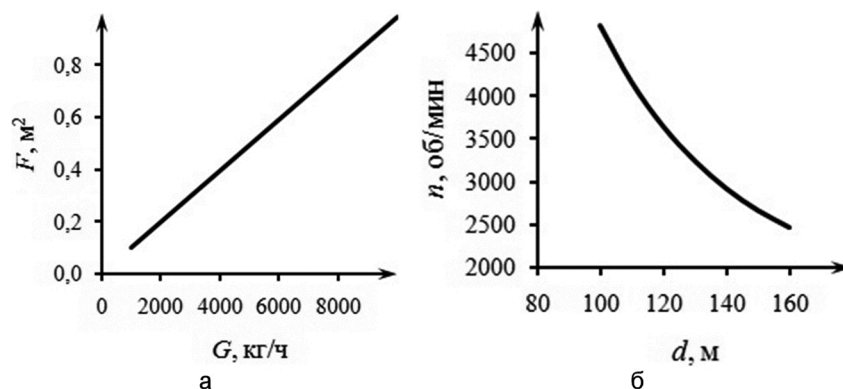


Рисунок 2 – Основные результаты расчёта:

а – график зависимости $F = f(G)$ при $n = 2460$ об/мин; б – график зависимости $n = f(d)$ при $G = 5000$ кг/ч

Из рисунка 2 видно, что площадь поверхности нагрева линейно зависит от расхода насыщенного водяного пара, практически так же, как и частота вращения пористой трубы от её диаметра, что делает процесс проектирования предлагаемого парогенератора менее затратным по времени.

Таким образом, использование технологии капельного кипения обеспечивает работу предлагаемого парогенератора с динамическим распылителем жидкости в эффективном режиме, что позволяет рекомендовать его к использованию в различных отраслях промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-1603.2022.4 «Разработка энергоресурсоэффективного оборудования для реализации тепломассообменных процессов с использованием множественного капельного кипения и высокопористых материалов на основе экспериментально-теоретических исследований».

Список литературы:

1. Шурак А.А., Васильев П.С., Рева Л.С. Повышение энергоэффективности и экологичности процесса разработки нефтяных месторождений за счёт утилизации тепла попутного нефтяного газа // Сборник докладов IV международной научно-практической конференции «Повышение эффективности сопровождения нефтегазовых активов» (г. Пермь, 19–21 октября 2022 г.) / под ред. Н.В. Мельниковой; ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг». – Сыктывкар, 2022. – С. 271–275.
2. Определение времени испарения кипящей на поверхности нагрева капли жидкости / П.С. Васильев [и др.] // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 5. – С. 121–126.
3. Определение площади пятна контакта кипящей на поверхности нагрева капли жидкости / П.С. Васильев [и др.] // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 13. – С. 116–123.
4. Экспериментальное исследование теплоотдачи при кипении капли жидкости на поверхности нагрева / П.С. Васильев [и др.] // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 22. – С. 28–33.
5. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М. : Химия, 1984. – 254 с.
6. Энергоэффективная конструкция испарителя в производстве стирола / П.С. Васильев [и др.] // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 2. – С. 52–56.

List of references:

1. Shurak A.A., Vasiliev P.S., Reva L.S. Improvement of energy efficiency and environmental friendliness of the oil field development process through utilization of associated petroleum gas heat // Collection of reports of the IV International Scientific-Practical Conference «Improving the efficiency of oil and gas assets support» (Perm, 19–21 October 2022) / edited by N.V. Melnikova; LLC «LUKOIL–Engineering». – Syktyvkar, 2022. – P. 271–275.
2. Determination of the evaporation time of boiling on the heating surface of the liquid drop / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulletin of technological university. – 2016. – V. 19. – № 5. – P. 121–126.
3. Determination of the contact area of the liquid droplet boiling on the heating surface / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulletin of technological university. – 2016. – V. 19. – № 13. – P. 116–123.
4. Experimental study of heat transfer at boiling a liquid drop on the heating surface / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulletin of technological university. – 2017. – V. 20. – № 22. – P. 28–33.
5. Pazhi D.G., Galustov V.S. Fundamentals of fluid atomization technique. – M. : Chemistry, 1984. – 254 p.
6. Energy Efficient Evaporator Design in Styrene Production / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulatov Readings. – 2022. – V. 2. – P. 52–56.



УДК 546.62:546.831.4:546.05

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК КРЕМНИЯ ИЗ ХЛОРИДНЫХ РАСПЛАВОВ С ДОБАВКОЙ K_2SiF_6

ELECTRODEPOSITION OF THE THIN SILICON FILMS FROM CHLORIDE MELTS WITH K_2SiF_6 ADDITION

Гевел Тимофей Анатольевичаспирант кафедры технологии электрохимических производств,
Уральский федеральный университет**Парасотченко Юлия Александровна**аспирант кафедры технологии электрохимических производств,
Уральский федеральный университет**Суздальцев Андрей Викторович**доктор химических наук, заведующий научной лабораторией электрохимических устройств и материалов,
Уральский федеральный университет
a.v.suzdaltsev@urfu.ru**Зайков Юрий Павлович**доктор химических наук, профессор,
заведующий кафедры технологии электрохимических производств,
Уральский федеральный университет

Аннотация. Тонкие пленки кремния востребованы для литий-ионных источников тока с повышенной удельной емкостью и для создания устройств преобразования солнечной энергии. В настоящей работе изучено электроосаждение тонких пленок кремния из малофторидных расплавов на основе хлоридов лития, калия и цезия. Для этого изучены закономерности электрозарождения кремния, определены параметры осаждения кремния в виде тонких пленок и проведены испытания по их синтезу. Получены и проанализированы экспериментальные образцы тонких пленок кремния.

Ключевые слова: кремний, тонкая пленка, хлоридный расплав, электроосаждение.

Gevel Timofey Anatolievich

Postgraduate student of the Department of Electrochemical Production Technology, Ural Federal University

Parasotchenko Yulia Alexandrovna

Postgraduate Student of the Department of Electrochemical Production Technology, Ural Federal University

Suzdaltsev Andrey ViktorovichDoctor of Chemical Sciences, Head of the Scientific Laboratory of Electrochemical Devices and Materials, Ural Federal University
a.v.suzdaltsev@urfu.ru**Zaikov Yuri Pavlovich**

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Department of Electrochemical Production Technology, Ural Federal University

Annotation. Thin silicon films are in demand for lithium-ion current sources with increased specific capacity and for the creation of solar energy conversion devices. In this paper, the electrodeposition of thin silicon films from low-fluoride melts based on lithium, potassium and caesium chlorides is studied. For this purpose, the regularities of silicon electrodeposition have been studied, the parameters of silicon deposition in the form of thin films have been determined and tests for their synthesis have been carried out. Experimental samples of silicon thin films were obtained and analyzed.

Keywords: silicon, thin film, chloride melt, electrodeposition.

Введение

Наряду с широким использованием в микроэлектронике кремний находит все большее применение в возобновляемой энергетике для изготовления устройств преобразования и накопления энергии [1]. В частности, кремний и материалы на его основе могут быть использованы в литий-ионных источниках тока и фотоэлектрических элементах с улучшенными энергетическими характеристиками. Для вышеперечисленных устройств представляют интерес сплошные осадки высокочистого кремния с контролируемым содержанием микропримесей, которые могут быть получены при электролизе расплавленных солей. В отличие от реализованного в промышленности способа электролитического получения характеризуется относительно низкой температурой, простотой исполнения и возможностью управления составом микропримесей и морфологией получаемых осадков кремния: от сплошных микроразмерных пленок до нано- и микроразмерных волокон, игл и трубок. Более того, осадки кремния необходимой морфологии могут быть получены в одну стадию.

Известны способы электроосаждения пленок кремния толщиной от 0.5 до 100 мкм из расплавов: $KF-NaF-LiF$ при 750–800 °C [2]; $CaCl_2-CaO-SiO_2$ при 850 °C [3]; $KF-KCl-KI-K_2SiF_6$ при 700–750 °C [4]; $KF-KCl-K_2SiF_6 (SiCl_4)$ при 800 °C [5]. Основными проблемами известных способов электроосаждения пленок кремния являются низкая термическая устойчивость кремнийсодержащих электроактивных ионов в расплаве и повышенная химическая агрессивность используемых расплавов, затрудняющие контролируемое электроосаждение кремния заданной морфологии и приводящие к коррозии конструкционных материалов реактора, а также появлению примесей в расплаве и в получаемом кремнии.



Для решения некоторых из вышеперечисленных проблем нами были предложены способы электроосаждения кремния из малофторидных расплавов на основе хлоридов (LiCl , KCl , CsCl) с добавкой K_2SiF_6 [6]. Выбранные расплавы позволяют вести электролиз в диапазоне температур от 300 до 700 °С, при этом хлоридные компоненты расплава менее агрессивные и могут быть максимально очищены от примесей методом зонной перекристаллизации.

Эксперимент

Эксперименты выполняли в лабораторном электролизере в герметичном перчаточном боксе с атмосферой аргона. Электролизер представлял собой кварцевую реторту, на дне которой размещали стеклоуглеродный тигель (СУ-2000) с предварительно приготовленной смесью солей KCl , CsCl , LiCl и K_2SiF_6 (Реахим, Россия). Кварцевую реторту сверху закрывали фторопластовой крышкой со штуцерами для крепления электродов, контрольной термопары и пробоотборника, после чего размещали в печи сопротивления. Температуру в печи сопротивления задавали и поддерживали в пределах ± 2 °С при помощи терморегулятора «Варта ТП 703». Температуру расплава контролировали периодическим погружением в расплав термопары К-типа, которая подключена к компьютеру при помощи модуля USB-TC01 (National Instruments, США).

Для определения параметров электроосаждения кремния необходимой морфологии выполняли хроноамперные измерения с использованием PGSTAT AutoLab 302n (Metrohm, Нидерланды). При измерениях и электроосаждении в качестве рабочего электрода использовали стеклоуглеродные пластины, а в качестве противоэлектрода и квазиэлектрода сравнения – кремний марки КР-00. После окончания электролиза рабочий электрод поднимали над расплавом и выдерживали в течение получаса, после чего извлекали из электролизера, выносили из герметичного бокса и многократно промывали в дистиллированной воде.

Анализ полученных пленок осуществляли методами сканирующей электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 4 (Tescan, Чехия) с системой EDX Oxford Xplore 30 (Oxford, Великобритания). Толщину получаемых пленок кремния оценивали на основании данных сканирующей электронной микроскопии, в том числе, после получения поперечных срезов осадка путем их ионного травления на установке SC-2100 SEMPRep (Technoorg Linda Co. Ltd., Венгрия).

Результаты и обсуждение

Эксперименты проводили в расплавах LiCl-KCl-CsCl и KCl-CsCl при варьировании соотношения хлоридов, температуры и содержания K_2SiF_6 . На рисунке 1 приведены типичные хроноамперограммы, характеризующие закономерности начальных стадий электроосаждения кремния из хлоридных расплавов, а на рисунке 2 – фотография и микрофотография тонкой пленки кремния. На хроноамперограммах виден пик зарождения новой фазы, значения времени и тока которого были использованы при выборе параметров электроосаждения сплошных тонких пленок кремния. На основании анализа хроноамперограмм также было отмечено, что рост зародышей кремния протекает преимущественно в условиях прогрессирующего зарождения с одновременным ростом имеющихся и образованием новых зародышей кремния.

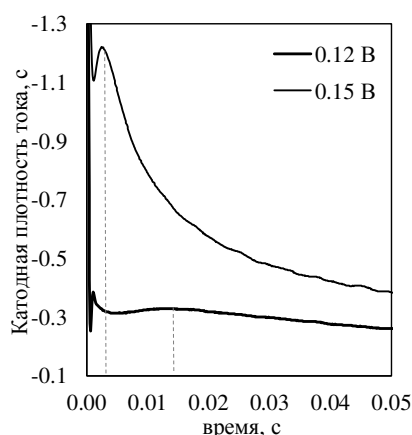


Рисунок 1 – Хроноамперограммы, полученные на стеклоуглеродном электроде в расплаве $\text{KCl-CsCl-K}_2\text{SiF}_6$

В экспериментах по электроосаждению тонких пленок кремния из исследуемых расплавов использовали следующие параметры: величина предварительного импульса анодного тока от 5 до 45 mA/cm^2 при длительности от 1 до 30 с, а величина импульса катодного тока составляет от 3 до 75 mA/cm^2 при длительности от 10 до 3600 с. Указанные диапазоны значений длительности и величины импульса анодного и катодного тока зависят от температуры, материала рабочего электрода и состава расплава. Электролиз ис-



следуемых расплавов в импульсном режиме способствует частичному растворению вершин зародышей кремния и сглаживанию границы роста осадка, а также десорбции вероятных примесей с рабочей поверхности катода.

При варьировании параметров (величина и длительность импульсов катодного и анодного тока) на стеклоуглеродном электроде осаждались пленки кремния, толщина которых в среднем составила от 3 до 6 мкм. Типичная фотография полученной пленки кремния, а также микрофотография участка ее поверхности приведены на рисунке 2. Осадок представлен сферическими дендритами кремния диаметром от 0.5 до 4 мкм. По данным микрорентгеноспектрального анализа пленки были представлены кремнием на 99.2–99.6 мас.%, а также примесью SiO_2 , образующейся в результате окисления осадка при отмывке. Подобные тонкие (микроразмерные) пленки кремния могут быть получены при изменении состава расплава, температуры, длительности и величины импульсов анодного и катодного тока в указанных диапазонах.

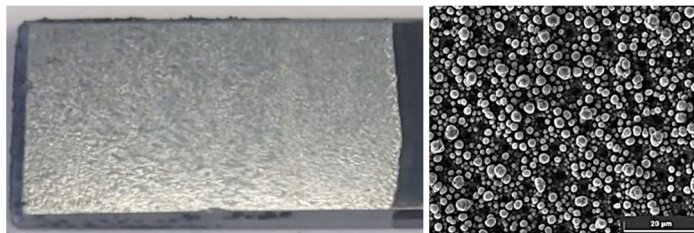


Рисунок 2 – Фотография типичной тонкой пленки кремния и микрофотография участка ее поверхности

Выводы

Из полученных результатов можно отметить, что предложенные способы при устранении ряда недостатков известных способов позволяют получать сплошные осадки кремния. Следовательно, изучение электроосаждения кремния и материалов на его основе при электролизе легкоплавких хлоридных расплавов в зависимости от параметров электролиза будет продолжено.

Благодарности. Работа выполнена в рамках соглашения №075-03-2022-011 от 14.01.2022 (номер темы в ЕГИСУ НИОКТР – FEUZ-2020-0037).

Список литературы:

1. Электроосаждение кремния из расплава $\text{KCl-CsCl-K}_2\text{SiF}_6$ / Т.А. Гевел [и др.] // Расплавы. – 2022. – № 4. – С. 350–361.
2. Кузнецова С.В., Долматов В.С., Кузнецов С.А. Вольтамперометрическое исследование электровосстановления комплексов кремния в хлоридно-фторидном расплаве // Электрохимия. – 2009. – Т. 45. – С. 797–803.
3. Toward cost-effective manufacturing of silicon solar cells: Electrodeposition of high-quality Si films in a CaCl_2 -based molten salt / X. Yang [et al.] // *Angewandte Chemie*. – 2017. – Vol. 129. – P. 15274–15278.
4. Electrodeposition of aluminum-doped thin silicon films from a $\text{KF-KCl-KI-K}_2\text{SiF}_6\text{-AlF}_3$ melt / M.V. Laptev [et al.] // *Journal of Serbian Chemical Society*. – 2021. – Vol. 86. – P. 1075–1087.
5. Silicon electrodeposition in a water-soluble KF-KCl molten salt: Properties of Si films on graphite substrates / K. Yasuda [et al.] // *Journal of The Electrochemical Society*. – 2021. – V. 168. – P. 112502
6. Electrochemical nucleation of silicon in the low-temperature $\text{LiCl-KCl-CsCl-K}_2\text{SiF}_6$ melt / Yu.A. Parasotchenko [et al.] // *Journal of the Electrochemical Society*. – 2023. – V. 170. – P. 022505.

List of references:

1. Silicon electrodeposition from $\text{KCl-CsCl-K}_2\text{SiF}_6$ melt / T.A. Gewel [et al.] // *Melts*. – 2022. – № 4. – P. 350–361.
2. Kuznetsova S.V., Dolmatov B.C., Kuznetsov S.A. Voltamperometric study of electrotransduction of silicon complexes in chloride–fluoride melt // *Electrochemistry*. – 2009. – V. 45. – P. 797–803.
3. Toward cost-effective manufacturing of silicon solar cells: Electrodeposition of high-quality Si films in a CaCl_2 -based molten salt / X. Yang [et al.] // *Angewandte Chemie*. – 2017. – Vol. 129. – P. 15274–15278.
4. Electrodeposition of aluminum-doped thin silicon films from a $\text{KF-KCl-KI-K}_2\text{SiF}_6\text{-AlF}_3$ melt / M.V. Laptev [et al.] // *Journal of Serbian Chemical Society*. – 2021. – Vol. 86. – P. 1075–1087.
5. Silicon electrodeposition in a water-soluble KF-KCl molten salt: Properties of Si films on graphite substrates / K. Yasuda [et al.] // *Journal of The Electrochemical Society*. – 2021. – V. 168. – P. 112502
6. Electrochemical nucleation of silicon in the low-temperature $\text{LiCl-KCl-CsCl-K}_2\text{SiF}_6$ melt / Yu.A. Parasotchenko [et al.] // *Journal of the Electrochemical Society*. – 2023. – V. 170. – P. 022505.



УДК 547.592.661.7

**РЕАКЦИИ АРИЛАЛКИЛИРОВАНИЯ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ФЕНОЛА
С ФРАКЦИЕЙ 130–190 °С****ARYLALKYLATION REACTIONS OF LIQUID PRODUCTS OF PHENOL PYROLYSIS
WITH A FRACTION OF 130–190 °С****Гурбанлы Ульвия Расим**диссертант,
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности
gurbanli.ulviyya@mail.ru**Гейдарли Гюнай Заман**диссертант,
Институт Нефтехимических Процессов НАН Азербайджана**Гасанов Алакбар Агасаф**профессор,
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности**Расулов Чингиз Княз**профессор,
Институт Нефтехимических Процессов НАН Азербайджана

Аннотация. Приведены результаты арилалкилирования фенола фракцией 130–190 °С жидких продуктов пиролиза (ФЖПП) в присутствии катализатора КН-30, пропитанного соляной кислотой, на непрерывнодействующей установке. Для нахождения оптимальных условий, обеспечивающих максимальный выход п-арилалкилфенолов, изучали влияния разных кинетических параметров (температура, мольное соотношение исходных компонентов и объемная скорость) на выход и селективность целевого арилалкилфенола. Температуру реакции варьировали в интервале от 80 до 120 °С, мольное соотношение фенола к фракции жидких продуктов пиролиза от 1 : 1 до 1 : 4 моль/моль, а объемную скорость от 0.3 до 1.0 ч⁻¹. При найденных оптимальных условиях выход целевого п-арилалкилфенола составляет 64.7 % от теории, на взятый фенол, а селективность 93.2 % по целевому продукту.

Ключевые слова: фенол, фракция жидкого продукта пиролиза, катализатор КН-30М, арилалкилирование.

Gurbanly Ulviya RasimDissertator,
Azerbaijan State University
of Oil and Industry
gurbanli.ulviyya@mail.ru**Heydarli Gunay Zaman**Dissertator,
Institute of Petrochemical Processes,
National Academy of Sciences of Azerbaijan**Hasanov Alakbar Aghasaf**Professor,
Azerbaijan State University
of Oil and Industry**Rasulov Chingiz Knyaz**Professor,
Institute of Petrochemical Processes,
National Academy of Sciences of Azerbaijan

Annotation. The paper deals with the results of phenol arylalkylation by 130–190 °С fraction of liquid pyrolysis products in the presence of KN-30 catalyst impregnated by hydrochloric acid in a continuously operating unit. We studied the effects of various kinetic parameters (temperature, molar ratio of the starting components, and space velocity) on the yield and selectivity of the target arylalkylphenol to determine the optimal conditions ensuring maximum yield of p-arylalkylphenols. The reaction temperature was varied in the range from 80 to 120 °С, the molar ratio of phenol to the fraction of liquid pyrolysis products was from 1 : 1 to 1 : 4 mol/mol, and the space velocity was from 0.3 to 1.0 h⁻¹. The yield of the target p-arylalkylphenol was 64.7 % of theory for the taken phenol, and the selectivity was 93.2 % for the target product under the optimal conditions.

Keywords: phenol, fraction of liquid pyrolysis product, catalyst KN-30M, arylalkylation.

Арилалкилфенолы и их производные уже в течение многих лет находятся в центре внимания исследователей, что обусловлено практической полезностью таких соединений, прежде всего, необычайно широким спектром антиокислительной активности [1–4].

Для получения арилалкилфенола использованы реактивный свежеперегранный фенол, фракция жидких продуктов пиролиза (ФЖПП) с температурой кипения 130–190 °С, n_D^{20} –1.560, ρ_4^{20} – 0.8578, М.м.–120 и содержанием непредельных углеводородов до 50 %.

В качестве катализатора использовали КН-30 (ТУ 2177-0.11-07522276-2008), пропитанной 10 %-ный соляной кислотой.

Фенол и ФЖПП из емкости в нужном соотношении подаются в смеситель. В емкости фенола температура поддерживается 45 °С. После смешения в смесителе фенол и ФЖПП подаются в низ реактора. Смесь компонентов, пройдя через слой катализатора, охлаждается в холодильнике, собирается в емкость и оттуда направляется на ректификацию.

Взаимодействие фенола с ФЖПП в присутствии катализатора КН – 30М протекает с образованием п-замещенного аралкилфенола.

Взаимодействие фенола с ФЖПП в присутствии катализатора КН-30М протекает с образованием п-замещенного аралкилфенола.



В арилалкилировании участвуют также α -метилстирол, винилтолуол и инден. С целью нахождения оптимальных условий, обеспечивающих максимальный выход п-арилалкилфенолов, изучали влияние температуры, мольное соотношение исходных компонентов и объемной скорости на выход и селективность целевого арилалкилфенола.

Температуру реакции варьировали в интервале от 80 до 120 °С, мольное соотношение фенола к ФЖПП от 1 : 1 до 1 : 4 моль/моль, а объемную скорость от 0.3 до 1.0 ч⁻¹.

В таблице 1 приведены результаты опытов по арилалкилированию фенола ФЖПП.

Как видно из приведенных данных, при температуре 120°С и объемной скорости 0.3–0.5 ч⁻¹ достигаются наибольшие выходы целевого продукта в пределах – 58.5–64.7 % при селективности – 90.8–93.2 %. Повышение температуры до 140 °С приводит к повышению выхода целевого продукта 67.2 % при объемной скорости 0.5 ч⁻¹.

Таблица 1 – Результаты реакции арилалкилирования фенола ФЖПП

№ опытов	Условия реакции			Выход, на взятый фенол, %	Селективность по арилалкилфенолу, %
	Температура, °С	Фенол : ФЖПП, моль/моль	Объемная скорость, ч ⁻¹		
	80	1:3	0.5	33.7	97.0
	100	1:3	0.5	47.8	95.4
	120	1:3	0.5	64.7	93.2
	140	1:3	0.5	67.2	88.9
	120	1:1	0.5	31.7	97.3
	120	1:2	0.5	52.4	95.0
	120	1:3	0.5	64.7	93.2
	120	1:4	0.5	66.6	89.1
	120	1:3	0.3	58.5	90.8
	120	1:3	0.5	64.7	93.2
	120	1:3	0.7	67.3	87.5
	120	1:3	1.0	61.7	86.4

Однако, селективность процесса при этом несколько уменьшается – 88.9 %. При увеличении соотношения фенол: ФЖПП от 1 : 1 до 1 : 3 выход п-арилалкилфенола повышается от 31.7 до 64.7 %. Дальнейшее увеличение количества фенола или ФЖПП не дает положительных результатов и выход целевого продукта остается на том же уровне. При изменении объемной скорости от 0.3 до 0.5 ч⁻¹ наблюдается увеличение селективности от 90.8 до 93.2 %.

Таким образом, найдены оптимальные условия получения п-арилалкилфенола: температура 120°С, мольное соотношение фенол: ФЖПП, равное 1 : 3 и объемная скорость 0.5 ч⁻¹. При этом выход п-арилалкилфенола на взятый фенол являются 64.7 %, а селективность – 93.2 % по целевому продукту.

Список литературы:

1. Новые высокоэффективные антиокислительные присадки к смазочному материалу / А.Е. Просенко [и др.] // Наука – производства. – 2004. – № 5. – С.18–20.
2. Селективное каталитическое алкилирование фенола алкил и алкенилцикленами / В.Г. Мирзоев [и др.] // Процессы нефтехимии и нефтепереработки. – 2017. – Т. 18. – № 4. – С. 341–350.
3. Чукичева И.Ю., Кучин А.В., Спирихин Л.В. Молекулярная тандемная перегруппировка при алкилировании фенола камфеном // ЖОрХ. – 2008. – Т. 44. – № 1. – С. 69–73.
4. Котов С.В., Наумкин П.В., Нестерова Т.Н. Кинетика алкилирования фенола гексадецемом на сульфокатионите // Нефтехимия. – 2016. – Т. 56. – № 1. – С. 31–61.

List of references:

1. New high-performance antioxidant additives for lubricants / A.E. Prosenko [et al.] // Science – production. – 2004. – № 5. – P.18–20.
2. Selective catalytic alkylation of phenol with alkyl and alkenylcyclenes / V.G. MirZoev [et al.] // Processes of petrochemistry and refining. – 2017. – V. 18. – № 4. – P. 341–350.
3. Chukicheva I.Yu., Kuchin A.V., Spirikhin L.V. Molecular tandem rearrangement during alkylation of phenol camphene // JORC. – 2008. – V. 44. – № 1. – P. 69–73.
4. Kotov S.V., Naumkin P.V., Nesterova T.N. Kinetics of phenol alkylation by hexadecene on sulfocathionite // Petrochemistry. – 2016. – V. 56. – № 1. – P. 31–61.



УДК 661

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИССИММЕТРИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ТИПА КОКОГЕМ В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ СТАЛИ

STUDY OF DISSYMMETRIC SURFACTANTS OF THE COCOGEM TYPE AS STEEL CORROSION INHIBITORS

Гусейнова Хураман Акиф

кандидат химических наук,
доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории
«Поверхностно-активные реагенты и препараты»,
Институт Нефтехимических Процессов Министерства Науки
и Образования Азербайджана
xuraman_akifli@hotmail.com

Абилова Айгюль Зияфеддин

кандидат химических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории
«Поверхностно-активные реагенты и препараты»,
Институт Нефтехимических Процессов Министерства Науки
и Образования Азербайджана
abilova_aygul@inbox.ru

Аннотация. Исследования посвящены изучению антикоррозионного влияния синтезированного поверхностно-активного вещества типа кокогем на мягкую сталь марки С1018 в солевом растворе, насыщенном CO₂. Установлено, что N,N'-бис(2-гидроксипропил)этилендиаммониевая соль октановой и додекановой кислот эффективно ингибирует углекислотную коррозию мягкой стали марки С1018. Исследуемый ингибитор относится к ингибиторам коррозии смешанного действия, т.е. замедляет скорость как катодной, так и анодной реакций.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, ингибитор коррозии, мягкая сталь.

Huseynova Khuraman Akif

Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor, Leading Researcher
of the Laboratory «Surfactant Reagents
and Preparations»,
Institute of Petrochemical Processes
of the Ministry of Science and Education
of Azerbaijan
xuraman_akifli@hotmail.com

Abilova Aygul Ziyafeddin

Candidate of Chemical Sciences,
Leading Researcher of the Laboratory
«Surfactant Reagents and Preparations»,
Institute of Petrochemical Processes
of the Ministry of Science and Education
of Azerbaijan
abilova_aygul@inbox.ru

Annotation. The research is devoted to the study of the anticorrosion effect of the synthesized surfactant of the cocogem type on mild steel grade C1018 in a saline solution saturated with CO₂. It has been established that N,N'-bis(2-hydroxypropyl)ethylenediammonium octanoate dodecanoate effectively inhibits carbon dioxide corrosion of C1018 mild steel. The inhibitor under study belongs to mixed action corrosion inhibitors, i.e. slows down the rate of both cathodic and anodic reactions.

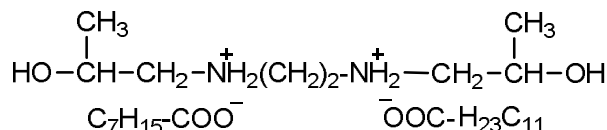
Keywords: surfactants, corrosion inhibitor, mild steel.

В современном мире поверхностно-активные вещества (ПАВ) привлекают все большее внимание ввиду их широкого применения в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и быту. В последние годы исследователи уделяют особое внимание синтезу ПАВ совершенно нового строения [1–3]. Среди них заслуживают отдельного упоминания ПАВ типа «гемини» (по-английски «близнецы»), в составе которых имеются две и более углеводородные цепочки.

Среди ПАВ типа «гемини» выделяется отдельный класс, включающий в себя ПАВ под названием «кокогем». Этот термин взят от английских слов «counterion-coupled gemini», означающих «близнецы, спаренные противоионом». У этих ПАВ две углеводородные цепи химически соединены с двумя концами противоиона, причем эти два конца отделены между собой «спейсерной» группой, которая обычно имеет углеводородную природу и состоит из нескольких метиленовых (или других, например, метиновых, ариленовых и т.д.) групп. ПАВ типа «гемини», как и кокогем-ПАВ отличаются более низкими значениями критической концентрации мицеллообразования (ККМ) и поверхностного натяжения.

В последние годы большое внимание уделяется углекислотной коррозии углеродистых стальных трубопроводов и оборудования нефтегазовой промышленности, из-за повышенной тенденции к закачке CO₂ в нефтяные скважины для снижения вязкости нефти и увеличения ее добычи [4–6]. В данной работе кокогем-ПАВ синтезируется на основе монокарбоновых кислот, диамина и пропиленоксида. Эти ПАВ проявляют сильные ингибиторные свойства по отношению к коррозии мягкой стали.

N,N'-бис(2-гидроксипропил)этилендиамин получали реакцией пропиленоксида с этилендиамином. На основе полученного продукта и жирных кислот (каприловой и лауриновой) синтезирован диссимметричный ПАВ. Структуру диссимметричного ПАВ типа кокогем можно описать следующим образом:





Обозначим полученное вещество как $C_8C_2C_{12}$. Состав и строение конечного продукта идентифицирован различными современными физико-химическими методами, в том числе ИК-, 1H и ^{13}C -ЯМР спектроскопия. Путем определения поверхностного натяжения тензиометрическим методом рассчитывали важные коллоидно-химические параметры (таблица): ККМ – критическая концентрация мицеллообразования, $\gamma_{ККМ}$ – поверхностное натяжение раствора при ККМ, $\Gamma_{макс}$ – максимальная адсорбция, Амин – минимальная площадь поперечного сечения полярной группы, $\pi_{ККМ}$ – поверхностное давление или эффективность, $\rho_{C_{20}}$ – значение экономичности, $\Delta G_{миц}$ – изменение свободной энергии Гиббса процесса мицеллообразования, $\Delta G_{ад}$ – изменение свободной энергии Гиббса процесса адсорбции. Степень связывания противоиона – β вычисляли путем определения удельной электропроводности кондуктометрическим методом.

Таблица – Коллоидно-химические параметры $C_8C_2C_{12}$ (25 °С)

ККМ $\times 10^3$, моль \cdot дм $^{-3}$	β	$\Gamma_{макс} \times 10^{10}$, моль \cdot см $^{-2}$	Амин $\times 10^2$, нм 2	$\rho_{C_{20}}$	$\gamma_{ККМ}$, мН \cdot м $^{-1}$	$\pi_{ККМ}$, мН \cdot м $^{-1}$	$\Delta G_{миц}$, кДж \cdot моль $^{-1}$	$\Delta G_{ад}$, кДж \cdot моль $^{-1}$
0.480	0.16	2.68	62.0	4.28	23.7	48.3	-19.06	-20.87

Размеры агрегатов, образуемых синтезированным ПАВ в водных растворах, определяли методом динамического светорассеяния. Для этого готовили растворы с двумя различными концентрациями выше значений ККМ и определяли диаметры образующихся в них агрегатов ПАВ. В 0.05 %-ном водном растворе $C_8C_2C_{12}$ средний диаметр агрегатов равен 3400 нм. При увеличении концентрации раствора до 0.1 % мономодальный пик сменяется бимодальным. Хотя диаметр агрегатов не изменяется, это приводит к образованию полидисперсных агрегатов меньшего диаметра (150 нм).

Изучены антикоррозионные свойства $C_8C_2C_{12}$. Исследование защитного свойства синтезированного соединения от CO_2 -коррозии проводили электрохимическим методом с помощью потенциометра «АСМ Gill Instruments» при давлении 0.9 бар в 1 %-ном растворе NaCl, насыщенном CO_2 , при температуре 50 °С в течение 20 часов на стальных электродах марки С1018. Исследовали зависимость скорости коррозии стали от времени в среде без ингибитора, а также в среде с добавлением ингибитора.

Скорость коррозии в среде без ингибитора составила 4.14 мм/год. При концентрациях соединения 25, 50 и 100 мг/л скорость коррозии стали С1018 составляет 0.088, 0.064 и 0.018 мм/год соответственно. При этих концентрациях исследуемое соединение защищает от коррозии на 97.9, 98.5 и 99.6 % соответственно.

Снимки поверхности стали, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа показывают, что в результате добавления в среду ингибирующего соединения на поверхности отсутствует локальная и другая коррозия, в том числе питтинговая (точечная).

Список литературы / List of references:

1. Pal D. Gemini surfactants – A short overview // J. Indian Chem. Soc. – 2020. – Vol. 97. – № 11a. – P. 2242–2247.
2. Surface properties and aggregation behavior of cationic gemini surfactants with dipropylammonium head-groups / B. Li [et al.] // Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp. – 2015. – Vol. 470. – P. 211–217.
3. Anionic cocogem surfactants containing propyl-2-ol groups: Synthesis, surface properties and antibacterial activity against SRB bacteria / R.A. Rahimov [et al.] // Egyptian Journal of Petroleum. – 2023. – Vol. 32. – P. 15–21.
4. Farelas F., Ramirez A. Carbon dioxide corrosion inhibition of carbon steels through bis-imidazoline and imidazoline compounds studied by EIS // Int. J. Electrochem. Sci. – 2010. – № 5. – P. 797–814.
5. Lopez D.A., Perez T., Simison S.N. The influence of microstructure and chemical composition of carbon and low alloy steels in CO_2 corrosion: a state-of-the art appraisal // Mater. Des. – 2003. – № 24. – P. 561–575.
6. Some complex surfactants based on fatty acids as corrosion inhibitors for C1018 carbon steel in oil field formation water containing CO_2 / V.M. Abbasov [et al.] // Processes of petrochemistry and oil-refining. 2012. – Vol. 13. – № 3 (51). – P. 216–229.



УДК 66.011

ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСЧЕТА РЕАКТОРА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА С НЕПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ КАТАЛИЗАТОРА

METHODOLOGICAL QUESTIONS OF ENGINEERING DESIGN AUTOMATION OF FIXED-BED CATALYTIC REFORMING REACTOR

Давыдов Кирилл Андреевич

магистрант кафедры нефтехимии
и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
kirandav2000@mail.ru

Чуракова Светлана Константиновна

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры нефтехимии
и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
churakovack@rambler.ru

Аннотация. Данная статья освещает вопросы методологии технологического расчета реактора каталитического риформинга с неподвижным слоем катализатора, дает основание применению одной из методик расчета и предлагает способ ее автоматизации.

Ключевые слова: риформинг, реактор, технологический расчет, автоматизация, программа расчета, регрессионный анализ.

Davydov Kirill Andreevich

Master of Department of Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
kirandav2000@mail.ru

Churakova Svetlana Konstantinovna

Doctor of Technical Sciences,
Professor of Department of Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
churakovack@rambler.ru

Annotation. This article covers the question of engineering design of fixed-bed catalytic reforming reactor methodology, affords ground for an appliance of one of the design methods and suggests a solution to problem of its automatization.

Keywords: reforming, reactor, engineering design, automatization, regression analysis.

Автоматизация технологических расчетов направлена на сокращение времени, потребляемого на выполнение элементарных математических операций, лежащих в основе методологии этих расчетов. Обычно такие нетрудоемкие, но многочисленные действия выполняются специалистом-технологом вручную или воссоздаются в готовых программах, ограниченных в полноте и удобстве реализации методики. Подобными аспектами ее могут быть расчеты, основанные на многочисленных итерациях, поиск решений уравнений или экстремумов функций с заданной точностью, определение расчетных величин при помощи графиков и номограмм и т.д. Эти аспекты наряду с более простыми, с точки зрения оптимизации расчета, могут в дальнейшем подлежать алгоритмизации, значительно сокращая количество требуемых от специалиста действий и уменьшая время их выполнения. Таким образом, проблема автоматизации технологических расчетов, выступающая в дальнейшем предметом исследования, имеет прикладную значимость.

Основной замысел проводимого исследования – выявить зависимости, лежащие в основе технологического расчета реактора каталитического риформинга с неподвижным слоем катализатора, составить их математическое описание и показать методологические подходы к разработке реализующей их программы. В качестве основного языка предполагается Python v.3.10. Объектом исследования является методика расчета [1, с. 8], при автоматизации которой были определены следующие основные подходы:

- Возможность сверки проводимых расчетов с известными результатами выполнения расчетов и определений величин.
- Учет специфичности технологических параметров для выбранного сырья и катализатора.
- Итерационный характер определения ключевого конечного параметра теплового расчета – температуры на выходе из реактора.
- Выполнение значительной части расчетов по табличным и графическим данным из актуальных государственных стандартов и экспериментально выявленным закономерностям.

Первый подход позволяет оценить правильность производимых расчетов и определить их абсолютные и относительные погрешности; второй – проводить их для большинства вариантов процесса [2, с. 45], для чего в качестве исходных данных предлагаются характеристики катализатора, выходы продуктов и характеристики риформата. Подходы 3 и 4, до проведения связанного с автоматизацией исследования, подразумевали отклик от специалиста в виде ввода задаваемых вручную величин и связанных с ними параметров. Эти величины, согласно методике, представлялись как результаты анализа табличных данных и



графиков. Нахождение табличных данных предлагается автоматизировать при помощи вычисления по пропорции в заранее сформированных файлах Excel, доступ к которым организуется за счет внедрения в программу библиотеки `orepruhl` [3]. Инструментом же имитации связанной с графиками работы специалиста предлагается представление их в виде функций, полученных при регрессионном анализе [4, с. 44], и расчет их значений при промежуточных параметрах.

Для осуществления регрессионного анализа описываемые графиками зависимости воспринимаются как результаты активного эксперимента и интерпретируются путем измерений вручную на интервалах значений параметров, допустимых для проведения процесса риформинга. По определенным значениям в файле Excel формируется эталонный набор данных, после чего к ним подбираются члены выражения, задающего функцию, и проводится регрессионный анализ [5, с. 4]. Подбор функции осуществляется до достижения абсолютной погрешности по эталонным значениям меньшей, чем погрешность измерения прибора.

Для обоснования формы кривых зависимостей исследуемых графиков требуется использовать объективные методы оценки адекватности [6, с. 102]. В работе применяется сопоставление с табличными значениями критериев Фишера и Стьюдента при достижении значения совокупного коэффициента детерминации R^2 выше 0,9999. Полученные выражения включаются в разрабатываемую программу как функции, возвращающие свое значение при параметрах условий процесса, задаваемых специалистом.

Применение способа функционального описания

На рисунке 1 показан один из графиков, подверженных регрессионному анализу.

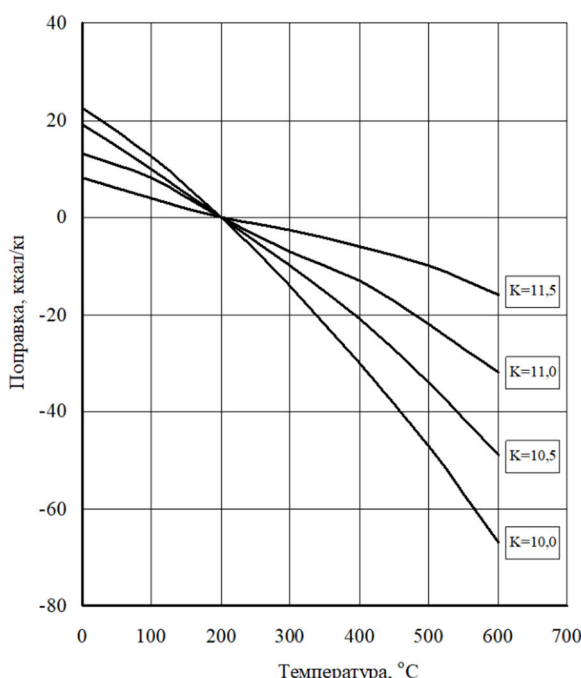


Рисунок 1 – График поправки к энтальпии паров нефтепродуктов на содержание ароматических углеводородов

В данном случае рассматривается зависимость определяемого параметра, поправки, от двух факторов: температуры и характеризующего фактора К. Принципиальных вариантов описания два:

- по температуре для каждой кривой, в зависимости от К, и с пропорцией для промежуточных значений;
- по температуре и К для всех кривых и промежуточных значений.

Для каждого варианта описания существует единый набор эталонных значений, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Эталонные значения к графику $\Delta H = f(t, K)$

t, °C	0	100	200	300	400	500	600
K	ΔH, ккал/кг						
10	22,67	12,67	0,00	-14,00	-30,00	-47,33	-66,67
10,5	19,33	10,67	0,00	-10,00	-20,67	-34,00	-48,67
11	13,33	8,67	0,00	-6,67	-12,67	-22,00	-32,00
11,5	8,00	4,00	0,00	-2,67	-6,00	-10,00	-16,00



На рисунке 2 показана реализация первого варианта при помощи линий тренда, описанных автоматически по методу наименьших квадратов на базе эталонных значений с наибольшим возможным для типовых функций R2.

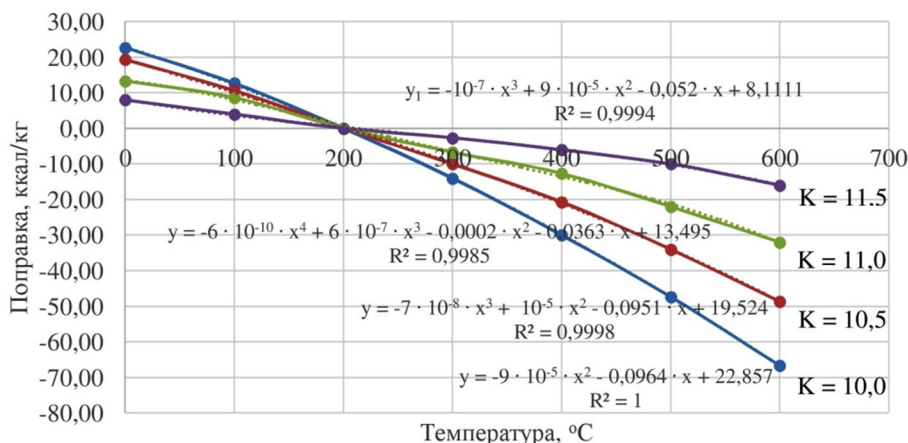


Рисунок 2 – Зависимости по линиям тренда для графика $\Delta H = f(t, K)$

Все описанные выше зависимости являются значимыми по критерию Фишера, но не все из них предоставляют достаточно точное функциональное описание.

В таблице 2 приведены статистические характеристики уточненных при регрессионном анализе зависимостей. Для установленного в выборке по каждой функции числа степеней свободы, равного 7, критерии Стьюдента для доверительной вероятности 99 и 99,9 должны равняться 3,4995 и 5,4079 соответственно [7]. Согласно обозначенным критериям, в функциях для K = 10,5 и 11 присутствуют статистически незначимые элементы, требующие не только исключения, но и замены.

В таблице 3 показаны полученные абсолютные отклонения, рассчитанные при уточнённых коэффициентах в зависимостях. Значение погрешности определения величин вручную составляет 0,5 ккал/кг, что меньше величины отклонений по названным функциям. Вследствие этого можно констатировать необходимость уточнения вида функций и проведения повторных анализов.

Таблица 2 – Статистические характеристики уточненных зависимостей

Характеристика	10	10,5	11	11,5
R2	0,99997	0,99979	0,99789	0,99964
Значимость F	$9,13 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$4,21 \cdot 10^{-3}$	$1,14 \cdot 10^{-5}$
Статистика по критерию Стьюдента				
Y-пересечение	120	41,6419	10,8076	38,6932
t	-65	-14,8033	-2,4988	-17,0953
t2	-37	-0,6864	-0,3502	5,5931
t3	-	-2,2978	0,2009	-7,5657
t4	-	-	-0,4103	-

Таблица 3 – Абсолютные отклонения по полученным зависимостям

t	K							
	10		10,5		11		11,5	
	ΔH	Δ	ΔH	Δ	ΔH	Δ	ΔH	Δ
°C	ккал/кг							
0	22,67	0,19	19,33	0,17	13,33	0,36	8,00	0,07
100	12,67	0,33	10,67	0,53	8,67	1,09	4,00	0,23
200	0,00	0,05	0,00	0,43	0,00	0,86	0,00	0,26
300	-14,00	0,00	-10,00	0,16	-6,67	0,42	-2,67	0,13
400	-30,00	0,19	-20,67	0,41	-12,67	0,94	-6,00	0,04
500	-47,33	0,05	-34,00	0,20	-22,00	0,46	-10,00	0,02
600	-66,67	0,05	-48,67	0,03	-32,00	0,07	-16,00	0,01



Второй вариант подхода к описанию функции подразумевает применение многопараметрической регрессии, результаты которой сравниваются по критериям Стьюдента равным 3,7074 и 5,9588 для числа степеней свободы, равного 6 [7].

В ходе компьютерного эксперимента была подобрана функциональная зависимость в следующем виде:

$$\Delta H = A \cdot K + B \cdot K \cdot t + C \cdot \frac{t^2}{K^2} + D \cdot \frac{t^3}{K^3} + E \cdot \frac{1}{K}, \tag{1}$$

где A, B, C, D, E – коэффициенты, определяемые при регрессионном анализе.

Статистические результаты анализа приведены в таблице 4. В таблице 5 приведены абсолютные отклонения значений полученной многопараметрической функции. Для упрощения уточнения её вида и получения более точных результатов, область исследования была ограничена температурами 400–600 °С.

Таблица 4 – Статистические характеристики многопараметрической зависимости

R ²	Значимость F	Статистика по критерию Стьюдента				
		K	K·t	t ² / K ²	t ³ / K ³	1 / K
0,99993	10 ⁻¹²	-12,624	22,873	-18,141	11,925	7,5244

Таблица 5 – Абсолютные отклонения по многопараметрической зависимости

t	K							
	10		10,5		11		11,5	
	ΔH	Δ	ΔH	Δ	ΔH	Δ	ΔH	Δ
°С	ккал/кг		ккал/кг		ккал/кг		ккал/кг	
400	-30,00	0,40	-20,67	0,26	-12,67	0,39	-6,00	0,11
500	-47,33	0,35	-34,00	0,09	-22,00	0,50	-10,00	0,21
600	-66,67	0,21	-48,67	0,09	-32,00	0,03	-16,00	0,22

Обсуждение результатов

По результатам, полученным при описании функции по однопараметрическому варианту, можно заключить, что использование линий тренда для наборов эталонных данных не всегда позволяет осуществлять достаточно точное определение конечного вида выражений функций, члены которых также могут быть объективно незначимы, поэтому необходимо проводить анализ на основе сложных функций, а не типовых.

Сопоставляя рассмотренные варианты описания функций, можно сделать вывод, что, при анализе зависимостей от нескольких переменных, целесообразно использовать множественную регрессию, а не однопараметрическую для каждого рассматриваемого значения второго аргумента. Это связано с меньшим числом операций по подбору значимых членов многопараметрического выражения и большей точностью расчета при варьировании его параметров.

При анализе множественной регрессии замечено, что по задаваемым функциям нецелесообразно проводить исследование на всей области исследуемых параметров. Функции, описывающие отдельные части графика, позволяют получить более точный результат в большинстве случаев, поэтому, зная условия процесса и, как следствие, участки варьирования аргументов для разных групп веществ, при необходимости допустимо описать график несколькими многопараметрическими выражениями.

Таким образом, в ходе компьютерного исследования были достигнуты следующие результаты:

- показаны основные методологические подходы к разработке программы расчёта реактора каталитического риформинга с неподвижным слоем катализатора;
- проведен регрессионный анализ графиков энтальпии паров нефтепродуктов и компонентов водородсодержащего газа и поправок к ней;
- определены области эффективного выполнения расчета по найденным в ходе регрессионного анализа функциям.

**Список литературы:**

1. Прокофьева Т.В., Круглов С.С. (ст.), Круглов С.С. (мл.) Технологический расчет реакторного блока установки каталитического риформинга с платиновым катализатором: учебно-методическое пособие. – М. : Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. – 42 с.
2. Владимиров А.И. Установки каталитического риформинга: учебное пособие. – М. : Нефть и газ, 1993. – 60 с.
3. OpenPyXL [Электронный ресурс]: openpyxl – A Python library to read/write Excel 2010 xlsx/xlsm files. – URL : <https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/index.html>
4. Болдырев Д.В. Корреляционный и регрессионный анализ: учебно-методическое пособие. – Невинномысск : Издательство СКФУ, 2016. – 169 с.
5. Кеткина О.С. Возможности MS Excel для регрессионного анализа: электронный текстовый курс. – Екатеринбург : УрФУ, 2020 – 43 с.
6. Самойлов Н.А. Моделирование в химической технологии и расчет реакторов: учебное пособие. – Уфа : Издательство УГНТУ, 2006. – 195 с.
7. Институт биотехнологии, пищевой и химической инженерии АлтГТУ [Электронный ресурс]: Справочная информация. – URL : <https://www.chem-astu.ru/science/reference/index.html>

List of references:

1. Prokof'eva T.V., Kruglov S.S. (senior), Kruglov S.S. (junior) Technological calculation of the reactor block of the catalytic reforming unit with a platinum catalyst: tutorial. – М. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU) Publishing Center, 2019. – 42 p.
2. Vladimirov A.I. Catalytic reforming units: textbook. – М. : Oil and Gas, 1993. – 60 p.
3. OpenPyXL [Electronic resource]: openpyxl – A Python library to read/write Excel 2010 xlsx/xlsm files. – URL : <https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/index.html>
4. Boldyrev D.V. Correlation and regression analysis: tutorial. – Nevinnomyssk : SKFU Publishing House, 2016. – 169 p.
5. Ketkina O.S. Possibilities of MS Excel for regression analysis: an electronic text course. – Yekaterinburg : UrFU, 2020 – 43 p.
6. Samoilov N.A. Modeling in Chemical Technology and Calculation of Reactors. – Ufa : Publishing house UGNTU, 2006. – 195 p.
7. Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering Altai State Technical University [Electronic resource]: Reference information. – URL : <https://www.chem-astu.ru/science/reference/index.html>



УДК 631.6.02 (1-925.3)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКИХ ГОСУДАРСТВАХ

CURRENT STATE OF THE USE OF WATER RESOURCES IN THE CENTRAL ASIAN STATES

Кендирбаева Джумагул Жумаевна

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник,
Институт сейсмологии НАН КР
jumaevna48@gmail.com

Жунусакунова А.Р.

старший преподаватель кафедры
«Управление водными ресурсами»,
Кыргызский Национальный Аграрный университет
им. К.И.Скрябина

Сарыгулова К.А.

старший преподаватель кафедры
«Управление водными ресурсами»,
Кыргызский Национальный Аграрный университет
им. К.И.Скрябина

Аннотация. Основные принципы водосбережения отработаны на пилотных проектах, заложенных в репрезентативных по природным условиям районах ЦА, а именно, в зоне формирования, стока. Систематизированы, анализированы и обобщены разрозненные сведения о совместном использовании водных ресурсов в Центральной Азии (ЦА) и несогласованности «водной» политики в региональном плане.

Ключевые слова: Центральная Азия, водные ресурсы, водопользование, мелиоративные системы, режим и нормы полива земель.

Kendirbayeva Dz. Jumaevna

Doctor of Geological and Mineralogical
Sciences, Professor,
Senior Scientist,
Institute of Seismology, National Academy
of Sciences of the Kyrgyz Republic
jumaevna48@gmail.com

Zhunusakunova A.R.

Senior Lecturer of the Department
«Water Resources Management»,
Kyrgyz National Agrarian University
Namtd after K.I. Skryabin

Sarygulova K.A.

Senior Lecturer of the Department
«Water Resources Management»,
Kyrgyz National Agrarian University
Namtd after K.I. Skryabin

Annotation. Systematized, analyzed and summarized disparate information about the joint use of water resources in Central Asia (CA) and the inconsistency of the «water» policy in the regional plan. The basic principles of water conservation have been worked out on pilot projects laid down in regions of Central Asia that are representative of natural conditions, namely, in the formation and runoff zones.

Keywords: This article analyzes the state of «water use» in Central Asia (CA) due to natural and geographical factors, population growth, and most importantly irrationality of water use and inconsistency of the «water» policy of not only the states of the region.

Введение. К сегодняшнему дню Центральная Азия (ЦА), куда входят Туркменистан, Узбекистан, Таджикистан и Кыргызстан, располагает водными ресурсами около 170-180 км³/сут, из которых суммарный водный сток, питающийся подземными водами, оценивается в 1911млн. м³/год, причем самый высокий объем характерен для бассейнов р. Чу (69 %) и оз. Иссык-Куль (23 %). В целом наличие водных ресурсов этого региона, распределенных по территории, обязаны особенностям горного рельефа, способствовавшего за счет примерно 30 тыс. рек формированию разветвленной сети рр. Сыр-Дарья, Аму-Дарья, Чу, Талас, Или (Каркыра), Тарим и Ысык-Куль и Чатыр-Куль. Два последних бассейна являются внутренними, где сток составляет около 3,5 % от всего объема, а остальные – трансграничными. Для равнинных частей в долинах, наоборот, характерны широкие разветвлённые русла с дренирующими берегами.

Начиная с 60-х гг. прошлого века в бассейне Аральского моря увеличивается потребление воды при возможности 32,6 млн га. При этом общая площадь орошения, охватывая 13,2 млн га, составляет 4,4 % от орошаемых площадей в мире [1]. Из них более половины приходится в Узбекистан и Афганистан, где 70–75 % земель представлены засоленными или подверженными к засолению почвогрунтами. Низкая эффективность оросительных систем, созданных в этот период, сопровождалась нарушением водно-солевого баланса территории, вызывая подъем уровня грунтовых вод и вторичное засоление почв во многих районах ЦА.

По данным [2], большая часть рек, разделенные конусами выноса при выходе в межгорные впадины, разбиваются на рукава, часто пересыхающие, вследствие потери воды на инфильтрацию или разбор на орошение земель. В данном регионе в период существования СССР построены много-



численные ирригационные каналы и водохранилища, энергосистемы которых действовали так, чтобы республики, находящиеся в верховьях рек выработанные электроэнергии экспортировали в республики нижних зон в течение зимы, но импортировали ее летом, когда воды требовалось в большем количестве для сельскохозяйственного производства.

В настоящее время 5.2 млн га земель подвержены первичному и вторичному засолению, из-за чего для их использования в земледелии потребовалось строительство искусственного дренажа, составившего 65 % от общей площади. Проблемы управления эколого-мелиоративными процессами, эффективности и параметров дренажа решались на площадях не менее 500–1000 га. Поэтому закономерно возник вопрос: «Каким образом водные ресурсы могут быть использованы в условиях глобального потепления климата и быстро меняющегося мира?» Можно ли избежать негативных последствий при реализации водосберегающей технологии для хозяйствования ЦА, т.к. компенсация «нехватки» вод путем переброски их из других стран оказалась невозможной и не целесообразной.

Материалы и методы исследований В бассейне Аральского моря расположены площади с системами орошения на 9,8 млн га или 75 % от общей части. Следует иметь в виду, что вся Арало-Каспийская низменность, по данным известных почвоведов В.А. Ковда и В.В. Егорова, является объектом накопления солей и зоной разгрузки минерализованных растворов в грунтах и подземных водах. По их мнению, в условиях интенсификации орошения земель возникли нарушения в процессах водо- и солеобмена, особенно, в зонах с недостатком и отсутствием естественного оттока, что привело к изменению минерализации грунтовых вод и усилению соленакопления, развитию вторичного засоления земель и увеличению притока солей в речные сети. Из-за этого во второй половине прошлого столетия возникла необходимость строительства и развития на орошаемой территории дренажных систем. С их помощью началась борьба с засолением, в процессе которой усвоено понятие «мелиоративные мероприятия, что, во-первых, сочетание параметров орошения и дренажа, во-вторых-разработка и организованное строительство систем, в третьих- проведение промывки не только первично засоленных, но и предотвращение вторичного засоления земель. В результате этого из 5,2 млн га земель, требующих искусственного дренажа, практически обеспечены им 4,7 млн га. На этой площади по состоянию на 1.06.1996 года построено 174,5 тыс. км горизонтального, в т.ч. тыс. км внутрихозяйственного дренажа, а также 8650 вертикальных скважин.

На этом фоне в Кыргызстане использовали примерно 1 млн га орошаемых земель, из которых 90 % поливались поверхностным способом, представленным лотками, каналами и трубопроводами с КПД = 0,82–0,85 (рис.). Так, удельная протяженность магистральных и межхозяйственных каналов составляла 17,93 м/га, из которых 28 % имели противодиффузионные покрытия, 77 % водозаборных сооружений оборудовано водомерами. При этом средневзвешенный КПД внутрихозяйственных систем равнялся 0,73. Такое орошение, составляя 98,4 % от всех технологий, превышает подачи воды при дождевании 1,5 % и локализованном орошении- 0,1 %. Общая площадь закрытого горизонтального дренажа составила около 600 тыс.га, из которых на Узбекистан приходилось 581 тыс. га, что в остальных республиках не вышла за пределы «пилотных» проектов.



Рисунок – Схема распределения водных ресурсов по речным бассейнам Центральной Азии



Полученные результаты и их обсуждение. Характерной особенностью водохозяйственно-мелиоративного строительства ЦА было создание по всем направлениям опытно-производственных участков. На них проводились исследования, направленные для оценки устойчивости и эффективности параметров в оросительно-дренажных системах, а также направленности эколого-мелиоративных процессов и возможности ими управления усовершенствованием технических средств.

На основе применения такого подхода для освоения новых и улучшения мелиорации староорошаемых земель технический уровень оросительно-дренажных систем поднялся на более высокий уровень. Основное их преимущество заключалось в достижении управления за эколого-мелиоративными процессами, а также в повышении продуктивности орошаемых земель и оросительной воды [3]. В процессе нормальной эксплуатации водохозяйственных объектов и реализации высоких агро-мелиоративных приемов снижены удельные расходы вод на 1 га к 1980 году до 17,6 тыс. м³/га, а к 2010 г. – до 14,7 тыс. м³/га против 21–27 тыс. м³/га в 1960 г.; на системах, отвечающих требованиям водосбережения, например, в Голодной степи, оросительная норма снижена от 10–12 до 9,5–10,5 тыс. м³/га, причем во всех регионах с искусственным дренажом дренированность территории увеличилась от 2,5–3,0 до 6–7 тыс. м³/га в год, позволив управлять водно-солевым режимом почв. При соблюдении промывного режима орошения началось формирование водно-солевого баланса: в Ферганской, Вахшской и Чуйской долинах, Голодной степи и Бухарском оазисе, например, в зонах аэрации и грунтовых вод с совершенными типами дренажа достигнуто рассоление почв [4].

Вместе с этим, постепенное наращивание продуктивности орошаемых земель и оросительной воды, начиная с 1990-х гг. привело к повсеместному снижению от 1,5 до 2,0 раза против 1980–95 гг. Для их изучения учеными МГУ разработана автоматизированная система регионального экологического прогноза (АСРЭП), в ретроспективе смоделировавшая развития экологической ситуации.

Выяснилось, что с начала орошаемого хлопководства доля поливных земель возросла от 10–15 до 40–55 %, но его урожайность снизилась 2–2,5 раза. При этом уровень грунтовых вод поднялся десятикратно, настолько же соленость, а удельный вес площади солончаков возрос до 25–35 %.

По нашему мнению, изначальный кризис объясняется загрязнением вод, частичной утратой продуктивности водно-земельных ресурсов; опустыниванием территорий, например, в Приаралье потерей объема и продуктивности самого моря, а также другими агрохимическими нарушениями. Основой этого принято стремление удовлетворять свои потребности быстрорастущего населения ЦА и в сырье стран-партнеров без увязки с возможностью собственных водных ресурсов [5].

К этому необходимо добавить, что все гидроузлы имели комплексное ирригационное и энергетическое значение, причем в интересах нескольких республик. Критерием такого водопользования считалось получение максимум выгоды, а всем участникам-республикам предусматривались компенсации. Но вода в сельском хозяйстве и сегодня расходуется очень нерационально, т.е. не принимают во внимание о том, что экономия в одном секторе, отразится в другом, независимо от месторасположения, в пределах республики или за ее пределами. Поэтому, с нашей позиции, водосберегающая концепция должна быть единой для всей ЦА. Так, в комплексе водохозяйственной деятельности их должны предусматривать в виде двух блоков. Первый включает противоточные мероприятия, направленные на повышение КПД водоподводящих трасс от головного водозабора до водовыпуска, второй охватывает водосберегающие механизмы непосредственно на массивах орошения, органично связываясь с техникой и способами полива.

Иными словами, поставленные цели только при соблюдении требований к условиям и параметрам гидромелиоративных систем будут достигнуты.

Также в комплекс восстановления прогрессивных технологий орошаемого земледелия следует включить сокращение доли поливных земель за счет капитальной реконструкции дренажной сети, увеличив ее густоту и глубины, уменьшающих при этом фильтрационных потерь, применив, например, капельное орошение, посадку пустынной растительности, препятствующей распространению песков, эрозионных процессов и засолению почвенного покрова.

Большие возможности эффективного земледелия связаны с повышением его культуры. Сегодня для получения единицы продукции расходуется в 2,5–3 раза больше воды. «На один га посевной площади тратится 13–14 тыс. м³ воды, тогда как в развитых странах оросительная норма не превышает 5 тыс. м³ воды».

Страны, расположенные в зоне формирования стока, менее озабочены водосберегающими мероприятиями, чем в зоне расходования стока. С учетом этих фактов, широкомасштабная модернизация водохозяйственной системы должна начинаться в зоне формирования стока. При осуществлении предлагаемых мероприятий по повышению КПД каналов и перевооружении техники полива, постепенно приведут к уменьшению доли возвратных вод с орошаемых полей, насыщенные химическими элементами, а доля участия чистой воды из распределительного узла повысится.

Дело в том, что возвратная вода с массивов орошения, насыщенная токсичными элементами, является потенциальным источником вторичного засоления земель нижней зоны. Вода, освобожденная от вредных примесей, в результате модернизации водохозяйственных объектов в верхней зоне будет поступать в нижнюю зону в чистом виде, увеличивая ее водообеспеченность.



Итак, поскольку многие экологические и социально-экономические проблемы ЦА кроются в ограниченности запасов водных ресурсов, несовершенстве технико-экономических решений, технологических приемах и производства продукции, то основными путями достижения равновесия является разработка и реализация единой стратегии водосбережения, а также рационализации способов управления водно-земельными ресурсами.

Выводы. Основные принципы водосбережения отработаны на пилотных проектах, заложенных в репрезентативных по природным условиям районах ЦА, а именно, в зоне формирования стока. Такими технологиями в условиях рыночной экономики не предусмотрено исследование все «ab ovo» (всё сначала). Накопленный опыт в ЦА и достаточно сильные в прошлом водохозяйственные организации позволяют глубоко анализировать и детально обобщить взаимосвязи и взаимообусловленность природно-антропогенных процессов для оптимизации отбора воды из источников, улучшающих мелиорации водно-земельных ресурсов.

Список литературы:

1. Добровольский С.Г. Оценка возможных изменений речного стока в XXI веке как проблема глобальной гидрологии // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. – Новочеркасск : Лик, 2017. – С. 59–66.
2. Анализ и оценка современного состояния водопользования Центральной Азии / Б. Иманкулов [и др.] // Вестник Кыргызского Национального Аграрного университета им. К.И. Скрябина. – Бишкек, 2018. – № 2(47). – С. 298–303.
3. Иманкулов Б., Кендирбаева Дж.Ж. К вопросам исследования вероятности распределения водного стока Кыргызстана в условиях неопределенности климатических изменений и повышения техногенной нагрузки // Вестник Кыргызского Национального Аграрного университета им. К.И. Скрябина. – Бишкек, 2018. – № 3(48). – С. 130–136.
4. Иманкулов Б., Кендирбаева Дж.Ж. Гидрогеологические показатели оценки мелиоративного состояния орошаемых земель // Вестник Кыргызского Национального Аграрного университета им. К.И. Скрябина. – Бишкек, 2015. – № 1 (33). – С. 161–164.
5. Иманкулов Б., Кендирбаева Дж.Ж. Роль провальной зоны в распределении водного стока в межгорных впадинах // Вестник Кыргызского Национального Аграрного университета им. К.И. Скрябина. – Бишкек, 2015. – № 2(34). – С. 5–9.

List of references:

1. Dobrovolsky S.G. Assessment of possible changes in river flow in XXI century as a problem of global hydrology // Water resources: new challenges and solutions. – Novocherkassk : Lik, 2017. – P. 59–66.
2. Analysis and assessment of the current state of water use in Central Asia / B. Imankulov [et al.] // Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin. – Bishkek, 2018. – № 2(47). – P. 298–303.
3. Imankulov B., Kendirbaeva J.J. To study the probability of water flow distribution in Kyrgyzstan under the uncertainty of climate change and increased anthropogenic load // Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin. – Bishkek, 2018. – № 3(48). – P. 130–136.
4. Imankulov B., Kendirbaeva J.J. Hydrogeological indicators for assessing the reclamation state of irrigated lands // Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin. – Bishkek, 2015. – № 1 (33). – P. 161–164.
5. Imankulov B., Kendirbaeva J.J. The role of the trough zone in the distribution of water flow in the intermountain depressions // Bulletin of the Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin. – Bishkek, 2015. – № 2(34). – P. 5–9.



УДК 66.081.6

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОГО АППАРАТА КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА

MODERNIZATION OF ELECTRIC BAROMEMBRANE APPARATUS OF COMBINED TYPE

Коновалов Дмитрий Николаевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Техника и технологии
автомобильного транспорта», докторант,
Тамбовский государственный технический университет
kdn1979dom@mail.ru

Лазарев Сергей Иванович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Механика и инженерная графика»,
Тамбовский государственный технический университет
sergey.lazarev.1962@mail.ru

Малин Павел Михайлович

аспирант кафедры «Механика и инженерная графика»,
Тамбовский государственный технический университет
malin.pavlik@mail.ru

Коновалов Дмитрий Дмитриевич

студент Технологического института,
Тамбовский государственный технический университет
kdf2003dom@mail.ru

Аннотация. В работе представлено модернизированная конструкция электробаромембранного аппарата для разделения растворов, находящее применение в химических, машиностроительных (гальванических) и агрохимических производствах. Использование разработанной конструкции аппарата позволяет увеличить эффективность и качество разделения растворов.

Ключевые слова: разделение, раствор, аппарат.

Konovalev Dmitriy Nikolaevich.

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor
of Department «Techniques
and Technologies of Automobile Transport»,
Doctoral Candidate,
Tambov State Technical University
kdn1979dom@mail.ru

Lazarev Sergey Ivanovich

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Head of Mechanics
and Engineering Graphics Department,
Tambov State Technical University
sergey.lazarev.1962@mail.ru

Malin Pavel Mikhailovich

Postgraduate student,
Department of Mechanics
and Engineering Graphics?
Tambov State Technical University
malin.pavlik@mail.ru

Dmitry D. Konovalev

Student of the Technological Institute?
Tambov State Technical University
kdf2003dom@mail.ru

Annotation. The paper presents the modernized design of the electromembrane apparatus for the separation of solutions, which is used in chemical, mechanical (galvanic) and agrochemical industries. The use of the developed apparatus design makes it possible to increase the efficiency and quality of separation of solutions.

Keywords: separation, solution, apparatus.

Разработка и модернизация конструкций электрохимических мембранных аппаратов, используемых для регенерации технологических растворов машиностроительных предприятий и других производств, является на сегодняшний день актуальной задачей, и в тоже время существует проблема очистки из-за высокой стоимости очистных сооружений и неотработанной технологии очистки промышленных растворов на конечной стадии с использованием электромембранных аппаратов, хотя очистка растворов и сточных вод является неотъемлемой частью технологической завершенности промышленного предприятия, а также ресурсосбережения и экологичности процесса.

Прототипом данной конструкции является электробаромембранный аппарат комбинированного типа, конструкция которого приведена в патенте [1].

На рисунке 1 представлен электробаромембранный аппарат комбинированного типа, который состоит из двух крышек 1 и 2, имеющих штуцер ввода разделяемого раствора 3, штуцеров вывода ретентата второй и первой ступени 4 и 5, штуцеров вывода пермеата второй ступени и подачи воздуха 6 и 7, камер для прианодного и прикатодного пермеата 8 и 9 первой ступени, выступов для фиксации трубчатых модулей 10 и 11, трубок трубчатого модуля 12, корпуса плоскокамерного модуля 13, опорных колец 14, каналов для отвода прианодного и прикатодного пермеата 15 и 16, обратных клапанов 17, прианодной и прикатодной дренажных сеток 18 и 32, пористых подложек 19, прианодных и прикатодных мембран 20 и 31, поплавковых уровнемеров 21, прокладок 22, прокладок с каналом для отвода прианодного и прикатодного пермеата 23 и 24, герметизирующих заливок 25, байонетного кольца 26, клемм устройства для подвода электрического тока – анода 27 и катода 28, выполненных в виде цилиндрических шпилек с резьбой, в



которых имеются круглые сквозные прикатодные и прианодные проточки 35 и 36, проточных окон 29, диэлектрических перегородок 30, монополярных электродов 33 и 34, камер вывода ретентата второй ступени 37, штуцеров ввода и вывода охлаждающей воды 38 и 39, 3-контурных модулей охлаждения 40 типа «труба в трубе», переточных отверстий 41, переточных каналов 42.

Повышение площади разделения раствора на единицу объема плоскокамерного модуля аппарата, повышение качества и эффективности разделения растворов достигается за счет того, что плоскокамерный модуль состоит из первой, третьей и пятой прианодных камер разделения и второй, четвертой и последней прикатодных камер разделения с равной площадью прианодных и прикатодных мембран, позволяющих поддерживать одинаковую плотность тока в камерах разделения.

Охлаждение пермеата второй ступени достигается за счет того, что между трубками трубчатого модуля от камер для прианодного и прикатодного пермеата первой ступени до камер вывода ретентата второй ступени, расположены 3-контурные модули охлаждения типа «труба в трубе» с переточными отверстиями, переточными каналами, штуцерами ввода и вывода охлаждающей воды.

Таким образом, разделение раствора происходит в две стадии: на первой стадии разделяемый раствор проходит через первую, средние и последнюю камеры разделения в электромембранном плоскокамерном модуле, а на второй – через два трубчатых мембранных модуля, что обеспечивает высокую степень очистки раствора.

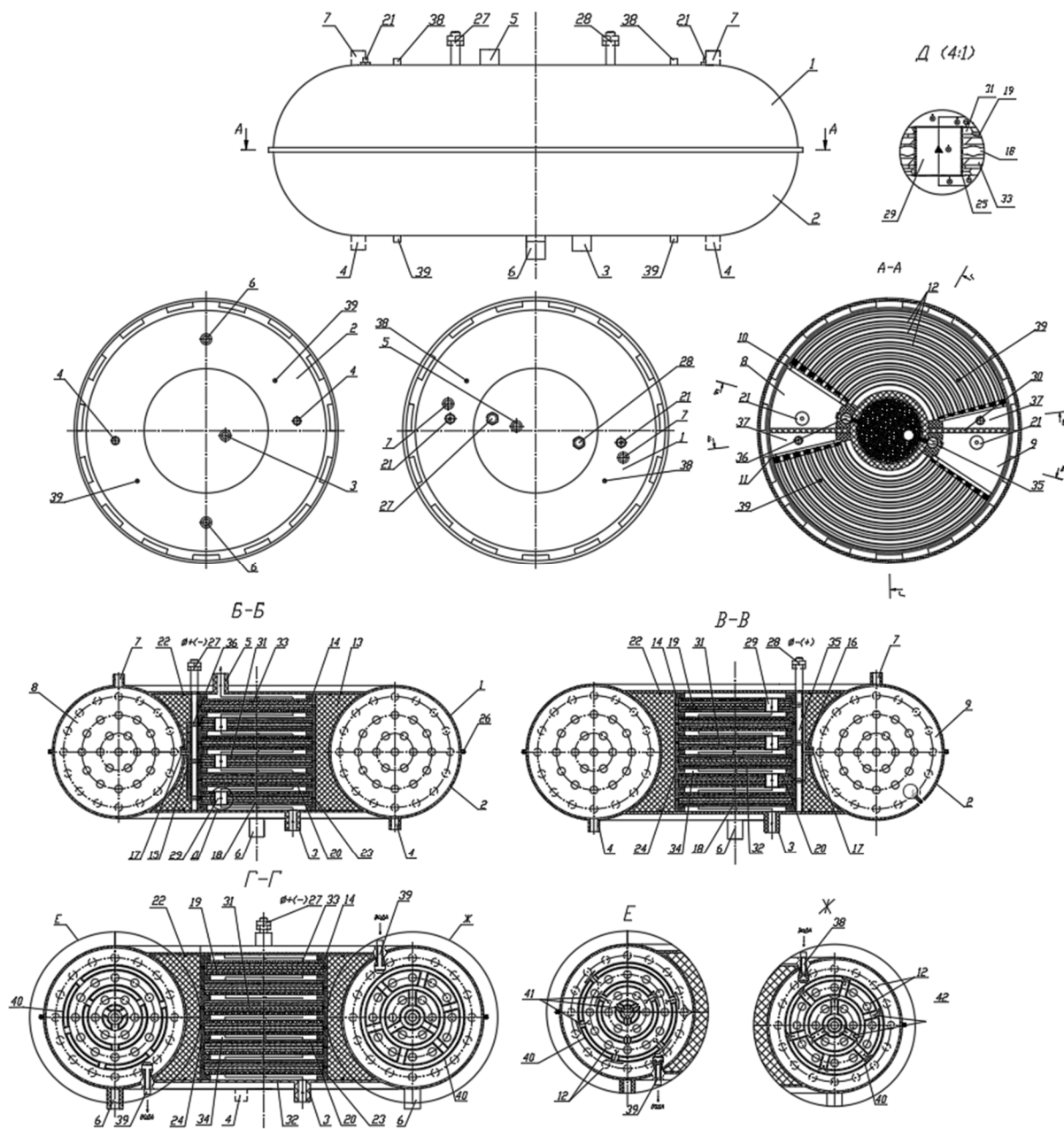


Рисунок 1 – Электробаромембранный аппарат комбинированного типа

**Список литературы:**

1. Пат. RU 2712599 C1 Российская Федерация, МПК В01D 61/18, В01D 63/06, В01D 63/08. Электробаромембранный аппарат комбинированного типа / С.И. Лазарев, И.В. Хорохорина, С.В. Ковалев, М.И. Михайлин, Д.С. Лазарев; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. – № 2019121998; заявл. 09.07.2019; опубл. 29.01.2020, Бюл. № 4.

List of references:

1. Pat. RU 2712599 C1 Russian Federation, IPC B01D 61/18, B01D 63/06, B01D 63/08. Electrobaromembrane apparatus of combined type / S.I. Lazarev, I.V. Khorokhorina, S.V. Kovalev, M.I. Mikhaylin, D.S. Lazarev; applicant and patent holder Tambov State Technical University. – No. 2019121998; dec. 07/09/2019; publ. 01/29/2020, Bull. No. 4.



УДК 66.048.3.069.83

ПРИБЛИЖЕННЫЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПАРОЖИДКОСТНЫХ НАГРУЗОК ПЕРЕКРЕСТНОТОЧНЫХ ТАРЕЛЬЧАТЫХ ВНУТРЕННИХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ

APPROXIMATE HYDRAULIC CALCULATION OF LIMIT VAPOR-LIQUID LOADS OF CROSS-FLOW DISC INTERNAL CONTACT DEVICES

Константинов Егор Константинович
аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
george.coin2@gmail.com

Чуракова Светлана Константиновна
доктор технических наук, профессор,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
chskugntu@rambler.ru

Аннотация. Рассмотрена работа перекрестноточной тарелки как система смеситель-сепаратор, предложена формула приблизительной оценки предельных нагрузок.

Ключевые слова: Гидравлическое сопротивление, гидродинамика, клапанные тарелки, методика расчета, ректификация.

Konstantinov Egor Konstantinovich
Post-graduate of Department
of Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
george.coin2@gmail.com

Churakova Svetlana Konstantinovna
Doctor of technical Sciences, Professor,
Ufa State Petroleum Technological University
chskugntu@rambler.ru

Annotation. The operation of the cross-flow tray as a mixer-separator system is excluded, and a formula for an approximate estimate of the limiting values is proposed.

Keywords: calculation procedure, hydraulic resistance, hydrodynamics, valve trays, rectification.

Перекрестноточные тарельчатые внутренние контактные устройства состоят из рабочей зоны барботаж и переливных устройств. Рабочая зона барботаж служит для приведения в контакт пара и жидкости, в то время как переливные устройства необходимы для обеспечения сепарации пара от жидкости и перелива жидкости на нижележащую тарелку [1].

Таким образом, тарелку, снабженную переливным устройством можно представить в виде системы смеситель-сепаратор, изображенной на рисунке 1.

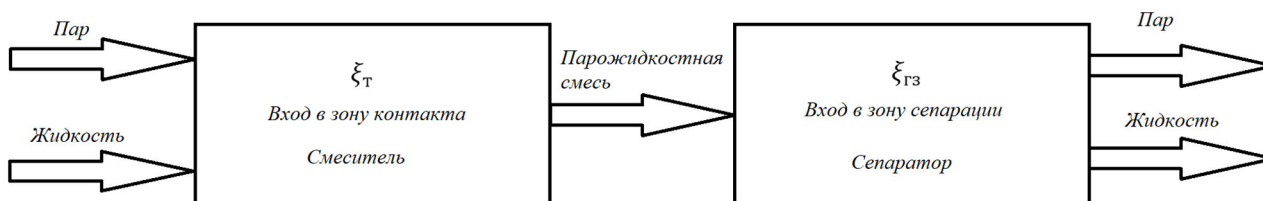


Рисунок 1 – схема перекрестноточной тарелки

Верхний предел парожидкостных нагрузок определяется захлёбыванием одного из двух этих элементов – смесителя или сепаратора [2]. Рассмотрим вариант с захлёбыванием сепаратора (переливного устройства). В этом случае уровень жидкости в нем сравнивается с суммарной высотой между тарелками и высотой переливной планки. Это означает, что перепад давления между тарелками становится достаточно велик, чтобы удержать такой столб жидкости в кармане. Обозначим ξ_T как коэффициент гидравлического сопротивления полотна тарелки и $\xi_{ГЗ}$ как коэффициент гидравлического сопротивления гидрозазора переливного устройства. ξ_T зависит от физико-химических свойств поступающей на тарелку жидкости и конструктивных особенностей тарелки – её типа, высоты сливной планки, наличия затворной планки и др. $\xi_{ГЗ}$ зависит от конструктивных особенностей переливного устройства – наличия заглублённого кармана, высоты клиренса, наличия затворной планки, сечения прохода жидкости на тарелку.

Считая, что гидравлическое сопротивление тарелки складывается из сухого сопротивления и сопротивления слоя пены на тарелке, гидравлическое сопротивление для упрощения выразим в виде уравнения Вейсбаха [3].

$$\Delta P_T = \xi_T \cdot \frac{\omega_T^2}{2} \cdot \rho_T.$$



Скорость газа принимаем как скорость в свободном сечении тарелки (сито, клапаны, колпачки).

Данное упрощение является грубым, так как сопротивление слоя пены на тарелке зависит от свойств среды, парожидкостных нагрузок, конструкции тарелки.

Гидравлическое сопротивление гидрозатвора также выразим аналогичным образом, скорость жидкости в сечении гидрозатвора определяется его геометрией – высотой клиренса тарелки и длиной стенки переливного кармана, которая в общем случае совпадает с прямой сливной планкой. В данном случае будем считать, что наибольшую скорость жидкости имеет в сечении клиренса.

$$\Delta P_{ГЗ} = \xi_{ГЗ} \cdot \frac{\omega_{ж}^2}{2} \cdot \rho_{ж},$$

$$\Delta P_{ГЗ} = \xi_{ГЗ} \cdot \frac{L^2}{2 \cdot h_{клир}^2 \cdot b^2} \cdot \rho_{ж},$$

где $h_{клир}$ – высота клиренса сливного кармана; L – объемный расход жидкости; b – длина стенки сливного кармана.

Так как длина стенки сливного кармана в общем случае совпадает с периметром слива, возможно выполнить следующее преобразование:

$$\Delta P_{ГЗ} = \xi_{ГЗ} \cdot \frac{L_v^2}{2 \cdot h_{клир}^2} \cdot \rho_{ж},$$

где L_v – напряженность слива, выраженная в м³/м·с.

Также произведем преобразование уравнения расчета перепада давления на тарелке через удельную паровую нагрузку – F-фактор:

$$\Delta P_{Т} = \xi_{Т} \cdot \frac{F^2}{2}$$

Таким образом, складывая эти перепады, и выражая его через геометрический напор светлой жидкости в переливном кармане, получаем выражение для вычисления максимальных парожидкостных нагрузок:

$$H = \xi_{ГЗ} \cdot \frac{L_v^2}{2 \cdot h_{клир}^2 \cdot g} + \xi_{Т} \cdot \frac{F^2}{2 \cdot \rho_{ж} \cdot g}.$$

Выражаем предельную высоту столба жидкости в кармане как сумму расстояния между полотнами и высотой сливной планки [4, 5], получаем выражение для вычисления приблизительных максимальных парожидкостных нагрузок:

$$H_m + h_{слив} = \xi_{ГЗ} \cdot \frac{L_v^2}{2 \cdot h_{клир}^2 \cdot g} + \xi_{Т} \cdot \frac{F^2}{2 \cdot \rho_{ж} \cdot g},$$

где H_m – межтарельчатое расстояние; $h_{слив}$ – высота сливной планки.

Так как данное выражение носит грубый характер, высота подпора жидкости над тарелкой не учитывается, также не учитывается вспененное состояние жидкости в кармане.

Результатов стендовых испытаний показали, что при скорости жидкости на входе в тарелку от 0,5 м/с и выше $\xi_{ГЗ}$ практически не изменяет своего значения.

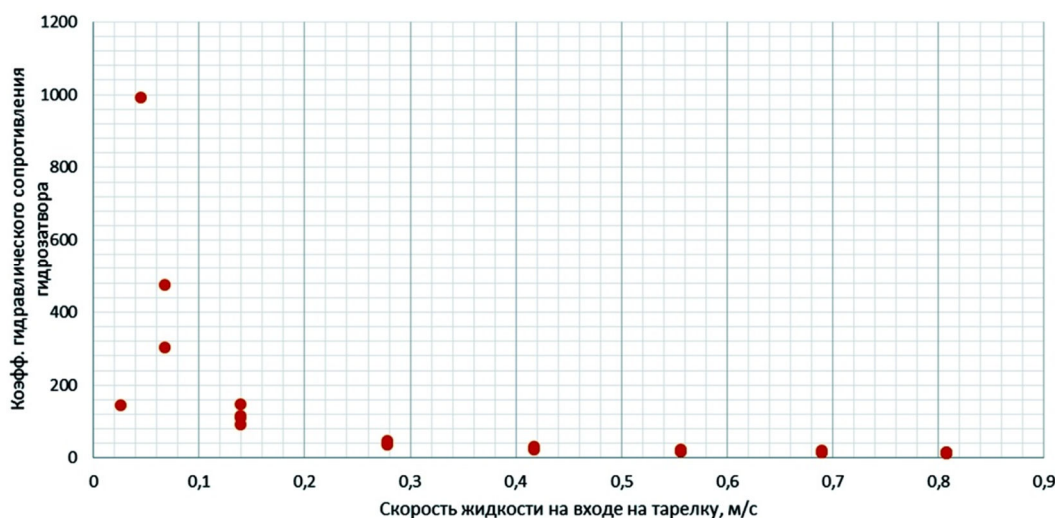


Рисунок 3 – Значения коэффициента гидравлического сопротивления гидрозатвора в зависимости от скорости жидкости в нем



Это даёт основание для вывода, что в этой области полученное выражение справедливо. Резкое изменение коэффициента гидравлического сопротивления гидрозатвора в области низких жидкостных нагрузок связано с неучтёнными параметрами и требует дополнительного исследования.

Таким образом, для конкретной пары пар/жидкость и конкретной конструкции тарелки возможно получить вполне определённые предельные удельные парожидкостные нагрузки в виде функции:

$$\Phi(L_v, F) = 0.$$

Список литературы:

1. Kister H.Z. Distillation design» McGraw-Hill. – New York, USA, 1992. – 710 p.
2. Исследовательский стенд для определения областей устойчивой работы контактных устройств фракционирующего оборудования / С.К. Чуракова [и др.] // в сборнике материалов Всероссийской научно-практической конференции «Новые направления работ на нефть и газ, инновационные технологии разработки их месторождений, перспективы добычи нетрадиционного углеводородного сырья». – Оренбург, 2019. – С. 172–175.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии – 13-е изд. – М. : Альянс, 2006. – С. 752–784.
4. Отраслевой стандарт ОСТ 26-01-1488-83 «Аппараты колонные тарельчатые. Метод технологического и гидродинамического расчета».
5. Альбом типовых конструкций ATK-26-02-1-89 «Тарелки клапанные прямооточные для аппаратов колонного типа. Параметры, конструкция и основные размеры».

List of references:

1. Kister H.Z. Distillation design" McGraw-Hill. – New York, USA, 1992. – 710 p.
2. Research bench to determine the areas of stable operation of contact devices of fractionation equipment / S.K. Churakova [et al.] // in the collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference «New directions of oil and gas, innovative technologies of their field development, prospects for unconventional hydrocarbon raw materials». – Orenburg, 2019. – P. 172–175.
3. Kasatkin A.G. Basic processes and apparatuses of chemical technology – 13th ed. – M. : AIYans, 2006. – P. 752–784.
4. Industry standard OST 26-01-1488-83 «Apparatuses of column discs. Technological and hydrodynamic design method».
5. Standard Construction Album ATK-26-02-1-89 «Straight-line valve trays for column-type apparatuses. Parameters, design and main dimensions».



УДК 66.015.4:541.121.001

АНАЛИЗ СТАЦИОНАРНЫХ СОСТОЯНИЙ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «РЕАКТОР-СЕПАРАТОР» НА ПРИМЕРЕ РЕАКЦИИ ДИМЕРИЗАЦИИ

ANALYSIS OF STEADY STATES OF THE REACTOR-SEPARATOR RECIRCULATION SYSTEM BY THE EXAMPLE OF THE DIMERIZATION REACTION

Королькова Н.А.

Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова МИРЭА, Российский технологический университет

Назанский С.Л.

Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова МИРЭА, Российский технологический университет
nazanski@yandex.ru

Korolkova N.A.

M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies MIREA, Russian technological university

Nazanskii S.L.

M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies MIREA, Russian technological university
nazanski@yandex.ru

Аннотация. Проведено математическое моделирование стационарных режимов работы рециркуляционной системы «реактор идеального смешения-парожидкостной сепаратор» с рециклом для реакции $2A=B$. Расчеты проводились при изменении потока рецикла. Показано, что в системе может реализовываться до трех стационарных состояний, отличающихся температурой в реакторе и производительностью. Полученные результаты позволяют выявить стационарные состояния с максимальной конверсией и соответствующие данным состояниям конструктивные и режимные параметры.

Annotation. A mathematical modelling of recycled continuous stirred reactor-vapor liquid separator system carried out. System liquid phase reaction is $2A=B$, reactive mixture has no azeotropes and A is the more volatile component. Calculations of the system steady states was made with varying of reactor and separator heat duties. Proved up to three steady states can exist for system is considered. The results allow to receive construction and operation parameters of recycled system, corresponding of maximal conversion.

Ключевые слова: математическое моделирование, реактор, сепаратор, рециркуляционная система, стационарные состояния.

Keywords: mathematical simulation, reactor, separator, recycled system, steady states.

Химико-технологические системы с обратными связями во многих случаях характеризуются наличием множественных стационарных состояний (полистационарностью) [1, 2]. Проявляется это таким образом, что при закрепленных значениях конструктивных и режимных параметров может реализовываться несколько стационарных режимов, отличающихся технологическими показателями процесса. В связи с этим является актуальной задача выявления всех возможных стационарных состояний системы и выбора режима с наилучшими технологическими показателями. Решение указанной задачи с помощью содержательных математических моделей во многих случаях затруднено. Поэтому на начальном этапе целесообразно использовать качественный анализ с применением упрощенных математических моделей. Полученные на данном этапе результаты могут быть использованы в ходе с последующего численного моделирования на более сложных, содержательных моделях [3].

Объектом исследования в данной работе является рециркуляционная система «реактор идеального смешения-парожидкостной сепаратор» представленная на рисунке 1. Рассматривалась экзотермическая реакция димеризации ацетона (A) в диацетоновый спирт (B). Зависимости мольных объемов и теплоемкостей компонентов от температуры были взяты из базы данных программного пакета Aspen Plus [4]. Принималось, что потоки жидкости и пара, выходящие из сепаратора, находятся в состоянии фазового равновесия. Мольный объем реакционной смеси подчиняется правилу аддитивности.

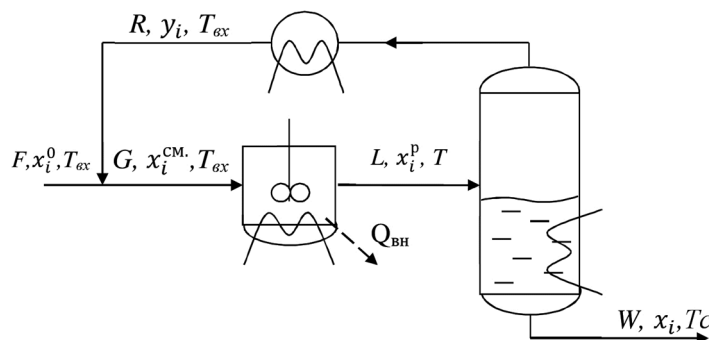


Рисунок 1 – Рециркуляционная система «реактор-сепаратор»



Математическая модель рециркуляционной системы состоит из уравнений материального баланса реактора и сепаратора с учетом кинетического уравнения, а также теплового баланса:

Материальный баланс реактора:

$$F x_A^0 + R y_A - L x_A^p - 2V \left[\frac{k^+ (x_A^p)^2}{v^2} - \frac{k^- (1 - x_A^p)}{v} \right] = 0, \tag{1}$$

где v – мольный объем смеси:

$$v = v_A x_A^p + v_B (1 - x_A^p). \tag{2}$$

Материальный баланс сепаратора:

$$L x_A^p - R y_A - W x_A = 0, \tag{3}$$

где состав пара:

$$y_A = \frac{\alpha x_A}{\alpha x_A + 1 - x_A}, \tag{4}$$

$$\alpha = A x_A^5 + B x_A^4 + C x_A^3 + D x_A^2 + E x_A + F. \tag{5}$$

Невязка теплового баланса реактора:

$$\Delta Q = T_{ex} C_{pA}^{ex} (F x_A^0 + R y_A) + T_{ex} C_{pB}^{ex} [F (1 - x_A^0) + R (1 - y_A)] - TLC_{pA} x_A^p - TLC_{pB} (1 - x_A^p) - \Delta H V w + Q_{внеш} = 0, \tag{6}$$

где w – скорость реакции:

$$w = \frac{k^+ (x_A^p)^2}{v^2} - \frac{k^- (1 - x_A^p)}{v}, \tag{7}$$

ΔH – изменение энтальпии при протекании реакции; C_{pA}^{ex}, C_{pB}^{ex} теплоемкости жидких компонентов А и В соответственно, при входной температуре, кДж/(кмоль·К); T_{ex} – температура на входе в реактор, К; C_{pA}, C_{pB} теплоемкости жидких компонентов А и В соответственно, при температуре в реакторе, кДж/(кмоль·К); T – температура в реакторе, К; $Q_{внеш}$ – поток тепла, подаваемый в реактор извне, кДж/ч.

Коэффициенты полинома (5) были оценены по Y-X-диаграмме смеси ацетон-диацетоновый спирт, полученной с помощью модели NRTL в среде программного пакета Aspen Plus. Значения коэффициентов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты зависимости относительной летучести от состава

A	B	C	D	E	F
6643	-12944	9122	-2605	293,9	4,228

При расчете материального баланса рециркуляционной системы в качестве входных параметров закреплялись: значения потока питания, его состав и температура, а также температура и величина потока рецикла; объем реактора, а также количество отведенного тепла. Далее при различных значениях температуры в реакторе решалась система уравнений (1), (3), (4) с учетом выражений (2), (5) и вычислялась невязка теплового баланса (6). Стационарные состояния системы выявлялись по точкам пересечения графика невязки с осью OX (невязка равна нулю, рис. 2).

Расчеты стационарных состояний рециркуляционной системы проводились при следующих исходных данных: Температура входного потока реагентов: $T_{вх} = 263,15$ К; объем реактора: $V = 1,4$ м³; подача исходного сырья: 100 кмоль/ч чистого А; отвод тепла: $Q_{вн} = 0$ кДж/ч. Из приведенных на рисунке 2 зависимостей невязки теплового баланса от температуры видно, что точки пересечения с осью Oх соответствующие стационарному состоянию, с увеличением потока рецикла смещаются вдоль оси Oх (температура стационарного состояния уменьшается при увеличении потока рецикла). Из рисунка 2 видно, что существует диапазон значений рецикла R, при которых в рециркуляционной системе ре-



ализуются три стационарных состояния, отличающиеся производительностью и температурой в реакторе. Множественные стационарные состояния реализуются при значениях потока рецикла свыше 200 кмоль/ч. Итоговые результаты работы представлены на рисунке 3.

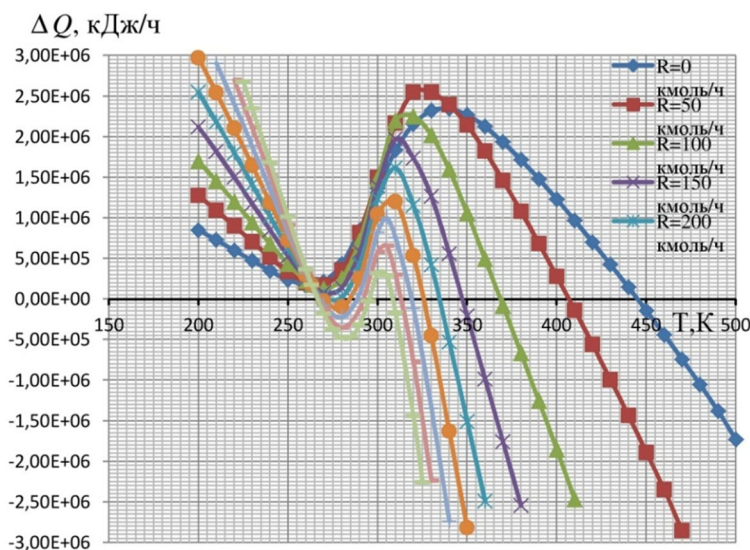


Рисунок 2 – Невязка теплового баланса реактора в зависимости от температуры при различных величинах рецикла

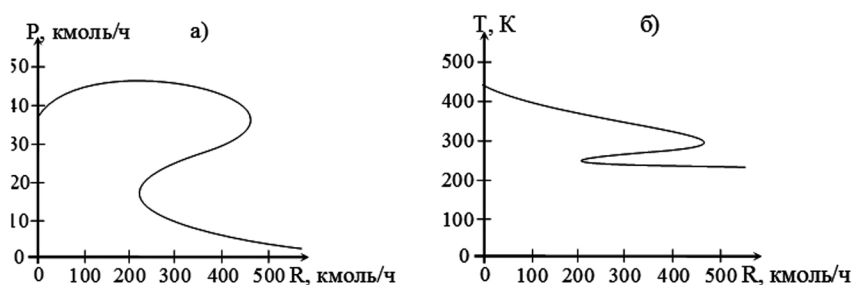


Рисунок 3 – Зависимость производительности системы: а) и температуры в реакторе; б) от потока рецикла

Из рисунка 3 видно, что при рециклах в диапазоне от 200 до 460 кмоль/ч реализуются три стационарных состояния с различной производительностью и температурой в реакторе. Следует отметить, что наиболее высокой производительностью, а, следовательно, и конверсией характеризуются состояния с более высокими температурами в реакторе.

Таким образом для системы «реактор-сепаратор» на примере реакции $2A \rightleftharpoons B$ показана возможность существования до трех стационарных состояний с различной конверсией реагента с рециклом выявлены области существования множественных стационарных состояний, отличающихся конверсией в системе и температурой в реакторе.

Список литературы:

1. Нагиев М.Ф. Химическая рециркуляция. – М. : Наука, 1978. – 87 с.
2. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии. – М. : Наука, 1976. – 498 с.
3. Благов С.А. Разработка метода анализа стационарных состояний рециркуляционных реакционно-ректификационных процессов : дис. ... канд. техн. наук. – М. : МИТХТ, 1999. – 190 с.
4. База данных NIST TDE программного пакета Aspen Plus v. 10.

List of references:

1. Nagiev M.F. Chemical recirculation. – M. : Nauka, 1978. – 87 p.
2. Kafarov V.V., Dorokhov I.N. System Analysis of Chemical Technology Processes. A Strategy Fundamentals. – A System Analysis of the Processes of Chemical Technology. – M. : Nauka, 1976. – 498 p.
3. Blagov S.A. Development of a method for the analysis of the stationary states of the recirculation reactive-rectification processes: Ph. ... candidate of technical sciences. – M. : MITHT, 1999. – 190 p.
4. The NIST TDE database of the software package Aspen Plus v. 10.



УДК 543.544-414.5

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

THE MAIN DIRECTIONS OF GREENING THE PRODUCTION OF THE OIL AND GAS COMPLEX

Красноперова Светлана Анатольевна

кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры геологии нефти и газа,
Удмуртский государственный университет
krasnoперова_sve@mail.ru

Krasnoперova Svetlana Anatolyevna

Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Geology of Oil and Gas,
Udmurt State University
krasnoперова_sve@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена рассмотрению вопросов экологизации производства нефтегазового комплекса. Здесь выделены основные приоритетные направления по минимизации загрязнения окружающей среды и снижению уровня ресурсоемкости, а также поиска решений по переработке и утилизации различных видов отходов.

Annotation. This article is devoted to the consideration of the issues of greening the production of the oil and gas complex. It highlights the main priority areas for minimizing environmental pollution and reducing the level of resource intensity, as well as finding solutions for the processing and disposal of various types of waste.

Ключевые слова: экологизация нефтегазового комплекса, отходы, переработка отходов.

Keywords: greening of the oil and gas complex, waste, waste recycling.

В настоящее время рост негативного действия на окружающую природную среду и ограниченность углеводородного сырья вызывает необходимость более глубокого рассмотрения таких вопросов как экологизация производства, особенно нефтегазового комплекса. Главная цель экологизации производства направлена прежде всего на снижение уровня ресурсоемкости и минимизации загрязнения окружающей среды [1–3]. В данном направлении также происходит поиск решений по переработке и утилизации различных видов отходов с возможностью получения вторичного сырья. В ходе анализа мы выявили наиболее приоритетные направления (рис. 1).

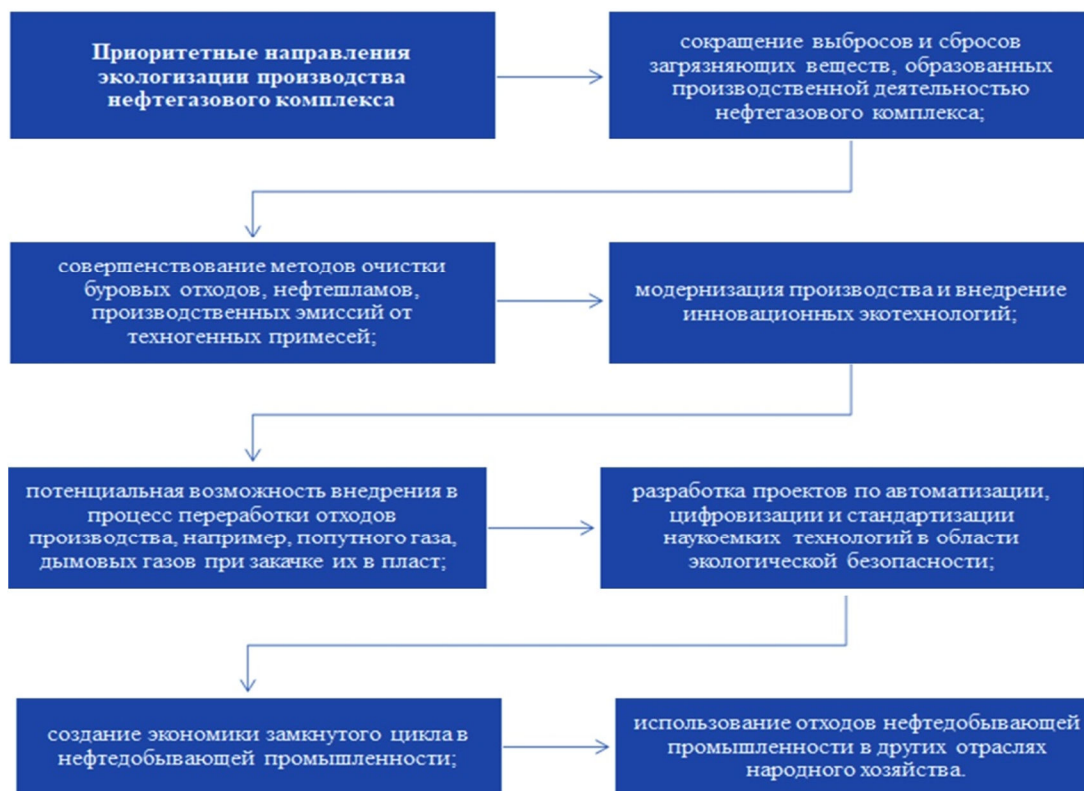


Рисунок 1 – Приоритетные направления экологизации производства нефтегазового производства [2, 4]



Таким образом, основные направления экологизации производства связаны в основном с переработкой и утилизацией отходов, которые должны по возможности вовлекаться в производственный оборот, что сопоставимо с круговоротом в экосистемах окружающей среды. Разработка и глубокое изучение вышеперечисленных направлений могут значительно снизить уровень негативного воздействия на природную среду и сохранить экологическое равновесие в природных системах.

Список литературы:

1. Экологизация производства / Б.С. Сайфиidinov [и др.] // Тенденции развития науки и образования. – 2019. – № 50-5. – С. 61–64.
2. Красноперова С.А. Экологизация производства нефтегазового комплекса: проблемы, понятия // Управление техносферой: электрон. журнал. – 2022. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 113–119. – URL : <https://technosphere-ing.ru>. DOI: <https://doi.org/10.34828/UdSU.2022.26.48.009>
3. Красноперова С.А. Проблема утилизации попутного нефтяного газа на примере нефтяного месторождения Удмуртской Республики // Управление техносферой. – 2021. – Т. 4. – Вып. 1. – С. 63–74. – URL : <https://technosphere-ing.ru> DOI: <https://doi.org/10.34828/UdSU.2021.65.70.007>
4. Сипайло Л.Г. Основные направления мотивирования экологизации инновационной деятельности промышленного производства // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2013. – № 11. – С. 229–237.

List of references:

1. Ecologization of production / B.S. Sayfidinov [et al.] // Trends in the development of science and education. – 2019. – № 50–5. – P. 61–64.
2. Krasnoperova S.A. Ecologization of oil-and-gas complex production: problems, concepts // Management of technosphere: electronic journal. – 2022. – Vol. 5. – Issue. 1. – P. 113–119. – URL : <https://technosphereing.ru>. DOI: <https://doi.org/10.34828/UdSU.2022.26.48.009>
3. Krasnoperova S.A. The problem of associated petroleum gas utilization by the example of an oil field in the Udmurt Republic // Management of the Technosphere. – 2021. – Vol. 4. – Issue. 1. – P. 63–74. – URL : <https://technosphere-ing.ru> DOI: <https://doi.org/10.34828/UdSU.2021.65.70.007>
4. Sipailo L.G. Main directions of motivation of ecologization of innovative activity of industrial production // Scientific Vestnik of Moscow State Mining University. – 2013. – № 11. – P. 229–237.



УДК 66.048.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЛИЧИЯ ВЕРХНЕГО И НИЖНЕГО ДНИЩА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОПАСТНОГО УСТРОЙСТВА ВВОДА СЫРЬЯ МЕТОДОМ CFD-АНАЛИЗА

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE PRESENCE OF THE UPPER AND LOWER BOTTOMS ON THE EFFICIENCY OF THE BLADE INPUT DEVICE OF RAW MATERIALS BY CFD ANALYSIS

Маннанов Тимур Ильнурович

старший преподаватель кафедры нефтехимии
и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
t.i.mannanov@yandex.ru

Чураков Василий Александрович

магистрант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
ophioc@gmail.com

Чуракова Светлана Константиновна

доктор технических наук, профессор кафедры
нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
chskugntu@rambler.ru

Аннотация. Проведено расчетное исследование влияния на эффективность работы типового лопастного устройства ввода сырья наличия верхнего и нижнего днища. Показано, что наиболее эффективно с точки зрения сепарации устройство ввода с верхним и нижним днищем: высота сепарационной зоны на 36–38 % выше у устройства без нижнего днища, и в 1,5–3,25 раз выше у устройства без верхнего днища. На гидравлическое сопротивление данные конструктивные параметры не оказывают значительного влияния.

Ключевые слова: CFD-анализ, гидравлическое сопротивление, лопастное устройство ввода сырья, ректификация, сепарация.

Mannanov Timur Ilnurovich

Senior lecturer of Department
of Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
t.i.mannanov@yandex.ru

Churakov Vasily Aleksandrovich

Master of Department of Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
ophioc@gmail.com

Churakova Svetlana Konstantinovna

Doctor of technical Sciences,
Professor of Department of Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
chskugntu@rambler.ru

Annotation. A calculated study of the effect of the presence of an upper and lower bottom on the efficiency of a typical blade input device for raw materials has been carried out. It is shown that the input device with an upper and lower bottom is the most effective from the point of view of separation: the height of the separation zone is 36–38 % higher for a device without a lower bottom, and 1.5–3.25 times higher for a device without an upper bottom. These design parameters do not have a significant effect on the hydraulic resistance.

Keywords: blade input device of raw materials, CFD analysis, hydraulic resistance, rectification, separation.

Узел ввода сырья предназначен подачи сырьевого парового или парожидкостного потока сырья в массообменный колонный аппарат, в нем происходит сепарация на потоки паровой и жидкой фазы и направление этих потоков соответственно в укрепляющую и отгонную секцию колонны [1, 2]. В настоящее время широкое распространение получили устройства ввода сырья отбойного типа, лопастные и тангенциальные устройства ввода сырья [3]. Данные устройства составляют неотъемлемую часть комплекта внутренних устройств массообменного оборудования наряду с контактными устройствами – насадками или тарелками. Зачастую при расчете процесса ректификации принимается, что в зоне ввода сырья происходит процесс однократного испарения и конденсации парожидкостного сырья, таким образом, зона ввода сырья считается в колонне как теоретическая тарелка. В связи с этим является важной полнота сепарации сырьевого потока в этих устройствах, что исследуется путем CFD-анализа гидродинамики устройств ввода сырья, проводимые научными коллективами различных стран [3–5]. Увеличение доли уноса жидкой фазы в укрепляющую секцию колонны увеличивает энергозатраты процесса ректификации [6, 7].

Лопастное устройство ввода сырья содержит в своей конструкции штуцер ввода сырья, соединенный с распределительным устройством с установленными в нем направляющими лопастями. Они



могут быть установлены с постоянным или переменным поперечным смещением и продольным шагом. Моделируемое одноканальное лопастное устройство ввода сырья имеет по 10 лопастей с каждой стороны, расстояние между лопастями принято 126 мм. Ширина лопасти 150 мм, угол поворота 30°. 3D-модель устройства ввода представлена на рисунке 1.

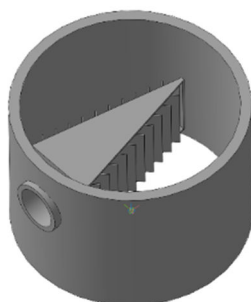


Рисунок 1 – 3D-модель лопастного устройства ввода сырья

В данной работе приведены результаты исследования влияния наличия верхнего и нижнего днища лопастного устройства ввода сырья на высоту сепарационной зоны показаны на графике. В качестве модельного сырья применялась смесь легких углеводородов C1 – C4, при повышенном давлении 13 атм. и доле отгона 0,7. Среда и порядок выполнения CFD-моделирования в программе ANSYS CFX соответствует работам [8, 9].

Результаты исследования влияния наличия верхнего и нижнего днища лопастного устройства ввода сырья на высоту сепарационной зоны показаны на графике на рисунке 2.

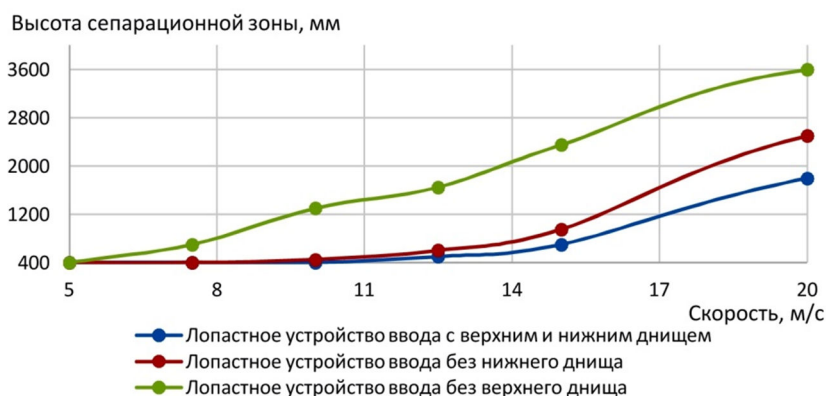
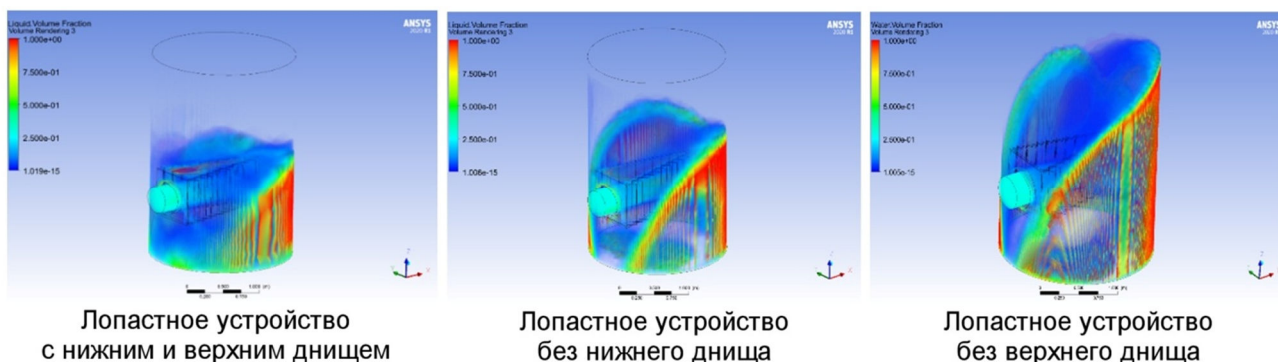


Рисунок 2 – Зависимость высоты сепарационной зоны от скорости подачи сырья

Применение лопастных устройств ввода сырья с нижним днищем позволяет уменьшить высоту сепарационной зоны на 36–38 % по сравнению с устройством ввода без нижнего днища при скорости подачи сырья 15–20 м/с. При скорости подачи сырья 10 м/с и ниже высота сепарационной зоны минимальна, разделение паровой и жидкой фазы происходит в устройстве ввода сырья. Лопастные устройства ввода сырья без верхнего днища характеризуются в 1,5–3,25 раза большей высотой сепарационной зоны при скорости подачи сырья 7,5–20 м/с по сравнению с устройством ввода с верхним днищем. Визуализация распределения потока жидкости при скорости 15 м/с представлена на рисунке 3.



Лопастное устройство с нижним и верхним днищем

Лопастное устройство без нижнего днища

Лопастное устройство без верхнего днища

Рисунок 3 – Визуализация распределения потока жидкости при скорости 15 м/с



Результаты исследования влияния наличия верхнего и нижнего днища лопастного устройства ввода сырья на гидравлическое сопротивление показаны на графике на рисунке 4.

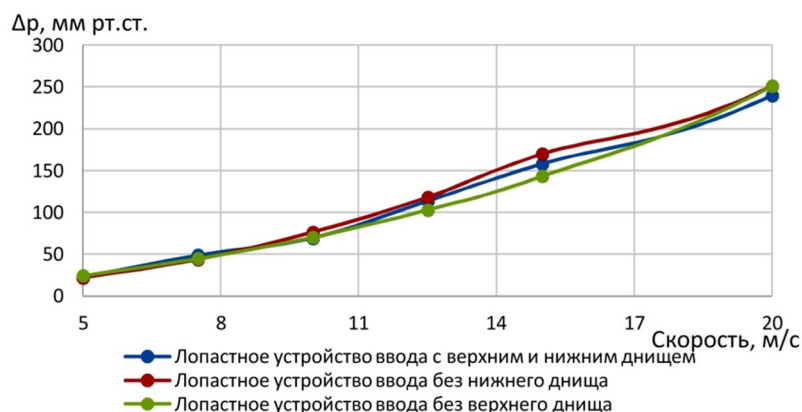


Рисунок 4 – Зависимость гидравлического сопротивления от скорости подачи сырья

Из рисунка 4 видно, что наличие верхнего и нижнего днищ незначительно влияет на гидравлическое сопротивление.

Таким образом, рекомендуется применение лопастных устройств ввода с верхним и нижним днищем, так как они позволяют обеспечивать сепарацию при наименьшей высоте сепарационной зоны по сравнению с устройствами без верхнего или нижнего днища.

Список литературы:

1. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа : уч. для вузов. – М. : Химия, 2001. – 568 с.
2. Маннанов Т.И., Чуракова С.К. Исследование различных конструкций устройств ввода сырья в массообменные колонны методом CFD-анализа // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2021. – № 11. – С. 3–6.
3. CFD-анализ – современный подход к исследованию процесса разделения и распределения потоков в устройствах ввода сырья массообменных аппаратов / Т.И. Маннанов [и др.] // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 5. – С. 159–165.
4. CFD-моделирование устройства ввода лопастного типа в колонне и анализ паров для двух различных входных потоков / Х. Бансал [и др.] // Эликсир Хим. Инж. – 2014. – № 66. – С. 20721–20725.
5. Верли М., Хиршберг С., Швейцер Р. Влияние конструкции подачи пара на распределение потока под насадками // Хим. Инж. Технол. – 2003. – № 81. – С. 116–121.
6. Маннанов Т.И., Лесной Д.В., Чуракова С.К. Исследование влияния эффективности сепарации в узле ввода сырья ректификационных колонн на энергетические затраты // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 4. – С. 85–88.
7. Маннанов Т.И., Чураков В.А. Расчетное исследование влияния полноты сепарации парожидкостного сырья на энергозатраты процесса ректификации различных смесей // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 2. – С. 100–102.
8. Маннанов Т.И., Чуракова С.К. Расчетное исследование работы лопастных устройств ввода массообменного и сепарационного оборудования // Башкирский химический журнал. – 2021. – Т. 28. – № 4. – С. 97–102.
9. Маннанов Т.И., Чуракова С.К. Влияние доли отгона парожидкостного потока на показатели работы лопастного устройства ввода сырья // Теория и практика массообменных процессов химической технологии : материалы VI Межд. науч. конф. – Уфа, 2021. – С. 47–49.

List of references:

1. Manovyan A.K. Technology of primary oil and natural gas processing: a study for universities. – M. : Chemistry, 2001. – 568 p.
2. Mannanov T.I., Churakova S.K. Investigation of various designs of the input devices of raw materials in the mass-exchange columns by CFD-analysis // Chemical and Oil and Gas Engineering. – 2021. – № 11. – P. 3–6.
3. CFD-analysis – a modern approach to the research of separation and distribution of flows in the input devices of raw materials of mass-exchange apparatuses / T.I. Mannanov [et al.] // Bulatov readings. – 2020. – V. 5. – P. 159–165.



4. CFD modeling of a vane-type inlet device in a column and vapor analysis for two different inlet streams / H. Bansal [et al.] // *Elixir Chem. Ing.* – 2014. – № 66. – P. 20721–20725.
5. Werley M., Hirschberg S., Schweitzer R. Effect of steam supply design on flow distribution under nozzles // *Chem. Ing. Technol.* – 2003. – № 81. – P. 116–121.
6. Mannanov T.I., Lesnoy D.V., Churakova S.K. Study of the influence of separation efficiency in the input node of rectification columns on energy costs // *Bulatov readings.* – 2019. – V. 4. – P. 85–88.
7. Mannanov T.I., Churakov V.A. Calculation study of the influence of the completeness of separation of vapor–bone raw materials on the energy costs of the rectification process of various mixtures // *Bulatov Readings.* – 2022. – V. 2. – P. 100–102.
8. Mannanov T.I., Churakova S.K. A computational study of vane input devices for mass–exchange and separation equipment // *Bashkir Chemical Journal.* – 2021. – V. 28. – № 4. – P. 97–102.
9. Mannanov T.I., Churakova S.K. The influence of the proportion of the steam–liquid stream on the performance of the vane input device for raw materials // *Theory and practice of mass–exchange processes of chemical technology: Proceedings of the VI Int.* – P. 47–49.



УДК 66.011

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЯ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

STUDY OF PROPYLENE GLYCOL PRODUCTION PLANT AS AN AUTOMATION OBJECT

Меликов Эльчин Адиль оглы

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры Электроники и Автоматики,
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности
elchin03@mail.ru

Магеррамова Тамелла Мустафа кызы

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры Электроники и Автоматики,
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности
tamellatm@gmail.com

Ахмедова Севиль Шахназар кызы

лаборант кафедры Электроники и Автоматики,
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности
adnsu_ism_61@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию сложной химико-технологической системы – установки получения пропиленгликоля – как объекта автоматизации и управления. Проведенные исследования на установке получения пропиленгликоля показывают, что при рассмотрении исследуемой системы как детерминированной, упускаются из виду важные особенности рассматриваемой химико-технологической системы. В аналогичных системах имеется ряд технологических процессов, в которых в процессе управления ими основные факторы, определяющие состояние этих систем, задаются нечетко.

Ключевые слова: объект автоматизации, химико-технологическая система, товарный пропиленгликоль, технологический процесс.

Melikov Elchin Adil

Ph. D., Associate Professor of Department
of Automation Technological Processes,
Azerbaijan State Oil and Industry University
elchin03@mail.ru

Maharramova Tamella Mustafa

Ph. D., Associate Professor of Department
of Automation Technological Processes,
Azerbaijan State Oil and Industry University
tamellatm@gmail.com

Ahmadova Sevil Shahnazar

Laboratory assistant of Department
of Automation Technological Processes,
Azerbaijan State Oil and Industry University
adnsu_ism_61@mail.ru

Annotation. This article is devoted to the study of a complex chemical-technological system – a propylene glycol production unit – as an automation and control object. The studies carried out at the propylene glycol production unit show that when considering the system under study as deterministic, important features of the considered chemical-technological system are overlooked. In similar systems, there are a number of technological processes in which, in the process of controlling them, the main factors that determine the state of these systems are not clearly specified.

Keywords: automation object, chemical-technological system, commercial propylene glycol, technological process.

Исследование установки получения пропиленгликоля как объекта автоматизации

Одним из главных моментов современной теории и практики разработки и создания автоматизированной системы управления, является изучение и представление управляемых технологических процессов. Особую важность и ценность данное обстоятельство приобретает при исследовании состояния различных сложных технологических систем [1–6].

Современные непрерывные химико-технологические системы являются весьма сложными как объекты автоматизации. Сложность аналогичных объектов предопределяется разнообразием и множественностью связей между переменными состояниями установки, наличием большого числа контролируемых и неконтролируемых параметров, напряженностью технологических режимов, непрерывностью технологических операций, а также особенностями функционирования данных объектов.

Состояние рассматриваемых сложных химико-технологических систем определяется минимальным количеством информации, требуемым для описания поведения системы в любой момент времени. В связи с этим, можно сформулировать единый и окончательный принцип изучения и представления производством получения пропиленгликоля как объекта исследования и автоматизации.

Известно, что одним из эффективных принципов представления состояния изучаемых сложных технологических систем является метод пространства состояний. В связи с этим, указанный здесь метод применен для изучения и представления процесса получения пропиленгликоля. Как известно,



сложные химико-технологические системы, в том числе и технологический процесс получения товарного пропиленгликоля, включающий в себя сложные агрегаты с различными технологическими связями и работающие в многообразных режимах, являются сложными системами (рис. 1).

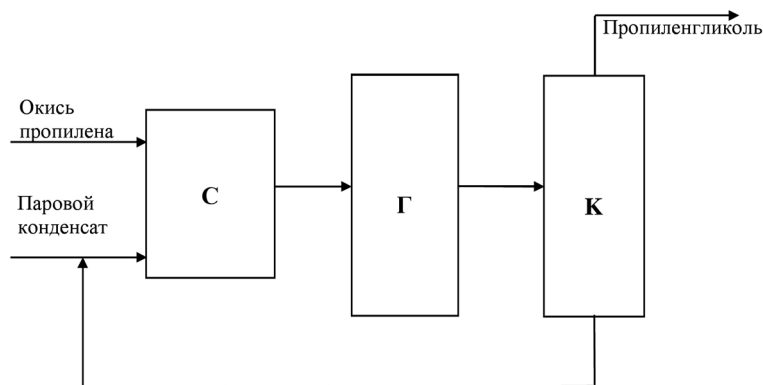


Рисунок 1 – Упрощенная схема технологической установки производства товарного пропиленгликоля: С – смеситель, Г – гидратор, К – ректификационная колонна

Проведенные исследования на установке получения пропиленгликоля показывают, что в зависимости от объема априорной информации, она может быть рассмотрена как детерминированная и неполностью определенная система.

Если система будет рассмотрена как детерминированная, тогда, зная ее состояние в некоторый момент времени t_0 и значения ее входных переменных в интервале $[t_0, t_k]$, то можно точно определить ее элементы в момент времени t_k .

Новое состояние рассматриваемых систем $x(t_k)$, зависящее от величины t , $x(t_0)$ и вектора управления u на этом же интервале, можно представить в следующей форме:

$$x(t_k) = f(t_k, t_0, x(t_0), u), \tag{1}$$

где $x(t_k)$ – состояние (количество и плотность пропиленгликоля), u – вектор управления (температура, давление и соотношение H_2O к оксипропилену в реакторе и т. д.) в реакторе, f – переходная функция.

Если значения аргументов последнего выражения принадлежат соответственно множествам T, X, U , тогда, используя обозначения теории множеств, последнее выражение можно записать в нижеследующем виде:

$$f: T \times X \times U \rightarrow X. \tag{2}$$

Как видно из последнего выражения, оно характеризуется двумя множествами – областью определения и областью значений функций.

В детерминированных химико-технологических системах принимается допущение, что вся необходимая информация о состоянии рассматриваемой системы – точная, так как не возникает серьезных трудностей при определении ее нового состояния. Такое упрощение при исследовании и моделировании сложных технологических систем позволяет обойти серьезные трудности на этапе моделирования и решения задачи оптимального управления этими системами.

Итак, в дальнейшем, под детерминированным состоянием рассматриваемой установки, будем подразумевать состояние, в котором в любой момент времени k можно однозначно определить ее новое состояние. Это условие имеет вид:

$$x(k + 1) = f(x(k), u(k)), \tag{3}$$

где $f: X \times U \rightarrow X : (x, u) \rightarrow d(x, u), x \in X, u \in U. \tag{4}$

Как известно, в промышленных условиях все технологические системы, в том числе и производство получения товарного пропиленгликоля функционируют при наличии широкого спектра случайных возмущающих факторов. Кроме того, для таких сложных технологических систем характерен ряд и других особенностей. К ним, например, относятся: изменение технологических параметров исследуемых систем в широких пределах, ошибки измерений режимных параметров, неконтролируемые изменения параметров и характеристик состояния технологического процесса и т.д.

Следует отметить, что в химической и нефтехимической промышленности имеется ряд технологических процессов, в которых в процессе управления ими основные факторы, определяющие состояние этих систем, задаются нечеткими понятиями. Например, к их числу относятся нечеткие опре-



деления критериев управления, отсутствие достаточного объема априорной информации для моделирования интересующих нас состояний технологического процесса, трудоемкость их оценки и нечеткое задание области изменения управляющих и входных множеств. В связи с этим, при моделировании сложных технологических систем из-за сложности и невозможности учета неформализуемых или трудноформализуемых факторов и необходимости принятия решения для управления технологическими процессами в химико-технологической системе в условиях неполной информации о состоянии объектов, результаты решения задачи оптимизации нередко получаются неадекватными текущим состояниям рассматриваемых технологических систем.

Одно из направлений преодоления аналогичных указанных трудностей в проблеме повышения эффективности процессов химической и нефтехимической технологий состоит в исследовании качественной информации для целей моделирования, оптимизации и синтеза систем управления сложными технологическими процессами. Поэтому, нередко текущее состояние технологического процесса, которое легко выражается через перечисленные выше трудноизмеряемые параметры, оценивается частично через количественные показатели, и с помощью качественной информации, сбор которой осуществляется при непосредственном наблюдении за поведением рассматриваемого технологического процесса, при опросе специалистов, а также из литературных научных источников, в которых отражен существующий накопленный опыт по управлению соответствующим технологическим процессом.

В настоящее время, перспективный способ формализации качественной информации представляет собой подход нечетких множеств, предложенный ученым Лютфи Заде, который основывается на обобщении понятия характеристической функции обычного множества.

В соответствии с данной теорией, если X – множество состояний, то его нечеткое подмножество есть функция следующего вида (характеристическая функция):

$$\mu: X \rightarrow [0,1]. \quad (5)$$

Эта форма записи означает, что элементы множества в разной степени принадлежат нечеткому множеству.

Следует отметить, что существующие традиционные методы анализа систем и их моделирование недостаточно пригодны для анализа большинства сложных технологических систем именно потому, что они не в состоянии формализовать математически нечеткость человеческого мышления. Преимущество применения понятия нечеткого множества для представления состояний и разработки алгоритмов управления сложными химико-технологическими системами на их базе заключается в его простоте, общности, наглядности, возможности использования качественной информации при переходе от смысловой к математической постановке задач, и формализации более “гибких” связей между технологическими параметрами, что в большей степени соответствует природе изучаемых явлений и описанию взаимосвязей на формальном естественном языке. Кроме того, рассматриваемый подход позволяет сформировать стратегии управления различными технологическими процессами формализацией действий, значений и наблюдений оператора-технолога при нечеткой исходной информации и в нечетко определенных ситуациях. И важно отметить, что нечеткая система не сложнее детерминированной, но первый подход к представлению, в конечном итоге, дает намного больше.

Таким образом, с целью всестороннего исследования и анализа производства получения товарного пропиленгликоля при разработке полной математической модели рассматриваемого технологического процесса, для получения наиболее адекватного и эффективного результата, целесообразно использование как детерминированного, так и нечеткого подходов.

Список литературы:

1. Модели и алгоритмы многоуровневой системы управления установками первичной переработки нефти / И.П. Эфендиев [и др.] // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – М., 2012. – № 1. – С. 83–91.
2. Nonstationary multistage process control in the petrochemical industry / I.A. Guseinov [et al.] // Journal of Computer and Systems Sciences International, Pleiades Publishing, Ltd. – Vol. 53. – No. 4. – P. 556–564.
3. Меликов Э.А. Задача оптимального управления технологическими процессами первичной переработки нефти // Материалы Международной научно-практической конференции «НЕФТЕГАЗО-ПЕРЕРАБОТКА – 2011». – С. 261–262.
4. Melikov E.A., Xanbutaeva N.A. Algorithm optimization static regimes installation of primary oil refining // National Science Review / Chinese Academy of Sciences, Oxford University Press. – 2017. – Issue 4(2). – Vol. 4. – P. 1459–1466.
5. Melikov E.A., Maharramova T.M. Energy saving system in vacuum unit // Ekoenergetics. – 2022. – № 3. – P. 8–12.
6. Safarova A.A., Melikov E.A., Magerramova T.M. Control of a tube furnace in conditions of risk and increased explosion hazard // Reliability: Theory & Applications. – № 4(70). – Vol. 17. – P. 516–521. DOI: <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2022-470-516-521>

**List of references:**

1. Models and algorithms of multilevel control system of primary oil refining units / I.R. Efendiev [et al.] // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and Control Systems. – M., 2012. – № 1. – P. 83–91.
2. Nonstationary multistage process control in the petrochemical industry / I.A. Guseinov [et al.] // Journal of Computer and Systems Sciences International, Pleiades Publishing, Ltd. – Vol. 53. – No. 4. – P. 556–564.
3. Melikov E.A. The problem of optimal control of technological processes of primary oil refining // Proceedings of the International Scientific-Practical Conference «Oil and Gas-Processing – 2011». – P. 261–262.
4. Melikov E.A., Xanbutaeva N.A. Algorithm optimization static regimes installation of primary oil refining // National Science Review / Chinese Academy of Sciences, Oxford University Press. – 2017. – Issue 4(2). – Vol. 4. – P. 1459–1466.
5. Melikov E.A., Maharramova T.M. Energy saving system in vacuum unit // Ekoenergetics. – 2022. – № 3. – P. 8–12.
6. Safarova A.A., Melikov E.A., Magerramova T.M. Control of a tube furnace in conditions of risk and increased explosion hazard // Reliability: Theory & Applications. – № 4(70). – Vol. 17. – P. 516–521. DOI: <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2022-470-516-521>



УДК 66.061.1

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ИСТЕЧЕНИЯ КАПЕЛЬ

RESEARCH PLANT FOR DROP OUTFLOW PROCESSES STUDYING

Муллабаев Камиль Азаматович

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
kamil200995@gmail.com

Чуракова Светлана Константиновна

доктор технических наук, профессор,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
chskugntu@rambler.ru

Аннотация. Сконструирован стенд для изучения процессов истечения капель легкой фазы в среде более тяжелой фазы. Отражены основные возможности данного стенда. Полученные на стенде экспериментальные данные могут быть использованы для создания адекватной CFD-модели процесса истечения капель дисперсной фазы.

Ключевые слова: CFD-модель, исследовательский стенд, истечение, период образования капли, эксперимент.

Mullabaev Kamil Azamatovich

Post-graduate of Department
of Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
kamil200995@gmail.com

Churakova Svetlana Konstantinovna

Doctor of technical Sciences, Professor,
Ufa State Petroleum Technological University
chskugntu@rambler.ru

Annotation. A stand for studying the processes of the outflow of drops of a light phase in a heavier phase has been constructed. The main features of this stand are shown. The experimental data obtained at the plant can be used to develop an adequate CFD model of dispersed phase droplets outflow process.

Keywords: CFD-model, drop formation time, experiment, outflow, research plant.

В последние годы, в связи с увеличением вычислительных мощностей и расширением возможностей современных CFD-систем, в нефтегазовом машиностроении все большую актуальность получают так называемые методы вычислительной гидродинамики. Они позволяют исследовать поведение потоков в аппаратах, а также находить пути для совершенствования конструктивного оформления различных внутренних устройств. Имеющиеся на текущий момент средства CFD-анализа позволяют проводить расчет как установившегося режима, так и нестационарного (динамический расчет) [1, 2]. При изучении многофазных потоков современные вычислительные модули, например, ANSYS FLUENT и ANSYS CFX, позволяют решать задачи различного уровня:

- макроуровень, когда исследуется распределение потоков сплошной и дисперсной фазы в целом по аппарату с учетом влияния различных сил на частицы дисперсной фазы; при этом свободная поверхность не моделируется и форма отдельных капель не принимается во внимание [3];
- микроуровень, когда исследуется форма и размер капель дисперсной фазы, при этом моделируется свободная поверхность.

Для получения результатов расчетов, которые бы соответствовали действительности, нужно построить адекватную CFD-модель. Для этого нужно располагать набором экспериментальных данных, полученных в ходе опытного исследования конкретного гидродинамического процесса. Адекватность расчетной модели достигается путем подбора настроечных параметров, при которых наблюдается сходимость экспериментальных данных и результатов расчета [4].

В целях разработки CFD-модели истечения дисперсной фазы в системе «жидкость-жидкость» был сконструирован экспериментальный стенд, схема которого изображена на рисунке 1.

Установка состоит из стеклянной царги круглого сечения (внутренний диаметр 105 мм, высота 600 мм), заполненной сплошной фазой. В сплошную фазу погружена латунная труба, через которую подается более легкая дисперсная фаза. При необходимости изучения гидродинамики потоков в насадке имеется возможность установки насадочных блоков внутрь царги. Кроме представленных на рисунке 1 элементов экспериментальная установка включает в себя набор латунных вставок (внутренние диаметры 1,5 мм, 3,0 мм, 4,0 мм), секундомер, камеру для видеофиксации капель и струй, а также термометр для определения температуры окружающего воздуха.

В качестве сплошной и дисперсной фаз могут быть использованы вода, различные нефтепродукты, глицерин и др. Возможность исследования процесса истечения на различных средах позволяет разработать CFD-модель, которая будет адекватно описывать процесс в широком диапазоне физико-химических свойств сплошной и дисперсной фаз.

Расход подаваемой дисперсной фазы Q_i в каждом i -ом опыте регулируется краном 8 и определяется исходя из времени $\tau_{ист,i}$, за которое вытек определенное количество жидкости V_i :

$$Q_i = \frac{V_i}{\tau_{ист,i}}$$

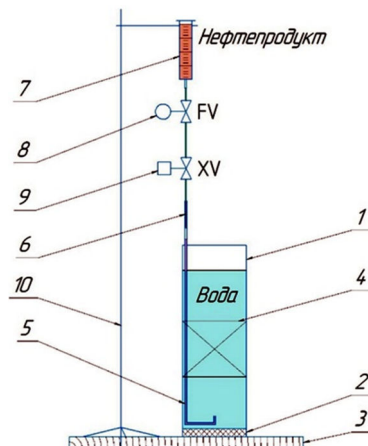


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда: 1 – стеклянная царга; 2 – заглушка; 3 – опора; 4 – блок регулярной насадки (необязателен); 5 – латунная трубка; 6 – силиконовый шланг; 7 – мерная емкость объемом 20 мл; 8 – кран для регулирования расхода; 9 – отсечной кран; 10 – штатив

Во избежание сильного снижения подачи дисперсной фазы, связанного с уменьшением уровня в емкости 7, последняя была приподнята над латунной трубкой на 60–70 см. Согласно расчетам, снижение расхода дисперсной фазы составляет при этом не более 4 %.

Стенд позволяет определять время формирования капель $\tau_{f,i}$, а также средние размеры образующихся капель дисперсной фазы $d_{d,i}$ путем их счета за определенный промежуток времени после выхода на установившийся режим:

$$\tau_{f,i} = \frac{\tau_{di}}{N_{d,i}},$$

$$d_{d,i} = \sqrt[3]{\frac{6Q_i\tau_{f,i}}{\pi}},$$

где τ_{di} – время отслеживания числа капель после наступления установившегося режима, с; $N_{d,i}$ – число образовавшихся капель за время отслеживания.

Таким образом, сконструированный экспериментальный стенд позволяет исследовать зависимость времени образования капель и их размера от расхода подаваемой дисперсной фазы. Кроме этого, стенд предоставляет возможность исследования характера истечения дисперсной фазы из отверстий различного диаметра, а также исследования структуры отдельных струй в слое насадки (при ее наличии). На основании полученных экспериментальных данных по истечению дисперсной фазы возможно построение адекватной CFD-модели, позволяющей осуществить анализ и оптимизацию конструктивных решений по внутренним устройствам.

Список литературы:

1. Батурин О.В., Батурин Н.В., Матвеев В.Н. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса Fluent. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. – 151 с.
2. About Ansys [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.ansys.com/about-ansys>
3. CFX Theory Guide. [Электронный ресурс]. – URL : https://www.academia.edu/6123972/ANSYS_CFX_Solver_Theory_Guide_ANSYS_CFX_Release_11_0
4. Лубина А.С., Седов А.А. Верификация CFD-моделей ANSYS FLUENT для однофазных течений в каналах простой формы // Обеспечение безопасности АЭС с «ВВЭР» ОКБ «ГИДРОПРЕСС» (Материалы 10-ой международной научно-технической конференции). – Подольск, 2017. – 10 с.

List of references:

1. Baturin O.V., Baturin N.V., Matveev V.N. Calculation of fluid and gas flows using the Fluent universal software package. – Samara : Publishing house of Samara State Aerospace University, 2009. – 151 p.
2. About Ansys [Electronic resource]. – URL : <http://www.ansys.com/about-ansys>
3. CFX Theory Guide. [Electronic resource]. – URL : https://www.academia.edu/6123972/ANSYS_CFX_Solver_Theory_Guide_ANSYS_CFX_Release_11_0
4. Lubina A.S., Sedov A.A. Verification of CFD-models of ANSYS FLUENT for single-phase flows in channels of simple shape // Safety of NPPs with «VVER» of OKB «GIDROPRESS» (Materials of the 10th International Scientific and Technical Conference). – Podolsk, 2017. – 10 p.



УДК 66.011

ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ В КОЛОННЫХ АППАРАТАХ

REVIEW OF METHODS FOR EVALUATION THE FLOW DISTRIBUTION UNIFORMITY IN THE COLUMN DEVICES

Муллабаев Камиль Азаматович

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
kamil200995@gmail.com

Чуракова Светлана Константиновна

доктор технических наук, профессор,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
chskugntu@rambler.ru

Валеев Анвар Ринатович

аспирант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
spestersnape@gmail.com

Аннотация. В статье обобщены основные экспериментальные и расчетные методы оценки равномерности распределения потоков в аппаратах колонного типа; отражены достоинства и недостатки каждого из методов.

Ключевые слова: CFD-анализ, обзор, равномерность распределения.

Mullabaev Kamil Azamatovich

Post-graduate of Department
of Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
kamil200995@gmail.com

Churakova Svetlana Konstantinovna

Doctor of technical Sciences, Professor,
Ufa State Petroleum Technological University
chskugntu@rambler.ru

Valeev Anvar Rinatovich

Post-graduate of Department
of Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
spestersnape@gmail.com

Annotation. The main experimental and computational methods for assessing the flow distribution uniformity in columns are summarized; the advantages and disadvantages of each of the methods are reflect.

Keywords: CFD-analysis, distribution uniformity, review.

Обеспечение равномерности распределения потоков в экстракторах колонного типа является одним из основных факторов, предопределяющих эффективность дальнейшего контакта фаз друг с другом. Равномерное распределение потоков по всему сечению аппарата способствует увеличению эффективной площади контакта взаимодействующих фаз, а также выравниванию среднего времени пребывания локальных струй. Особенно сильное влияние эффективности изначального распределения наблюдается в противоточных насадочных экстракторах с достаточно большой высотой насадочных слоев, где зачастую могут возникать пристеночные эффекты. Ниже приводятся основные экспериментальные и расчетные методы оценки равномерности распределения потоков.

1. Метод, основанный на получении функции отклика. До недавнего времени основным методом анализа эффективности распределения потоков в аппаратах колонного типа являлся метод, основанный на построении так называемой функции отклика, который позволял рассчитать функцию распределения времени пребывания отдельных струй в аппарате. Суть данных методов заключается в том, что в ядро потока вводят специальное вещество (трассер), содержание которого фиксируют на выходе из аппарата различными методами [1, 2].

Достоинство таких методов состоит в том, что вводимый трассер почти не оказывает влияния на гидродинамическую обстановку в аппарате. Главным недостатком данных методов является необходимость проведения серий опытов с компонентами модельной системы. Кроме того, поскольку такой подход предполагает ввод трассера, то возникает потребность в его своевременном удалении из модельных компонентов.

2. Методы, основанные на непосредственном измерении расхода жидкости в различных областях сечения аппарата. Существуют экспериментальные методы оценки неравномерности распределения жидкой фазы, основанные на измерении расходов жидкости при помощи жидкостного коллектора, состоящего из множества отсеков [3]. На рисунке 1 представлен сборник, снабженный измерительными ячейками.

Измерительная ячейка представляет собой емкость малого объема, в которой имеется V-образная щель и датчик для измерения уровня жидкости. Определенному уровню жидкости соответствует определенный расход жидкости. Расход истекаемой из измерительной емкости жидкости при установившемся

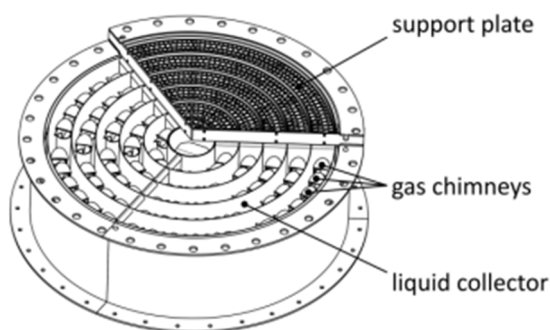


Рисунок 1 – Сборник, снабженный измерительными ячейками

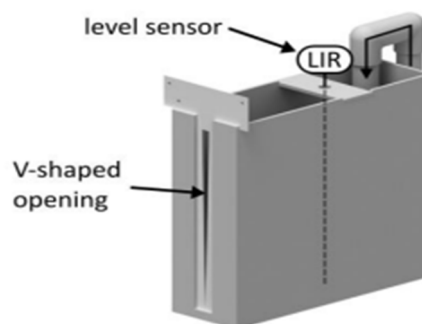


Рисунок 2 – Схема измерительной ячейки

режиме равен расход жидкости, поступающей в ячейку. На рисунке 2 представлена схема измерительной ячейки. Измеряя объемный расход жидкости через отдельную ячейку, находится так называемый фактор неравномерности распределения (maldistribution factor), который различными исследователями определялся различными способами [4, 5]:

$$M_f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i - Q_0}{Q_0} \right)^2, \tag{1}$$

$$M_f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Q_i - Q_0}{Q_0} \right| \cdot \frac{A_i}{A_N}, \tag{2}$$

где Q_i – объемный расход жидкости через i -ю ячейку сборника; Q_0 – средний объемный расход жидкости; n – общее число ячеек; A_i – поперечное сечение i -ой ячейки; A_N – поперечное сечение аппарата.

Также в работе [6] описан метод экспериментального измерения содержания жидкости, основанный на электропроводности среды, находящейся в ячейке, образованной проволоочной сеткой, на которую подается напряжение. На текущий момент данный метод оценки эффективности распределения не нашел широкого распространения.

Достоинства методов – возможность непосредственного измерения расхода жидкости в различных точках аппарата. Недостаток данных методов связан с необходимостью установки жидкостного коллектора, который может оказывать влияние на распределение потоков.

3. Расчетные методы оценки. С развитием технологий компьютерного моделирования, нарастанием вычислительных мощностей и развитием вычислительной гидродинамики все большее значение приобретают методы CFD-анализа, которые применяются при изучении движения жидкостей и газов в колоннах аппаратах, дополняя существовавшие ранее эмпирические методы. Несмотря на это, на текущий момент данные по расчетным методам оценки распределения потоков практически отсутствуют. В практических задачах при анализе эффективности распределения фаз в аппарате нередко обходятся лишь иллюстрациями с полями распределения скоростей, получаемыми по окончанию CFD-расчета. Среди способов численной оценки неравномерности распределения можно выделить метод, основанный на расчете коэффициента неравномерности распределения M_f [7, 8]:

$$M_f = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{U_i - U_0}{U_0} \right)^2}, \tag{3}$$

$$M_f = \sqrt{\frac{1}{S} \int_S \left(\frac{U - U_0}{U_0} \right)^2 dS}, \tag{4}$$

где U_i или U – скорость потока в i -ой ячейке расчетной области в рассматриваемом сечении S , м/с; U_0 – фиктивная скорость потока в расчете на сечение аппарата, м/с; n – общее число ячеек.

Идеальному распределению соответствует значение $M_f = 0$, а хаотичному $M_f = +\infty$. Столь широкий диапазон значений функции M_f можно отнести к недостаткам, поскольку это не очень удобно в плане описания результатов. Кроме того, величина M_f не имеет физического смысла, а является лишь статистической функцией. Тем не менее, расчетные методы оценки не требуют проведения эксперимента, что является важным достоинством данных методов.

Таким образом, в настоящее время перспективными становятся исследования, связанные с созданием методик оценки эффективности распределения фаз в колонных аппаратах средствами CFD-анализа, позволяющих рационально оценить эффективность работы распределительных устройств.

**Список литературы:**

1. Некоторые аспекты исследования насадочных экстракционных колонн с целью изучения их гидродинамических и массообменных характеристик / К.А. Муллабаев [и др.] // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 5. – С. 180–182.
2. Самойлов Н.А. Моделирование в химической технологии и расчет реакторов. – Уфа : изд-во УГНТУ, 2005. – 224 с.
3. Hanusch F., Rehfeldt S., Klein H. Liquid Maldistribution in Random Packed Columns: Experimental Investigation of Influencing Factors // *Chemical Engineering & Technology*. – 2018. – V. 41. – № 11. – 18 p.
4. Schultes M. Influence of Liquid Redistributors on the Mass-Transfer Efficiency of Packed Columns // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2000. – V. 39. – № 5. – P. 1381–1389.
5. Performance comparison of a structured bed reactor with and without a chimney tray on the gas-flow maldistribution: A computational fluid dynamics study / H. Troudi [et al.] // *Journal of Process Mechanical Engineering*. – 2020. – 15 p.
6. Llamas J.-D., Lesage F., Wild G. Influence of gas flow rate on liquid distribution in trickle-beds using perforated plates as liquid distributors // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2008. – V. 48. – № 1. – P. 7–11.
7. CFD-анализ – современный подход к исследованию процесса разделения и распределения потоков в устройствах ввода сырья массообменных аппаратов / Т.И. Маннанов [и др.] // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 5. – С. 159–165.
8. Higler A., Krishna R., Taylor R. Nonequilibrium Cell Model for Packed Distillation Columns – The Influence of Maldistribution // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 1999. – V. 38. – № 10. – P. 3988–3999.

List of references:

1. Some aspects of the study of packed extraction columns in order to study their hydrodynamic and mass transfer characteristics / K.A. Mullabaev [et al.] // *Bulatov readings*. – 2020. – V. 5. – P. 180–182.
2. Samoilov N.A. Modeling in Chemical Technology and Calculation of Reactors. – Ufa : publishing house of UGNTU, 2005. – 224 p.
3. Hanusch F., Rehfeldt S., Klein H. Liquid Maldistribution in Random Packed Columns: Experimental Investigation of Influencing Factors // *Chemical Engineering & Technology*. – 2018. – V. 41. – № 11. – 18 p.
4. Schultes M. Influence of Liquid Redistributors on the Mass-Transfer Efficiency of Packed Columns // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2000. – V. 39. – № 5. – P. 1381–1389.
5. Performance comparison of a structured bed reactor with and without a chimney tray on the gas-flow maldistribution: A computational fluid dynamics study / H. Troudi [et al.] // *Journal of Process Mechanical Engineering*. – 2020. – 15 p.
6. Llamas J.-D., Lesage F., Wild G. Influence of gas flow rate on liquid distribution in trickle-beds using perforated plates as liquid distributors // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2008. – V. 48. – № 1. – P. 7–11.
7. CFD-analysis – a modern approach to the study of separation and distribution of flows in the input devices of raw materials of mass exchange apparatuses / T.I. Mannanov [et al.]. – 2020. – V. 5. – P. 159–165.
8. Higler A., Krishna R., Taylor R. Nonequilibrium Cell Model for Packed Distillation Columns – The Influence of Maldistribution // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 1999. – V. 38. – № 10. – P. 3988–3999.



УДК 66.048.62

СРАВНЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ЭКСТРАКТИВНЫХ АГЕНТОВ ПРИ РАЗДЕЛЕНИИ СМЕСИ МЕТАНОЛ-ТЕТРАГИДРОФУРАН-АЦЕТОНИТРИЛ

COMPARISON OF THE SELECTIVE ACTION OF EXTRACTIVE AGENTS AT THE SEPARATION OF METHANOL-TETRAHYDROFURAN-ACETONITRILE MIXTURE

Новрузова Альбина Назимовна

студент кафедры химии и технологии основного органического синтеза,
РТУ МИРЭА – Российский Технологический Университет,
Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова
albina.novruzova2018@yandex.ru

Раева Валентина Михайловна

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры химии и технологии основного органического синтеза,
РТУ МИРЭА – Российский Технологический Университет,
Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова
raevalentina1@gmail.com

Аннотация. По результатам моделирования равновесий жидкость – пар многокомпонентных систем при 101.32 кПа проведена оценка селективного действия экстрактивных агентов для разделения смеси растворителей химико-фармацевтических производств; определены статические параметры колонн экстрактивной ректификации с тестируемыми агентами, обеспечивающими различные результаты разделения.

Ключевые слова: азеотропная система, относительная летучесть, селективный агент, экстрактивная ректификация.

Novruzova Albina Nazimovna

Student of the Department Chemistry and Technology of Based Organic Synthesis, RTU MIREA – Russian Technological University, Institute of Fine Chemical Technologies named after M.V. Lomonosov
albina.novruzova2018@yandex.ru

Raeva Valentina Mikhailovna

Candidate of chemical sciences, associate professor, Associate professor of the Department Chemistry and Technology of Based Organic Synthesis, RTU MIREA – Russian Technological University, Institute of Fine Chemical Technologies named after M.V. Lomonosov
raevalentina1@gmail.com

Annotation. Simulation of vapor-liquid equilibria of multicomponent systems is carried out; the selective action of extractive agents for the separation of a solvents mixture in pharmaceutical industries was evaluated; static parameters of the extractive distillation column with tested agents providing different separation results were determined.

Keywords: azeotropic system, relative volatility, selective agent, extractive distillation.

Экстрактивная ректификация (ЭР) является одним из эффективных методов разделения азеотропных смесей в технологиях органических веществ [1–4]. Задачи разделения многокомпонентных смесей растворителей, относящихся к различным классам органических веществ, актуальны, в том числе, для химико-фармацевтических производств [5–7].

Выбор экстрактивных агентов (ЭА) для разделения бинарных смесей может проводиться с использованием разных методов. При формировании множества тестируемых в качестве ЭА веществ, как правило, учитываются эмпирические рекомендации и стандартные требования. Среди последних принципиальными являются требования физико-химического характера: ЭА должен избирательно увеличивать относительные летучести разделяемых компонентов, не должен образовывать с ними азеотропы, должен иметь наибольшие температуры кипения и энтальпии парообразования и др. [1, 3, 8].

Задача выбора селективных веществ для разделения трехкомпонентных систем, содержащих несколько азеотропов, является более сложной задачей: необходимо оценивать влияние вводимых ЭА на относительные летучести веществ, входящих в состав нескольких азеотропов; сложно подобрать ЭА, оказывающий качественно одинаковое селективное действие в отношении компонентов всех азеотропных пар [9–11].

При наличии в системе двух бинарных азеотропов целесообразно подбирать агент, добавление которого к разделяемой смеси избирательно (селективно) повышает относительную летучесть компонента, входящего в состав обоих азеотропов [12–15]. В отличие от бинарных систем, температура кипения компонента, выделяемого в дистиллате колонны ЭР, не является значимым фактором. Обычно энергозатраты на разделение (нагрузка кипятильника колонны ЭР) бинарной смеси выше при выделении из смеси компонента с большей температурой кипения. Например, при ЭР смеси ацетон – метанол с хлорбензолом в качестве ЭА, в дистиллате концентрируется метанол (337.85 К), температура кипения которого выше, чем у ацетона (329.15 К). При использовании высоко кипящих органических растворителей (ДМСО, этиленгликоль, вода или моноэтаноламин) в колонне ЭР возможно выделение в дистиллате ацетона с меньшими энергозатратами [16, 17].



Целью настоящего исследования является подбор селективных агентов для ЭР смеси метанол (М) – тетрагидрофуран (ТГФ) – ацетонитрил (АЦН), компоненты которой входят в состав смесей растворителей химико-фармацевтических производств.

Метод исследования – вычислительный эксперимент на платформе программно-ориентированного комплекса Aspen Plus® V.10.0.

Для тестирования выбраны высоко кипящие органические растворители, соответствующие комплексу стандартных физико-химических требований [1, 3, 8]. Они имеют наибольшие молярные энтальпии парообразования H_v при нормальных температурах кипения T_b (табл. 1), не образуют азеотропы с М, ТГФ и АЦН, химически инертны в условиях ректификационного разделения.

Таблица 1 – Свойства веществ

Вещество	Обозначение	Мм, г/моль	T_b , К	H_v , кДж/моль
Метанол	М	32.04	337.85	35.26
Тetraгидрофуран	ТГФ	72.11	339.12	29.85
Ацетонитрил	АЦН	41.05	354.81	31.07
Валеронитрил	ВН	83.13	414.71	37.90
N-Метил-2-пирролидон	N-МП	78.13	464.00	44.55
N,N-Диметилсульфоксид	ДМСО	99.13	477.42	44.65

Для расчетов фазовых равновесий использовали модель NRTL (Non-Random Two-Liquid), которая рекомендуется для расчета фазовых равновесий в многокомпонентных системах [18]. Коэффициенты активности компонентов γ_i (1) в модели рассчитываются через параметры бинарного взаимодействия (2):

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_j^N x_j \tau_{ji} G_{ji}}{\sum_k^N x_k G_{ki}} + \sum_j^N \frac{x_j G_{ij}}{\sum_k^N x_k G_{ki}} \left(\tau_{ij} - \frac{\sum_k^N x_k \tau_{kj} G_{kj}}{\sum_k^N x_k G_{kj}} \right), \quad (1)$$

где x – состав жидкой фазы, мол. д.; N – число компонентов в системе; i, j, k – индексы компонентов.

$$G_{ij} = \exp(-c \tau_{ij}), \quad G_{ji} = \exp(-c \tau_{ji}), \quad \tau_{ij} = b_{ij}/T, \quad \tau_{ji} = b_{ji}/T. \quad (2)$$

Для учета неидеального поведения паровой фазы применяли уравнение состояния Редлиха–Квонга [18, 19].

Параметры модели NRTL (табл. 2) обеспечивают хорошее описание массивов экспериментальных данных фазового равновесия жидкость – пар бинарных систем при 101.32 кПа: не более 3 отн. % для равновесных составов паровой фазы y (мол. д.) и температуры T (К). Дополнительно проведено сравнение экспериментальных и расчетных параметров бинарных азеотропов при атмосферном давлении (табл. 3).

На рисунке 1 приведена диаграмма хода дистилляционных линий и положение сепаратрис трехкомпонентной системы М – АЦН – ТГФ при разных значениях давления. Все бинарные азеотропы гомогенные, $\min T$ (изобарические условия фазового равновесия).

Таблица 2 – Параметры модели NRTL [19]

Система i–j	b_{ij}	b_{ji}	Система i–j	b_{ij}	b_{ji}
М – ТГФ	63.1051	224.151	М – ВН*	223.967	131.846
М – АЦН	195.033	132.433	ТГФ – ВН*	121.69	-96.5497
ТГФ – АЦН	58.7341	145.02	АЦН – ВН*	257.645	-103.661
М – ДМСО	30.5966	-331.156	М – N-МП*	-430.461	597.397
ТГФ – ДМСО	347.549	74.9371	ТГФ – N-МП*	232.705	-69.8253
АЦН – ДМСО*	-233.61	276.751	АЦН – N-МП*	-355.116	463.529

Примечания: параметр $c = 0.3$ для всех наборов; * расчет по уравнению UNIFAC.

Таблица 3 – Азеотропные данные при давлении 101.32 кПа

Бинарный азеотроп	Состав x , мол.д.		Ошибки		Температура T , К		Ошибки	
	эксп.	расч.	мол.д.	%	эксп.	расч.	К	%
М – ТГФ	0.487	0.490	0.003	0.616	332.50	332.84	0.34	0.102
М – АЦН	0.817	0.805	0.012	1.469	336.58	336.74	0.16	0.047
ТГФ – АЦН	0.916	0.909	0.007	0.764	338.69	338.88	0.19	0.056

Примечание: x – содержание компонента, указанного в названии первым.

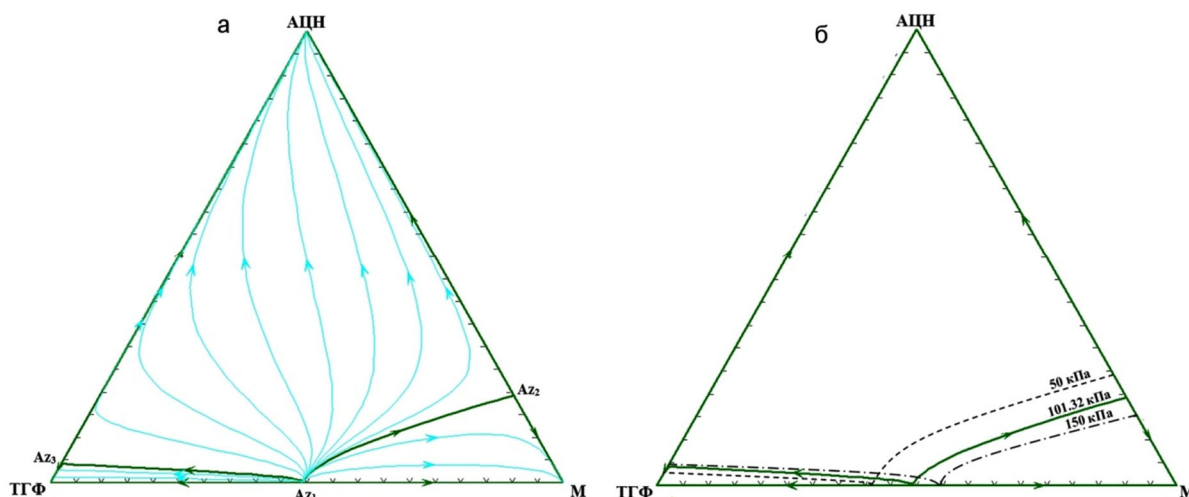


Рисунок 1 – Система М – АЦН – ТГФ при 101.32 кПа:

а – ход дистилляционных линий; б – влияние давления на положение азеотропов (Az) и сепаратрис

Поскольку при варьировании давления в трехкомпонентной системе не уменьшается количество азеотропов, а изменение положения сепаратрис в концентрационном треугольнике не является существенным (рис. 1б), то использование схем с варьированием давления для разделения трехкомпонентных смесей М – АЦН – ТГФ нецелесообразно. В таких случаях эффективным методом разделения может быть ЭР [1].

Для оценки и сравнения селективного действия ЭА в случае бинарных смесей применяются различные подходы [3, 8, 17]. Выбор агентов для разделения трехкомпонентных систем, содержащих несколько азеотропов, является более трудоемкой процедурой, т.к. требуется анализировать ряды относительной летучести разделяемых веществ в присутствии разных количеств ЭА [1, 9, 11].

В системе М – ТГФ – АЦН все вещества образуют бинарные азеотропы (рис. 1а). Влияние ЭА на относительные летучести компонентов может быть различно, поэтому выбор ЭА для исходной трехкомпонентной смеси определяет не только результат разделения в первой колонне ЭР, но и структуру полной схемы разделения (выделение всех растворителей заданного качества).

По расчетным данным равновесия жидкость – пар четырехкомпонентных смесей М – ТГФ – АЦН – ЭА определены значения относительной летучести $\alpha_{ij}^{\text{ЭА}}$ (3) компонентов азеотропной пары $i - j$ в присутствии разных количеств агентов $F_{\text{ЭА}}$.

$$\alpha_{ij}^{\text{ЭА}} = \frac{y_i \cdot x_j}{y_j \cdot x_i} \tag{3}$$

Расчеты проводили для 100 кмоль/ч смеси М – ТГФ – АЦН эквимольярного состава при 101.32 кПа. Зависимости $\alpha_{ij}^{\text{ЭА}}$ от количества вводимых агентов приведены на рисунке 2.

В присутствии ДМСО увеличивается летучесть ТГФ относительно М и воды (рис. 2а), т.е. при ЭР можно ожидать концентрирование ТГФ в дистиллате колонны ЭР. Введение N-МП не обеспечивает селективное увеличение относительной летучести одного из веществ (рис. 2б), следовательно, результатом ЭР будет отделение смеси М – ТГФ. При ЭР с валеронитрилом прогнозируется выделение в колонны метанола (рис. 2в).

Для подтверждения результатов прогноза селективного действия ЭА необходимо провести расчеты колонны ЭР. При выборе расхода ЭА были учтены инверсии относительной летучести веществ: $\alpha_{\text{ТГФ/М}} = \alpha_{\text{М/АЦН}}$ при 37.5 кмоль/ч ДМСО (рис. 2а) и $\alpha_{\text{М/ТГФ}} = \alpha_{\text{ТГФ/АЦН}}$ при 36 кмоль/ч ВН (рис. 2в). После реализации инверсии относительных летучестей возможно выделение целевого компонента (ТГФ в случае ДМСО, М в случае ВН) при любом расходе ЭА.

Расчеты ЭР проводили при 101.32 кПа для $F = 100$ кмоль/ч эквимольярной смеси М – ТГФ – АЦН (0.333; 0.333; 0.334 мол. д.) при одинаковом количестве агента $F_{\text{ЭА}} = 200$ кмоль/ч агентов.

Результаты представлены в таблице 4. Обозначение потоков колонны ЭР: F – смесь, подаваемая на разделение, D – дистиллат, W – куб. Уровни ввода жидких потоков: $N_F, N_{\text{ЭА}}$. В расчетах колонны ЭР фиксированной эффективности 31 теоретическая тарелка (т.т.) оценивали влияние на результаты разделения следующих параметров: уровни ввода разделяемой смеси (N_F) и разделяющего агента ($N_{\text{ЭА}}$), флегмовое число (R). При определении статических параметров колонн использовали стандартные методики расчета.

При фиксированном расходе агентов $F_{\text{ЭА}} : F = 2 : 1$ в колонне ЭР (31 т.т.) достигается прогнозируемый результат разделения со всеми ЭА. При введении ДМСО выделен практически чистый ТГФ;

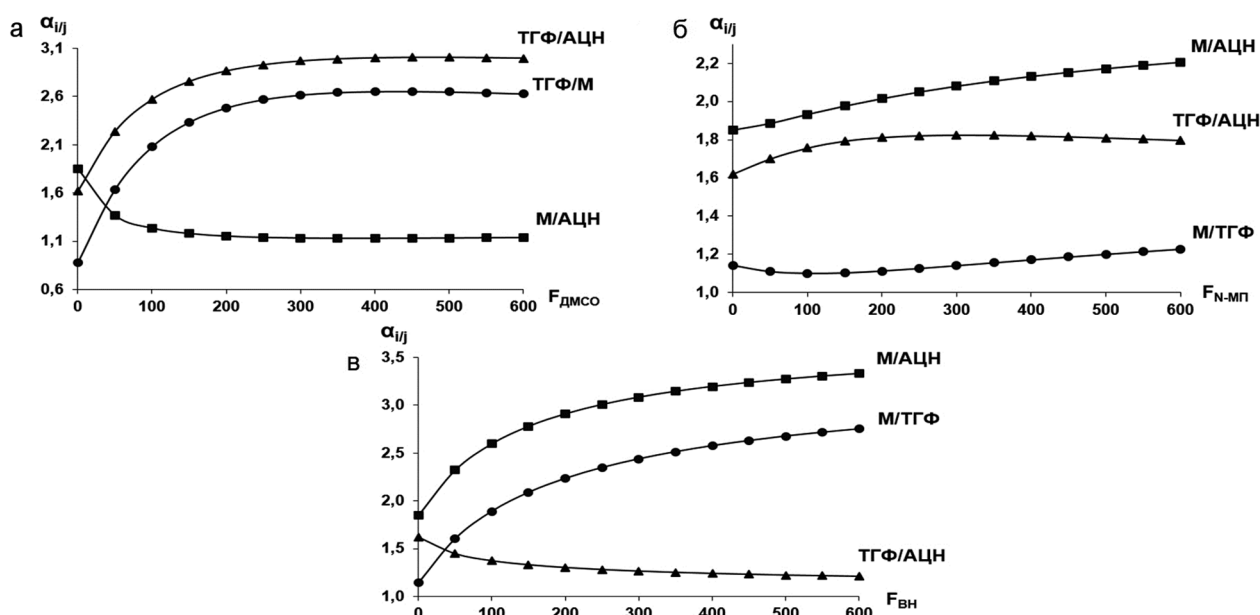


Рисунок 2 – Зависимость относительной летучести компонентов от количества вводимого экстрактивного агента при 101.32 кПа в смесях: М – ТГФ – АЦН – ЭА: а – ДМСО; б – N-МП; в – ВН

при введении ВН дистиллат содержит примесями АЦН и агента, в случае N-МП в дистиллате колонны ЭР концентрируется смесь М и ТГФ с незначительными примесями АЦН. Энергозатраты на ректификационное разделение (Q) выше при использовании N-МП.

Таблица 4 – Сравнение результатов расчета колонны экстрактивной ректификации смеси М – ТГФ – АЦН при 101.32 кПа при количестве вводимых агентов 200 кмоль/ч

Экстрактивный агент		ДМСО	N-МП	ВН
N; N _{ЭА} /N _Ф		31; 4/19	31; 3/24	31; 5/23
R		0.85	2.5	2.6
Поток дистиллата: T, K		339.1	333.0	337.5
Количество D, кмоль/ч		33.3	66.6	33.3
T, K		339.1	333.0	337.5
Состав, мол.д.	X _М	0.0001	0.4979	0.9910
	X _{ТГФ}	0.9998	0.4951	0.0076
	X _{АЦН}	0	0.0070	0
	X _{ЭА}	0.0001	0	0.0014
Кубовый поток: T, K		392.9	420.7	378.9
Количество	W, кмоль/ч	266.7	233.4	266.7
	X _М	0.1236	0.0006	0.0011
	X _{ТГФ}	0.0038	0.0057	0.1264
	X _{АЦН}	0.1236	0.1390	0.1236
	X _{ЭА}	0.7490	0.8547	0.7489
Энергозатраты Q, МВт		1.23	3.26	1.57

Примечание: температура ввода ЭА – 313 К.

Дальнейшие расчеты позволили определить статические параметры колонн ЭР и расходы агентов, обеспечивающие выделение органических продуктов товарного качества: тетрагидрофурана (ТУ 2631-125-44493179-08 «Тetraгидрофуран стабилизированный» 0,005 масс. % гидрохинона), метанола (ГОСТ 6995-77 «Метанол – яд. Технические условия»), содержание основного вещества не менее 99.0 масс. %). Итоговые результаты получены с использованием модуля Sensitivity Analysis (Aspen Plus@ V.10.0) при дополнительной оптимизации температуры и количества вводимых экстрактивных агентов (табл. 5).

По результатам расчетного эксперимента предложены альтернативные экстрактивные агенты для разделения смеси метанол – тетрагидрофуран – ацетонитрил, проявляющие различное избирательное влияние на относительные летучести разделяемых веществ. Выбор итогового варианта разделения будет сделан после расчетов ректификационного разделения и сравнения суммарных энергозатрат схем экстрактивной ректификации разной структуры.



Таблица 5 – Итоговые результаты расчета колонны экстрактивной ректификации смеси М – ТГФ – АЦН при 101.32 кПа

Экстрактивный агент		ДМСО	ВН
Расход ЭА, кмоль/ч		150	250
N; N _{ЭА} /N _F		32; 5/17	31; 8/24
R		1.91	1.62
Поток дистиллата Т, К		338.9	337.6
Количество D, кмоль/ч		33.3	33.3
Состав, мол.д.	X _M	0.0043	0.9957**
	X _{ТГФ}	0.9954*	0.0042
	X _{АЦН}	0.0003	0
	X _{ЭА}	0	0.0001
Кубовый поток Т, К		386.8	383.9
Количество W, кмоль/ч		216.7	316.7
Состав, мол. д.	X _M	0.1530	0.0004
	X _{ТГФ}	0.0007	0.1047
	X _{АЦН}	0.1541	0.1055
	X _{ЭА}	0.6922	0.7894
Q, МВт		1.36	1.95

Примечания: температура ввода ЭА – 303 К; * 99.8 масс. % ТГФ; ** 99.0 масс. % М.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 19-19-00620-п).

Список литературы:

1. Фролкива А.К. Разделение азеотропных смесей. Физико-химические основы и технологические приемы. – М. : ВЛАДОС, 2010. – 187 с.
2. Frolkova A.K., Raeva V.M. Bioethanol dehydration: state of the art // Theor. Found. Chem. Eng. – 2010. – Vol. 44. – № 4. – P. 545–556.
3. Review of extractive distillation. Process design, operation, optimization and control / V. Gerbaud [et al.] // Chem. Eng. Res. Design. – 2019. – Vol. 141. – P. 229–271.
4. Extractive distillation: Advances in conceptual design, solvent selection, and separation strategies / S. Sun [et al.] // Chin. J. of Chem. Eng. – 2019. – Vol. 27. – P. 1247–1256.
5. Papadakis E., Tula A.K., Gani R. Solvent selection methodology for pharmaceutical processes: Solvent swap // Chem. Eng. Res. Des. – 2016. – Vol. 115. – Part B. – P. 443–461. DOI: 10.1016/j.cherd.2016.09.004
6. Performance evaluation of different extractive distillation processes for separating ethanol/tert-butanol/water mixture / X. Shi [et al.] // Process Saf. Environ. Prot. – 2020. – Vol. 137. – P. 246–260.
7. Solvent recovery from a multicomponent mixture by batch extractive distillation and hybrid process / P. Lang [et al.] // 8-th International Conference on Distillation and Absorption-2010 (12–15 September 2010, Eindhoven, The Netherlands): book of full papers. – DEHEMA publisher, 2010. – P. 295–300.
8. Lei Zh., Li Ch., Chen B. Extractive distillation: a review // Sep. & Purif. Review. – 2003. – Vol. 32(2). – P. 121–213.
9. Benyounes H., Frolkova A.K. Aspects of multicomponent mixture separation in the presence of selective solvents // Chem. Eng. Commun. – 2010. – Vol. 197(7). – P. 901–918.
10. Raeva V.M., Sazonova A.Yu. Separation of ternary mixtures by extractive distillation with 1,2-ethandiol and glycerol // Chem. Eng. Res. Design. – 2015. – Vol. 99. – P. 125–131.
11. Раева В.М., Сухов Д.И. Выбор экстрактивных агентов для разделения смеси хлороформ – метанол – тетрагидрофуран // Тонкие хим. технологии. – 2018. – Т. 13. – № 3. – С. 30–40.
12. Optimization and eco-efficiency analysis of extractive distillation processes with different solvents for separating the ternary mixture embedding two azeotropes / Ch. Wang [et al.] // Sep. Purif. Techn. – 2021. – Vol. 269. DOI: 10.1016/j.seppur.2021.118763
13. Energy-saving reduced-pressure extractive distillation with heat integration for separating the bi-azeotropic ternary mixture tetrahydrofuran–methanol–water / J. Gu [et al.] // Ind. Eng. Chem. Res. – 2020. – Vol. 57(40). – P. 13498–13510.
14. Раева В.М., Дубровский А.М. Сравнение схем экстрактивной ректификации смесей метанол – тетрагидрофуран – вода // Тонкие хим. технологии. – 2020. – Т. 15. – № 3. – P. 21–30.
15. Design optimization and operating pressure effects in the separation of acetone/trile/methanol/water mixture by ternary extractive distillation / Y. Wang [et al.] // J. Cleaner Production. – 2019. – Vol. 218. – P. 212–224.



16. Luyben W.L. Effect of solvent on controllability in extractive distillation // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2008. – Vol. 47(13). – P. 4425–4439.
17. Раева В.М., Капранова А.С. Сравнение эффективности экстрактивных агентов при разделении смеси ацетон – метанол // *Хим. промышленность сегодня.* – 2015. – № 3. – С. 34–46.
18. Уэйлес С. Фазовые равновесия в химической технологии: В 2-х ч. Ч. 1. – М. : Мир, 1989. – 304 с.
19. Lindstrom P.J. NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database No. 69 (<http://webbook.nist.gov/chemistry>).

List of references:

1. Frolkova A.K. Separation of azeotropic mixtures. Physico-chemical bases and technological methods. – М. : VLADOS PUBLISHER, 2010. – 187 p.
2. Frolkova A.K., Raeva V.M. Bioethanol dehydration: state of the art // *Theor. Found. Chem. Eng.* – 2010. – Vol. 44. – № 4. – P. 545–556.
3. Review of extractive distillation. Process design, operation, optimization and control / V. Gerbaud [et al.] // *Chem. Eng. Res. Design.* – 2019. – Vol. 141. – P. 229–271.
4. Extractive distillation: Advances in conceptual design, solvent selection, and separation strategies / S. Sun [et al.] // *Chin. J. of Chem. Eng.* – 2019. – Vol. 27. – P. 1247–1256.
5. Papadakis E., Tula A.K., Gani R. Solvent selection methodology for pharmaceutical processes: Solvent swap // *Chem. Eng. Res. Des.* – 2016. – Vol. 115. – Part B. – P. 443–461. DOI: 10.1016/j.cherd.2016.09.004
6. Performance evaluation of different extractive distillation processes for separating ethanol/tert-butanol/water mixture / X. Shi [et al.] // *Process Saf. Environ. Prot.* – 2020. – Vol. 137. – P. 246–260.
7. Solvent recovery from a multicomponent mixture by batch extractive distillation and hybrid process / P. Lang [et al.] // 8-th International Conference on Distillation and Absorption-2010 (12–15 September 2010, Eindhoven, The Netherlands): book of full papers. – DECHEMA publisher, 2010. – P. 295–300.
8. Lei Zh., Li Ch., Chen B. Extractive distillation: a review // *Sep. & Purif. Review.* – 2003. – Vol. 32(2). – P. 121–213.
9. Benyounes H., Frolkova A.K. Aspects of multicomponent mixture separation in the presence of selective solvents // *Chem. Eng. Commun.* – 2010. – Vol. 197(7). – P. 901–918.
10. Raeva V.M., Sazonova A.Yu. Separation of ternary mixtures by extractive distillation with 1,2-ethandiol and glycerol // *Chem. Eng. Res. Design.* – 2015. – Vol. 99. – P. 125–131.
11. Raeva V.M., Sukhov D.I. Selection of extractive agents for the separation of the mixture chloroform – methanol – tetrahydrofuran // *Fine Chemical Technologies.* – 2018. – V. 13. – № 3. – P. 30–40.
12. Optimization and eco-efficiency analysis of extractive distillation processes with different solvents for separating the ternary mixture embedding two azeotropes / Ch. Wang [et al.] // *Sep. Purif. Techn.* – 2021. – Vol. 269. DOI: 10.1016/j.seppur.2021.118763
13. Energy-saving reduced-pressure extractive distillation with heat integration for separating the bi-azeotropic ternary mixture tetrahydrofuran–methanol–water / J. Gu [et al.] // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2020. – Vol. 57(40). – P. 13498–13510.
14. Raeva V.M., Dubrovsky A.M. Comparison of schemes of extractive rectification of methanol-tetrahydrofuran-water mixtures // *Fine Chemical Technology.* – 2020. – V. 15. – № 3. – P. 21–30.
15. Design optimization and operating pressure effects in the separation of acetonitrile/methanol/water mixture by ternary extractive distillation / Y. Wang [et al.] // *J. Cleaner Production.* – 2019. – Vol. 218. – P. 212–224.
16. Luyben W.L. Effect of solvent on controllability in extractive distillation // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2008. – Vol. 47(13). – P. 4425–4439.
17. Raeva V.M., Kapranova A.S. Comparison of the efficiency of extractive agents in the separation of acetone-methanol mixture // *Chem. industry today.* – 2015. – № 3. – P. 34–46.
18. Wayles S. Phase equilibria in chemical technology: In 2 parts. P. 1. – М., 1989. – 304 p.
19. Lindstrom P.J. NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database No. 69 (<http://webbook.nist.gov/chemistry>).



УДК 665

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЯ, УТИЛИЗАЦИИ И ХРАНЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

A REVIEW OF TECHNOLOGIES FOR CARBON DIOXIDE CAPTURE, UTILIZATION AND STORAGE

Салахов Ильзат Илшатович

студент кафедры «Химической технологии переработки нефти и газа»,
Казанский национальный исследовательский технологический университет
ilzat.salakhov@gmail.com

Амансарыев Абдыкерим Байрамгельдыевич

студент кафедры «Химической технологии переработки нефти и газа»,
Казанский национальный исследовательский технологический университет
abdykerim.00@mail.ru

Горячев Андрей Алексеевич

студент кафедры «Химической технологии переработки нефти и газа»,
Казанский национальный исследовательский технологический университет
goryachev.andrey90@mail.ru

Черкасова Елена Игоревна

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Химической технологии переработки нефти и газа»,
Казанский национальный исследовательский технологический университет
cherkasova.kstu@yandex.ru

Аннотация. Достижение углеродной нейтральности к середине века будет зависеть от успешного и широкого внедрения технологий сокращения выбросов диоксида углерода. В данной статье рассмотрены эффективные технологии улавливания, утилизации и хранения углекислого газа.

Ключевые слова: глобальное потепление, диоксид углерода, улавливание, хранение, использование.

Salakhov Ilzat Ilshatovich

Student of department of chemical technology of petroleum and gas processing,
Kazan national research technological university
ilzat.salakhov@gmail.com

Amansaryyev

Abdykerim Bairamgeldyyevich
Student of department of chemical technology of petroleum and gas processing,
Kazan national research technological university
abdykerim.00@mail.ru

Goryachev Andrey Alekseevich

Student of department of chemical technology of petroleum and gas processing,
Kazan national research technological university
goryachev.andrey90@mail.ru

Cherkasova Elena Igorevna

Ph. D., Associate Professor of chemical technology of petroleum and gas processing,
Kazan national research technological university
cherkasova.kstu@yandex.ru

Annotation. Achieving carbon neutrality by mid-century will rely on successful implementation and widespread adoption of technologies for reducing emissions of carbon dioxide. This article discusses effective technologies for capturing, storing and utilizing carbon dioxide.

Keywords: global warming, carbon dioxide, capture, storage, utilization.

Введение

Парниковые газы – это газы в атмосфере Земли с сильным поглощением в инфракрасном диапазоне электромагнитного излучения. Особый интерес представляет диоксид углерода (CO₂), выбросы которого тесно связаны с антропогенным использованием ископаемого топлива в качестве источника энергии. Концентрация углекислого газа в атмосфере неуклонно увеличивалась с 280 ppm в 1750 году до 420 ppm в 2022 году со среднегодовым увеличением на 2,4 ppm в последнее десятилетие. Это повышение сопровождалось повышением глобальной температуры [1–2].

Согласно отчетам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), ограничение повышения глобальной температуры до 1,5 °C требует резкого сокращения выбросов парниковых газов. Некоторые сценарии будущего предполагают, что ограничение повышения температуры до 1,5 °C к концу века с превышением менее чем на 0,1 °C требует сокращения глобальных ежегодных выбросов с 50 Гт CO₂-экв. (гига тонн CO₂-эквивалента) до 25–30 Гт CO₂-экв. Это будет способствовать достижению к 2050 году нулевых выбросов диоксида углерода [3–4].

На сегодняшний день более 130 стран взяли на себя обязательства по достижению углеродной нейтральности, что подтверждается недавними программными заявлениями правительств. Среди этих



стран более 90 % установили цель достижения углеродной нейтральности к 2050 году, в том числе США, Европейский Союз, Великобритания и Япония. Китай, Россия и Казахстан поставили цель достичь углеродной нейтральности до 2060 года [5]. Помимо постановки четких целей, шесть стран приняли свои углеродно-нейтральные цели в законодательном порядке, а 24 страны установили свои климатические цели в качестве официальной политики. На эти страны или регионы, принявшие или рассматривающие возможность достижения углеродно-нейтральных целей, приходится более 70 % глобальных выбросов [6].

Технологии улавливания, утилизации и хранения углерода (Carbon capture, utilization, and storage – CCUS) является ключевым элементом усилий по быстрому сокращению выбросов парниковых газов и достижению углеродной нейтральности. CCUS – это вариант сокращения выбросов углекислого газа для существующих электростанций и промышленных предприятий, которые в противном случае могли бы выбрасывать примерно 600 Гт CO₂ в течение следующих 50 лет [7]. К таким отраслям, трудно поддающимся сокращению, обычно относятся сталелитейная, цементная и нефтегазохимическая промышленности. Технологии CCUS также считаются одним из наиболее рентабельных способов производства водорода с нулевыми выбросами углерода [8]. Достижение углеродной нейтральности к середине XXI века будет практически невозможно без технологий улавливания диоксида углерода.

Исходя из этого в данной работе рассмотрены эффективные технологии улавливания, использования и хранения диоксида углерода.

Методы улавливания

Улавливание, использование и хранение CO₂ – важные технологии сокращения выбросов, которые можно применять во всей энергетической системе.

Технологии CCUS включают:

- улавливание углекислого газа при сжигании топлива или в промышленных технологических процессах;
- транспортировку уловленного диоксида углерода;
- использование CO₂ в качестве ресурса для создания ценных продуктов или услуг;
- постоянное хранение глубоко под землей в геологических формациях.

Концентрация углекислого газа в различных сырьевых потоках составляет: ~0,04 % (об.) в атмосферном воздухе, 3–4 % в дымовых газах газотурбинных электростанций, ~10–15 % в дымовых газах пылеугольных установок и ~15–30 % в дымовых газах металлургических, цементных и нефтеперерабатывающих заводах. Существует широкий спектр технологий улавливания CO₂ на разных уровнях зрелости. Зрелость различных технологий оценивается с использованием шкалы уровня готовности технологии (technology readiness level – TRL), которая представляет собой девятибалльную шкалу, впервые разработанную NASA в 1980-х годах. Шкала TRL варьируется от 1 (утверждение и публикация базовых принципов технологии) до 9 (демонстрация технологии в окончательном виде) [9–10].

В работе рассмотрены технологии улавливания, которые были продемонстрированы в масштабе пилотной установки или выше и переведены на уровень TRL 6+, такие как абсорбция аминами растворителями, адсорбция твердыми веществами и кальциево-карбонатный цикл (ККЦ).

Аминовая очистка

Этот процесс основан на химической реакции между CO₂ и абсорбентом, приводящей к слабой химической связи, что приводит к извлечению углекислого газа из потока сырья. Растворитель регенерируется в отпарной колонне за счет тепла, выделяемого ребойлером. Наиболее часто используемыми поглотителями для улавливания углерода являются водные растворы аминов [11].

На рисунке 1 показана принципиальная технологическая схема улавливания диоксида углерода аминами абсорбентами. Дымовой газ вступает в контакт с жидким поглотителем в абсорбере, где CO₂ поглощается растворителем. Растворитель с высоким содержанием углекислого газа регенерируется в отпарной колонне, где добавляется тепло для отделения CO₂ из раствора. Классическим абсорбентом для улавливания диоксида углерода является водный раствор моноэтаноламина (МЭА) с концентрацией 20–30 % масс. Основным преимуществом МЭА является максимальная поглотительная способность по отношению к углекислому газу. Улавливание аминами растворителями находится на уровне TRL 9 и находится на этом уровне с 2014 года [12].

Однако существует ряд недостатков, которые значительно увеличивают стоимость данной технологии: высокая коррозионная активность; значительный расход тепла на регенерацию сорбента, возрастающий с увеличением концентрации диоксида углерода в очищенной газе; потери относительно летучего абсорбента; образование значительных количеств смолистых веществ из-за циклизации моноэтаноламина в производные оксазолидона-2 и далее в продукты их превращения.

Исходя из этого в настоящее время ведутся исследования по разработке новых растворителей, которые сосредоточены на: (1) улучшении кинетики реакции CO₂ с абсорбентами; (2) снижение энтропии реакции, (3) улучшение термической стабильности и устойчивости к окислительному разложению, (4) снижение стоимости производства растворителя и (5) снижение коррозии, токсичности и



опасности поглощающей среды. Усовершенствования в вышеупомянутых пунктах приведет к снижению капитальных и эксплуатационных затрат на систему улавливания диоксида углерода, что будет способствовать более широкому внедрению технологии [13].

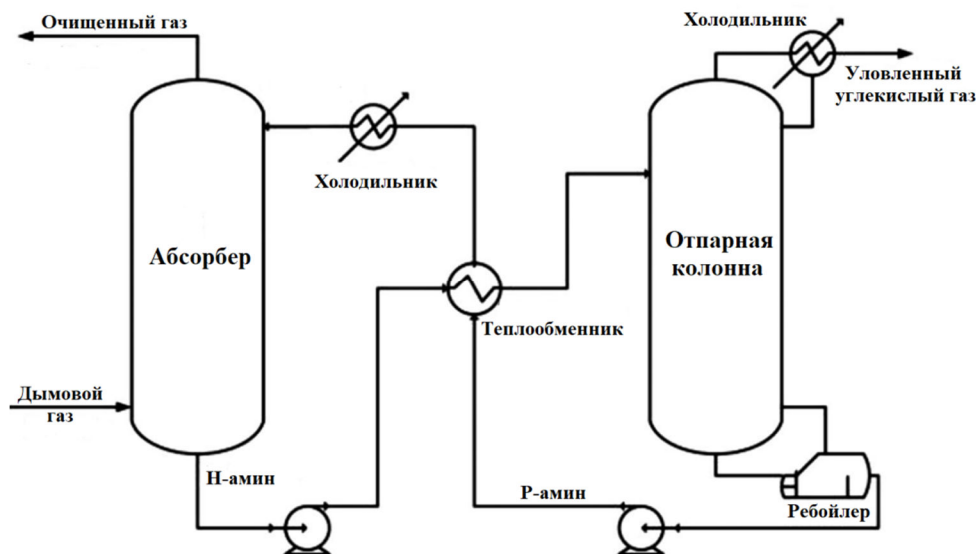


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема аминовой очистки:
Н-амин – насыщенный амин; Р-амин – регенерированный амин

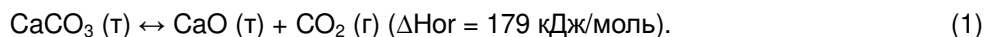
Адсорбция твердыми веществами

Адсорбция для улавливания углекислого газа была впервые рассмотрена в начале 1990-х годов. В качестве адсорбентов использовался широкий спектр материалов, включая классические адсорбенты (уголь, оксид алюминия, кремнезем, цеолиты), а также новые адсорбенты (металлоорганические соединения, гидроталькиты, полимеры и т.д.). Основными преимуществами твердотельной адсорбции по сравнению с жидкостной абсорбцией являются: более низкое потенциальное воздействие на окружающую среду по сравнению с растворами на основе аминов, которые склонны к разложению и образованию токсичных и коррозионно-активных соединений. Улавливание диоксида углерода с помощью адсорбционной технологии считается более подходящим для нефтехимической, металлургической и цементной промышленности, где газы имеют более высокое парциальное давление CO_2 и более низкие объемные скорости потока по сравнению с электростанциями. Адсорбция после сжигания на электростанциях находится на уровне TRL 7, а адсорбция диоксида углерода для очистки промышленных газов – на уровне TRL 9 [14].

Кальциево-карбонатный цикл

В последние годы процесс кальциево-карбонатного цикла (ККЦ) привлек внимание из-за его огромного потенциала для интеграции в будущие энергетические объекты, а также для модернизации существующих.

Процесс ККЦ основан на многоциклическом прокаливании карбоната кальция ($CaCO_3$) (уравнение 1), который может быть получен из известняка как второго наиболее распространенного материала на земле после воды. Что касается улавливания углекислого газа, процесс ККЦ особенно выгоден из-за его высокой эффективности и низких затрат, позволяющих избежать выброса CO_2 [15].



На рисунке 2 показана схема улавливания углекислого газа. В этом процессе дымовой газ поступает в карбонатор, где CO_2 реагирует с CaO , образуя $CaCO_3$ в экзотермической реакции с выделением 178 кДж/моль энергии. Адсорбент регенерируется в кальцинаторе с кислородным обогревом, при этом выделяется CO_2 , который можно сжимать и отправлять на хранение/утилизацию. Из-за морфологических изменений сорбента CaO после повторных циклов его пропускная способность быстро снижается, и для пополнения отработанного сорбента необходим поток свежего известняка. Основное преимущество технологии ККЦ по сравнению с жидкостной абсорбцией и другими технологиями твердотельной адсорбции заключается в том, что сорбент, известняк, является безопасным химическим веществом и доступен в промышленных количествах. Также во всем мире существуют значительные возможности для использования отработанного сорбента в промышленных процессах, таких как производство цемента и стали. Кроме того, тепло от процесса карбонизации можно использовать для выработки электроэнергии. Улавливание диоксида углерода с помощью ККЦ оценивается как TRL 6 [16–18].

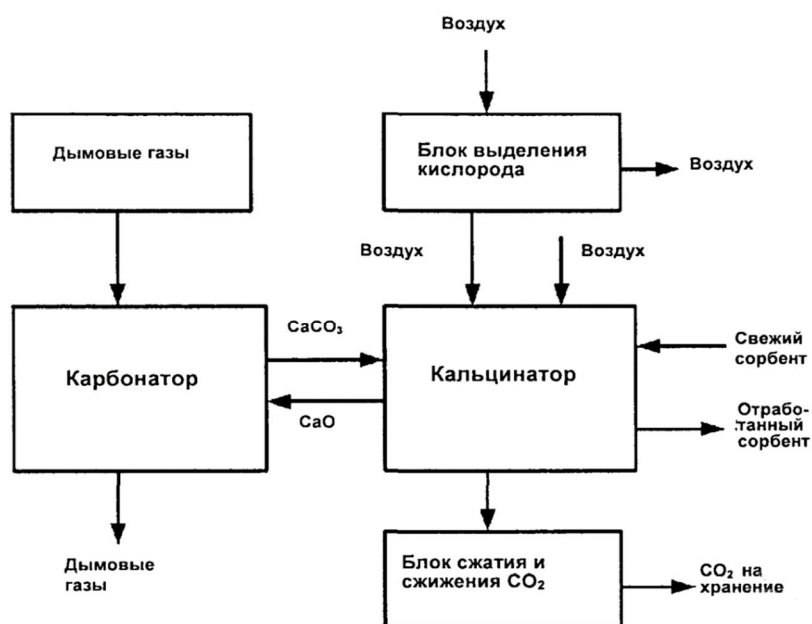


Рисунок 2 – Схема кальциево-карбонатного цикла

Хранение и использование CO₂

Технологии улавливания, рассмотренные в предыдущих разделах, должны сочетаться с процессом хранения и/или утилизации, чтобы предотвратить выбросы уловленного углекислого газа в атмосферу. Следует отметить, что термины «хранение» и «секвестрация» часто используются в литературе взаимозаменяемо. Термины различаются в зависимости от срока службы хранимого CO₂: хранение со сроком службы более 100 000 лет называется секвестрацией, а временное хранение со сроком службы менее 1000 лет называется хранением. Утилизация относится к процессам, в которых улавливаемый диоксид углерода может использоваться или перерабатываться для производства экономически ценных продуктов или услуг. Процессы утилизации могут изолировать CO₂ на разную продолжительность от нескольких дней до столетий [19].

Секвестрация в глубоких геологических пластах

Хранение в пористых геологических средах, как в целом, так и в осадочных бассейнах, считается наиболее жизнеспособным вариантом хранения CO₂. Потенциальные места хранения включают истощенные резервуары углеводородов и глубокие засоленные водоносные пласты. При секвестрации в глубоких осадочных породах уловленный углекислый газ вводят в виде сверхкритического или газообразного флюида в глубокие осадочные геологические пласты, где нагнетаемый флюид будет занимать поровые пространства. Требования к участку секвестрации, следующие: пласт с высокой пористостью для достаточного места для хранения; достаточное количество взаимосвязей, позволяющее передавать флюиды из ствола скважины в пласт; высокая проницаемость, чтобы сбалансировать скорость закачки и давление [20].

Технология закачки CO₂ в глубокие осадочные пласты является изученной. Она основана на более чем пятидесятилетнем опыте закачки углекислого газа в пласт в качестве метода увеличения нефтеотдачи, когда сверхкритический диоксид углерода закачивается в истощенные нефтяные месторождения для увеличения добычи путем создания ряда эффектов, приводящих к миграции нефти. Первым и самым продолжительным в мире специализированным геологическим проектом по секвестрации является проект Sleipner в Норвегии, в рамках которого с 1996 г. в морском соленом водоносном пласте под Северным морем было захоронено ~1 Мт CO₂ в год, а на сегодняшний день уловлено и захоронено ~22 Мт CO₂ [21].

Одной из проблем, связанной с закачкой углекислого газа в геологические пласты, является повышение давления. Проект In Salah в Алжире был приостановлен из-за неожиданных геомеханических деформаций, возникших в результате чрезмерного повышения давления. Повышение давления в пласте происходит за счет сочетания сил вязкости и явления многофазного потока, связанного с взаимодействием между закачиваемым CO₂ и флюидами. Величина повышения давления зависит в первую очередь от скорости закачки, а также от проницаемости и толщины пласта.

Стоимость закачки зависит от конкретных факторов, таких как проницаемость пласта, скорость закачки и объем закачки. Кроме того, мониторинг во время и после закачки является еще одним компонентом стоимости проекта [22].



Утилизация

Утилизация относится к процессам, в которых улавливаемый CO_2 может использоваться или перерабатываться для производства экономически ценных продуктов или услуг. Основные пути использования, уловленного углекислого газа определяются экологичностью метода, экономической рентабельностью и объемами потребляемого диоксида углерода. Метод хранения CO_2 в литосфере путем геологической секвестрации является наиболее надежной формой утилизации, но существует множество других подходов. Они классифицируются как: циклический, закрытый и открытый варианты. При циклическом варианте углерод перемещается через промышленные системы в течение нескольких дней, недель или месяцев, например, в химических веществах на основе CO_2 . Эти пути не обеспечивают чистое удаление углекислого газа из атмосферы, но могут сократить выбросы. Закрытый вариант включает утилизацию и почти постоянное хранение диоксида углерода, такие как метод увеличения нефтеотдачи закачкой в пласт CO_2 . Открытые пути утилизации диоксида углерода связаны с биологическими системами, которые имеют высокий потенциал удаления, но также несут риск повторных выбросов обратно в атмосферу [23].

Химическое производство

Химическое производство представляет собой основной и наиболее перспективный путь утилизации CO_2 . В настоящее время самым крупным направлением химической переработки углекислого газа является производство карбамида в объеме 140 млн т CO_2 в год. Однако захваченный диоксид углерода возвращается в атмосферу в течение суток после применения мочевины в качестве удобрения. Кроме того, удобрения на основе азота, такие как мочевина, при производстве выделяют N_2O , который оказывает очень сильный парниковый эффект.

Еще одна важная категория химических веществ, которые могут быть произведены с использованием уловленного CO_2 , представляют собой полимеры, потенциальная мощность использования которых оценивается в 10–50 Мт CO_2 в год. Полимеры, используемые для производства пластмасс для товаров длительного пользования, строительных материалов, предметов домашнего обихода и автомобилей имеют срок службы, который может исчисляться десятилетиями и даже веками. В целом, в 2050 году прогнозируется, что производство химических веществ будет иметь потенциал утилизации 0,3–0,6 Гт CO_2 в год, но с потенциалом удаления только 0,01–0,03 Гт CO_2 в год [24].

Топливо

Топливо является еще одной потенциальной категорией использования уловленного углекислого газа, такие как метанол, метан, диметиловый эфир и топливо, произведенное методом Фишера-Тропша. Существует два преимущества, связанных с топливом, полученным из диоксида углерода: первое – его можно также использовать в существующей транспортной инфраструктуре, как и топливо, полученное традиционными методами, и второе – их можно использовать в секторах, которые трудно обезуглеродить, таких как авиация. Данный подход имеет очень маленький экологический эффект, поскольку топливо используется в течение нескольких дней или недель, а образующийся CO_2 не улавливается [25].

Бетон и строительные материалы

Утилизация диоксида углерода в производстве строительного материала предполагает хранение диоксида углерода в бетоне и строительных материалах в виде твердых карбонатов. К 2050 году существуют реальные перспективы, в которых CO_2 используется в качестве отвердителя цемента на мировом рынке сборного железобетона и на 70 % рынка жидкого цемента. Помимо цемента и железобетона, диоксид углерода может применяться в переработке промышленных отходов, таких как сталелитейный шлак, цементная пыль, и летучая зола (муниципальные отходы, уголь и т.д.) для производства заполнителей, которые характеризуются большей экологичностью. Одной из основных причин, тормозящих утилизацию уловленного CO_2 при производстве строительных материалах, является нормативные барьеры, для преодоления которых нужно пересмотреть действующие стандарты и требования к готовым изделиям [26].

Заключение

На сегодняшний день небольшое количество существующих технологий не находят широкого применения ввиду различных факторов. Среди них можно отметить ранние стадии развития технологий, низкий или убыточный экономический эффект, невозможность масштабирования процессов, ограниченную логистику. Процессы утилизации диоксида углерода, которые часто сопровождаются его переработкой в другие полезные продукты, не решают проблему уменьшения его концентрации в атмосфере, а лишь продлевают его жизненный цикл. Процессы улавливания жидкими растворителями являются наиболее коммерциализуемы на сегодня, а процессы технологии с использованием твердых поглотителей являются относительно новыми. Однако наиболее перспективным выглядит технология ККЦ, главными преимуществами которой являются низкая стоимость сорбирующего материала, высокая доступность и низкая экологическая опасность для окружающей среды.

**Список литературы:**

1. Statistical Review of World Energy 2022. – British Petroleum, 2022. – P. 15.
2. A review of CO₂ capture by absorption and adsorption / C.H. Yu [et al.] // *Aerosol and Air Quality Research*. – 2012. – V. 12. – № 5. – P. 745–769.
3. NOAA Annual 2021 Global Climate Report. [Электронный ресурс]: NOAA. – URL : <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202113>
4. Марченко Г.Н., Алтынбаева Э.Р. Перспективы использования новых видов топлива и развития возобновляемых источников энергии // *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. – 2011. – Т. 7. – № 4. – С. 6–13.
5. Townsend A., Raji N., Zapantis A. The value of carbon capture and storage (CCS) // *Global CCS Institute: Docklands, Australia*. – 2020.
6. A critical review on deployment planning and risk analysis of carbon capture, utilization, and storage (CCUS) toward carbon neutrality / S. Chen [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2022. – V. 167. – P. 112537.
7. Print media representations of carbon capture utilization and storage (CCUS) technology in China / K. Jiang [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2022. – V. 155. – P. 111938.
8. Rosa L., Mazzotti M. Potential for hydrogen production from sustainable biomass with carbon capture and storage // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2022. – V. 157. – P. 112123.
9. Techno-Economic Assessment of Calcium Looping for Thermochemical Energy Storage with CO₂ Capture / Castilla G. Martinez [et al.] // *Energies*. – 2021. – V. 14. – № 11. – P. 3211.
10. Климчук М.Н. Императивы развития предприятий альтернативной энергетики: акцент на инновации // *Journal of Economic Regulation (Вопросы регулирования экономики)*. – 2012. – Т. 3. – № 4. – С. 142–149.
11. Приходько С.В. Повышение эффективности систем улавливания диоксида углерода из дымовых газов котельных установок. – М., 2013. – С. 7.
12. Ахметова В.Р., Смирнов О.В. Улавливание и хранение диоксида углерода-проблемы и перспективы // *Башкирский химический журнал*. – 2020. – Т. 27. – № 3. – С. 103–115.
13. Carbon capture and storage (CCS): the way forward / M. Bui [et al.] // *Energy & Environmental Science*. – 2018. – V. 11. – № 5. – P. 1062–1176.
14. Olivier J.G.J., Peters J.A.H.W., Janssens-Maenhout G. Trends in global CO₂ emissions. 2012 report. – 2012.
15. Салахов И.И., Шафеев Н.М., Черкасова Е.И. Технологии улавливания диоксида углерода // *Булатовские чтения*. – 2022. – Т. 2. – С. 132–137.
16. Overlooked pitfalls in CaO carbonation kinetics studies nearby equilibrium: Instrumental effects on calculated kinetic rate constants / J. Arcenegui-Troya [et al.] // *Alexandria Engineering Journal*. – 2022. – V. 61. – № 8. – P. 6129–6138.
17. Scaling-up the calcium-looping process for CO₂ capture and energy storage / C. Ortiz [et al.] // *KONA Powder and Particle Journal*. – 2021. – V. 38. – P. 189–208.
18. Calcium Looping technology demonstration in industrial environment: the CLEANKER project and status of the CLEANKER pilot plant / M. Fantini [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2020. – V. 197. – P. 08006.
19. Fossil fuels in a trillion tonne world / V. Scott [et al.] // *Nature Climate Change*. – 2015. – V. 5. – № 5. – P. 419–423.
20. Haszeldine R.S. Carbon capture and storage: how green can black be? // *Science*. – 2009. – V. 325. – № 5948. – P. 1647–1652.
21. GCCSI G. Global status of CCS: 2020. – 2020.
22. CO₂ sequestration monitoring and verification technologies applied at Krechba, Algeria / A. Mathieson [et al.] // *The Leading Edge*. – 2010. – V. 29. – № 2. – P. 216–222.
23. The technological and economic prospects for CO₂ utilization and removal / C. Hepburn [et al.] // *Nature*. – 2019. – V. 575. – № 7781. – P. 87–97.
24. Воробьев К.А., Щерба В.А. Диоксид углерода как химическое сырье // *География: развитие науки и образования*. – 2021. – P. 149–157.
25. Султанова А.Р. Методы получения топлива из углекислого газа // *Современные проблемы гуманитарных и естественных наук*. – 2018. – С. 8–10.
26. Applications of fly ash for CO₂ capture, utilization, and storage / A. Dindi [et al.] // *Journal of CO₂ Utilization*. – 2019. – V. 29. – P. 82–102.

List of references:

1. Statistical Review of World Energy 2022. – British Petroleum, 2022. – P. 15.
2. A review of CO₂ capture by absorption and adsorption / C.H. Yu [et al.] // *Aerosol and Air Quality Research*. – 2012. – V. 12. – № 5. – P. 745–769.



3. NOAA Annual 2021 Global Climate Report. [Электронный ресурс]: NOAA. – URL : <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202113>
4. Marchenko G.N., Altynbayeva E.R. Prospects for the use of new fuels and the development of renewable energy sources // Bulletin of Kazan State Energy University. – 2011. – V. 7. – № 4. – P. 6-13.
5. Townsend A., Raji N., Zapantis A. The value of carbon capture and storage (CCS) // Global CCS Institute: Docklands, Australia. – 2020.
6. A critical review on deployment planning and risk analysis of carbon capture, utilization, and storage (CCUS) toward carbon neutrality / S. Chen [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – V. 167. – P. 112537.
7. Print media representations of carbon capture utilization and storage (CCUS) technology in China / K. Jiang [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – V. 155. – P. 111938.
8. Rosa L., Mazzotti M. Potential for hydrogen production from sustainable biomass with carbon capture and storage // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – V. 157. – P. 112123.
9. Techno-Economic Assessment of Calcium Looping for Thermochemical Energy Storage with CO₂ Capture / Castilla G. Martinez [et al.] // Energies. – 2021. – V. 14. – № 11. – P. 3211.
10. Klimchuk M.N. Imperatives of Development of Alternative Energy Enterprises: Focus on Innovation // Journal of Economic Regulation. – 2012. – V. 3. – № 4. – P. 142–149.
11. Prikhodko S.V. Increasing the efficiency of carbon dioxide capture systems from flue gases of boiler plants. – M., 2013. – P. 7.
12. Akhmetova V.R., Smirnov O.V. Carbon dioxide capture and storage-problems and prospects // Bashkir Chemical Journal. – 2020. – V. 27. – № 3. – P. 103–115.
13. Carbon capture and storage (CCS): the way forward / M. Bui [et al.] // Energy & Environmental Science. – 2018. – V. 11. – № 5. – P. 1062–1176.
14. Olivier J.G.J., Peters J.A.H.W., Janssens-Maenhout G. Trends in global CO₂ emissions. 2012 report. – 2012.
15. Salakhov I.I., Shafeev N.M., Cherkasova E.I. Technologies of carbon dioxide capture // Bulatov readings. – 2022. – V. 2. – P. 132–137.
16. Overlooked pitfalls in CaO carbonation kinetics studies nearby equilibrium: Instrumental effects on calculated kinetic rate constants / J. Arcenegui-Troya [et al.] // Alexandria Engineering Journal. – 2022. – V. 61. – № 8. – P. 6129–6138.
17. Scaling-up the calcium-looping process for CO₂ capture and energy storage / C. Ortiz [et al.] // KONA Powder and Particle Journal. – 2021. – V. 38. – P. 189–208.
18. Calcium Looping technology demonstration in industrial environment: the CLEANKER project and status of the CLEANKER pilot plant / M. Fantini [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2020. – V. 197. – P. 08006.
19. Fossil fuels in a trillion tonne world / V. Scott [et al.] // Nature Climate Change. – 2015. – V. 5. – № 5. – P. 419–423.
20. Haszeldine R.S. Carbon capture and storage: how green can black be? // Science. – 2009. – V. 325. – № 5948. – P. 1647–1652.
21. GCCSI G. Global status of CCS: 2020. – 2020.
22. CO₂ sequestration monitoring and verification technologies applied at Krechba, Algeria / A. Mathieson [et al.] // The Leading Edge. – 2010. – V. 29. – № 2. – P. 216–222.
23. The technological and economic prospects for CO₂ utilization and removal / C. Hepburn [et al.] // Nature. – 2019. – V. 575. – № 7781. – P. 87–97.
24. Vorobyev K.A., Shcherba V.A. Carbon dioxide as a chemical raw material // Geography: development of science and education. – 2021. – P. 149–157.
25. Sultanova A.R. Methods of obtaining fuel from carbon dioxide // Contemporary problems of humanities and natural sciences. – 2018. – P. 8–10.
26. Applications of fly ash for CO₂ capture, utilization, and storage / A. Dindi [et al.] // Journal of CO₂ Utilization. – 2019. – V. 29. – P. 82–102.



УДК 66.074.2

УЛАВЛИВАНИЕ ЧАСТИЦ В РЕАКТОРЕ С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ

PARTICLE CAPTURE IN A FLUIDIZED BED REACTOR

Салахова Эльмира Ильгизьяровнастарший преподаватель,
Нижнекамский химико-технологический институт
salahova.elmira@gmail.com**Абдуллина Азалия Айратовна**студент,
Казанский государственный энергетический университет
azalkaabdullina69826@gmail.com**Зинуров Вадим Эдуардович**ассистент,
аспирант кафедры «Теоретические основы теплотехники»,
Казанский государственный энергетический университет
vadd_93@mail.ru

Аннотация. Многие современные химические предприятия на своем производстве, где необходимо огневое обезвреживание твердых, жидких, пастообразных отходов, используют реакторы с псевдооживленным слоем, в конструкцию которых входят сепараторы. Для увеличения эффективности используемой системы очистки авторами статьи предлагается установка разработанного сепарационного устройства с дугообразными элементами.

Ключевые слова: сепарация, частицы, реактор с псевдооживленным слоем, химические технологии.

Salakhova Elmira IlgizyarovnaSenior Lecturer,
Nizhnekamsk Institute
of Chemical Technology
salahova.elmira@gmail.com**Abdullina Azaliya Ayratovna**Student,
Kazan State Power Engineering University
azalkaabdullina69826@gmail.com**Zinurov Vadim Eduardovich**Assistant, post-graduate student
of the Department «Theoretical Foundations
of Heat Engineering»,
Kazan State Power Engineering University
vadd_93@mail.ru

Annotation. Many modern chemical enterprises in their production, where fire neutralization of solid, liquid, pasty waste is necessary, use fluidized bed reactors, the design of which includes separators. To increase the efficiency of the cleaning system used, the authors of the article propose the installation of a developed separation device with arc-shaped elements.

Keywords: separation, particles, fluidized bed reactor, chemical technologies.

Многие современные химические предприятия на своем производстве, где необходимо огневое обезвреживание твердых, жидких, пастообразных отходов, используют реакторы с псевдооживленным слоем [1]. В конструкцию реакторов данного типа входят сепараторы, чаще всего представляющие собой циклоны. Данные аппараты осуществляют очистку газового потока за счет центробежных и гравитационных сил: газовый поток поступает во входной патрубок, находящийся в верхней части устройства, далее он попадает во внутреннюю часть корпуса, где поток закручивает в спираль и направляется в нижнюю часть корпуса, при таком движении образуются центробежные силы, выбивающие запыленные частицы из газового потока, которые под действием силы тяжести падают вниз и осыпаются в бункер, а очищенный газовый поток направляется вверх по выходному патрубку. Стоит учесть, что циклоны обладают простой конструкцией, так как не имеют движущихся частей, надежно работают при температурах порядка 500 °С, их внутренние поверхности не подвергаются абразивному износу, однако при улавливании частиц диаметром менее 5 мкм они имеют низкую эффективность, а также высокое гидравлическое сопротивление, достигающее 1250–1500 Па.

Для увеличения эффективности используемой системы очистки авторами статьи предлагается установка разработанного сепарационного устройства с дугообразными элементами [2–3]. Данный сепаратор имеет простую конструкцию: корпус в форме трапеции, в который заключены несколько рядов дугообразных элементов, находящихся под углом (рис. 1). Принцип работы данного устройства заключается в работе центробежных сил, действующих на запыленные частицы при прохождении рядов дугообразных элементов. Необходимо отметить, что под действием этих сил частицы отпрыгивают от стенок устройства и падают вниз в пылесборный бункер, а очищенный воздух устремляется на свободу [4].

Также был проведен расчет эффективности данной конструкции от диаметра частиц при различных скоростях. Расчет проводился на базе компьютерной программы Ansys Fluent. Были рассмотрены конструкции различных высот: 250 мм, 500 мм, 750 мм и 1000 мм, в результате расчетов было установлено, что наибольшей эффективностью обладает конструкция высотой в 250 мм, так как при увеличении высоты конструкции не все частицы успевают упасть в бункер, ведь часть уносится газовым потоком из сепаратора. Также был получен график зависимости эффективности сепаратора от диаметра частиц при плотности частиц 3400 кг/м³ и различных скоростях (рис. 2).



Рисунок 1 – Трехмерная модель сепаратора (вид с разрезом)

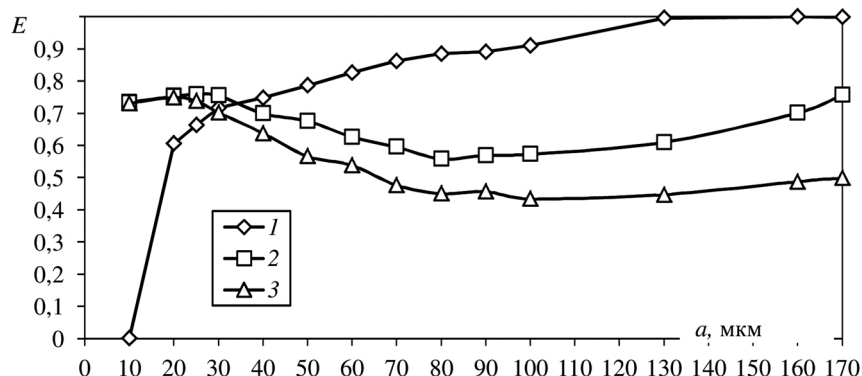


Рисунок 2 – Зависимость эффективности сепаратора с дугообразными элементами при высоте $h = 250$ и количестве рядов $N = 4$ с плотностью $\rho = 3400 \text{ кг/м}^3$ от диаметра частиц при различных скоростях W , м/с : 1–1; 2–4; 3–7

По данному графику можно сказать, что, во-первых, средняя эффективность при скорости 1 м/с составляет около 78 %, при 3 м/с – 67 %, при 7 м/с – 57 %. Во-вторых, наибольшая эффективность достигается при наименьшей скорости 1 м/с, так как при наименьших скоростях многие частицы успевают упасть и осесть в бункер, в отличие от больших скоростей, где частицы отпрыгивают от стенок и уносятся газовым потоком. В-третьих, при скоростях 4 м/с и 7 м/с при размере частиц 40-60 мкм эффективность уменьшается, данное явление обусловлено все тем же отпрыгиванием частиц от стенок и дальнейшим их унесением газовым потоком из сепаратора. В-четвертых, данная конструкция достигает максимальной эффективности при скорости в 1 м/с и при размере частиц более 130 мкм. Также с помощью программы было посчитано гидравлическое сопротивление, которое оказалось не таким большим скоростях 1 м/с и 4 м/с и равным 46 Па и 741 Па соответственно.

Исходя из анализа конструкции, принципа действия, эффективности сепаратора с дугообразными элементами, можно говорить о замене циклонов в реакторах с псевдоожиженным слоем на разработанный нами сепаратор, так как данная конструкция обладает высокой эффективностью и малым гидравлическим сопротивлением, что играет немаловажную роль для реакторов данного типа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Стипендии Президента РФ СП3577.2022.1.

Список литературы:

1. Пылеулавливающее устройство для блоков дегидрирования парафиновых углеводородов с кипящим слоем катализатора / Э.И. Салахова [и др.] // Катализ в промышленности. – 2022. – Т. 22. – № 2. – С. 57–64. – DOI 10.18412/1816-0387-2022-2-57-64.
2. Салахова Э.И., Дмитриев А.В., Зинуров В.Э. Исследование структуры газового потока в сепарационном устройстве с дугообразными элементами // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 5. – С. 60–64. – DOI 10.55421/1998-7072_2022_25_5_60.
3. Оценка энергетических затрат на улавливание мелкодисперсных частиц в сепараторе с дугообразными элементами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. – 2020. – Т. 23. – № 2. – С. 82–85.
4. Определение расчетной скорости газового потока в фильтрах грубой и тонкой очистки при различной степени загрязненности в окрасочных камерах / В.Э. Зинуров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 5. – С. 3–12. – DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-5-3-12.

**List of references:**

1. Dust collecting device for paraffin hydrocarbons dehydrogenation units with fluidized bed catalyst / E.I. Salakhova [et al.] // *Catalysis in industry*. – 2022. – V. 22. – № 2. – P. 57–64. – DOI 10.18412/1816-0387-2022-2-57-64.
2. Salakhova E.I., Dmitriev A.V., Zinurov V.E. Research of a gas flow structure in a separating device with arc-shaped elements // *Bulletin of Technological University*. – 2022. – V. 25. – № 5. – P. 60–64. – DOI : 10.55421/1998-7072_2022_25_5_60.
3. Estimation of energy expenses for catching the fine particles in the separator with duo-shaped elements / V.E. Zinurov [et al.] // *Bulletin of technological university*. – 2020. – V. 23. – № 2. – P. 82–85.
4. Determination of the calculated gas flow rate in the filters of coarse and fine purification at different pollution degree in the painting chambers / V.E. Zinurov [et al.] // *Proceedings of the higher educational institutions. Problems of power engineering*. – 2022. – V. 24. – № 5. – С. 3–12. – DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-5-3-12.



УДК 661.715.3+661.185.42

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОДУКТОВ ДИМЕРИЗАЦИИ ПЕНТЕНОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГИДРОФОБНЫХ КОМПОНЕНТОВ НЕИОНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

POTENTIAL APPLICATION OF THE PENTENES DIMERIZATION PRODUCTS FOR THE PREPARATION OF HYDROPHOBIC COMPONENTS OF NON-IONIC SURFACTANTS

Самигуллина Зульфия Сабировна

кандидат химических наук,
доцент кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
starwar82@yandex.ru

Семёнов Денис Владиславович

магистрант кафедры физической и органической химии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
denis-702198@yandex.ru

Киреева Дилара Роландовна

кандидат химических наук,
доцент кафедры физической и органической химии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
latypovad@rambler.ru

Аннотация. Данная статья посвящена теоретическому исследованию возможности использования олефинов C5 для синтеза неионогенных поверхностно-активных веществ (НПАВ), применяемых в нефтепромысловой химии в качестве деэмульгаторов нефтяных эмульсий. Предполагается, что продукты димеризации пентенов – децены нормального и изо- строения будут вовлекаться в реакции алкилирования фенола с получением децилфенолов, взаимодействие которых с формальдегидом приведет к образованию децилфенолформальдегидной смолы – гидрофобной составляющей НПАВ. Возможность осуществления реакции синтеза децилфенолов в данной работе моделируется квантово-химическими методами.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, димеризация олефинов, алкилирование, квантово-химическое исследование.

Samigullina Zulfya Sabirovna

Ph. D., Associate professor of petrochemistry
and chemical technology,
Ufa State Petroleum Technological University
starwar82@yandex.ru

Semenov Denis Vladislavovich

Graduate student of physical
and organic chemistry,
Ufa State Petroleum Technological University
denis-702198@yandex.ru

Kireeva Dilara Rolandovna

Ph. D., Associate professor
of physical and organic chemistry,
Ufa State Petroleum Technological University
latypovad@rambler.ru

Annotation. The given article is devoted to theoretical investigation of application of olefines C5 for synthesis of non-ionogenic surfactants used in oilfield chemistry as demulsifiers of oil emulsions. It is supposed that dimerization products of pentenes – decenes of normal and iso-structures will be involved in alkylation reactions of phenol with the formation of decylphenols, the interaction of which with formaldehyde can be obtained decylphenol formaldehyde resin – a hydrophobic component of non-ionic surfactants. The possibility of carrying out the above reactions in this work is modeled by quantum-chemical methods.

Keywords: surfactants, olefin dimerization, alkylation, quantum-chemical study.

Повышенное внимание к вовлечению непредельных углеводородов в реакции органического синтеза вызвано существующим богатым ресурсом фракций легких олефинов, полученных при переработке нефти. Фракции C2-C4 активно используются в производстве соответствующих полимеров и других органических продуктов, тогда как пентены различного строения на сегодняшний день гораздо менее востребованы. Одним из перспективных направлений использования этих соединений является синтез углеводородов большей молекулярной массы – димеризация – для дальнейшего применения димеров в реакциях органического синтеза [1].

Целью настоящей работы является квантово-химическое моделирование последовательности превращений пентена-1 для получения компонентов гидрофобной части НПАВ, а именно децилфенолов различного строения.

Структуру молекул моделировали квантово-химическим методом RHF/6-31G(d,p) с учетом электронной корреляции в рамках теории функционала плотности на уровне B3LYP1 в программном пакете GAMESS [2].

Одним из возможных линейных продуктов димеризации пентена-1, когда взаимодействие между молекулами протекает по принципу «голова к голове» является децен-4 (рис. 1):

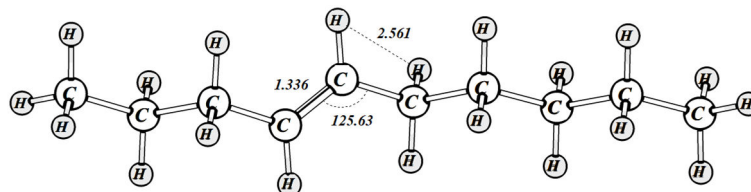


Рисунок 1 – Структура молекулы децена-4

При температуре 473 К (при данной температуре возможно проведение как олигомеризации олефинов, так и алкилирования ароматических соединений) образование димера термодинамически выгодно. Энтальпия реакции составляет порядка -75 кДж/моль.

Далее моделировали алкилирование фенола деценом-4. В результате данной реакции возможно образование двух изомерных форм, отличающихся положением гидроксиароматического радикала в углеводородной цепочке. Из-за больших размеров алкилирующего агента наиболее вероятно присоединение его в пара-положение относительно гидроксильной группы (рис. 2, 3).

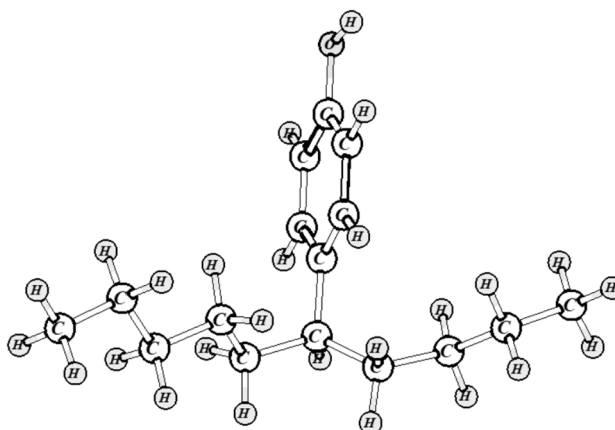


Рисунок 2 – Структура молекулы 1-гидрокси-4-децил-5-бензола

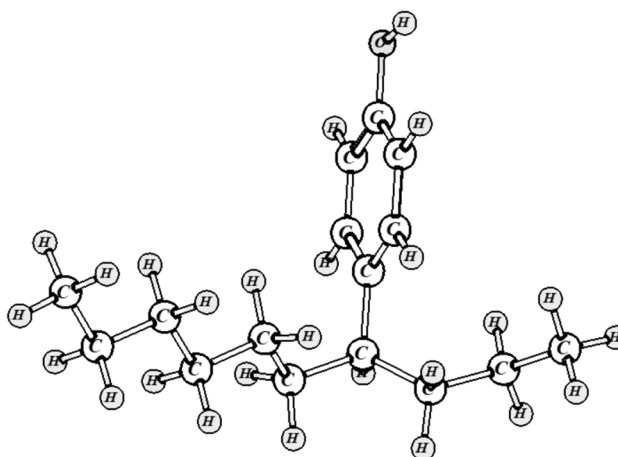


Рисунок 3 – Структура молекулы 1-гидрокси-4-децил-4-бензола

При температуре 473 К образование децилфенолов термодинамически выгодно. Рассчитанная энтальпия реакции близка по значению к энтальпии олигомеризации и составляет порядка -80 кДж/моль. Для различных изомеров децилфенолов (рис. 2, 3) эта величина практически не отличается.

Согласно полученным результатам, структурные параметры всех рассчитанных молекул соответствуют стандартным значениям, величины тепловых эффектов моделируемых реакций свидетельствуют о термодинамической выгоде синтеза децилфенолов выбранным в работе способом.

Список литературы / List of references:

1. Nicholas C.P. Applications of Light Olefin Oligomerization to the Production of Fuels and Chemicals // Applied Catalysis A: General. – 2017. – Vol. 543. – P. 82–97.
2. Dupuis M., Spangler D., Wendoloski J.J. General Atomic and Molecular Electronic Structure System // Comput. Chem. – 1993. – № 14.



УДК 620.197

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНГИБИТОРОВ ПАРАФИНООТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ НЕФТЯНЫХ СИСТЕМ

RESEARCH OF PARAFFIN DEPOSITS INHIBITORS FOR OIL SYSTEMS

Сидорская Екатерина Михайловна

магистрант кафедры ресурсосберегающих технологий,
Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический университет)
amerlakova@mail.ru

Павлов Константин Евгеньевич

аспирант кафедры ресурсосберегающих технологий,
Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический университет)
askotik@yandex.ru

Петрова Алина Эдуардовна

преподаватель кафедры ресурсосберегающих технологий,
аспирант кафедры ресурсосберегающих технологий,
Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический университет)
petr_a_96@mail.ru

Аннотация. В статье приведено исследование эффективности ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений на нефтяных системах с различным составом высокомолекулярных парафинов и асфальто-смолистых веществ, используя метод «холодного стержня».

Ключевые слова: ингибиторы, асфальтосмолопарафиновые отложения, нефть.

Sidorskaya Ekaterina Mikhailovna

Master's degree student of resource-saving technologies department,
Saint-Petersburg State Institute of Technology
amerlakova@mail.ru

Pavlov Konstantin Evgenievich

Ph.D. student of resource-saving technologies department,
Saint-Petersburg State Institute of Technology
askotik@yandex.ru

Petrova Alina Eduardovna

Teacher of resource-saving technologies department,
Ph.D. student of resource-saving technologies department,
Saint-Petersburg State Institute of Technology
petr_a_96@mail.ru

Annotation. The article provides a study of asphaltene deposits inhibitors efficiency on oil systems with different compositions of high-molecular paraffins and asphalt-resinous substances using the cold finger test.

Keywords: inhibitors, asphalt and resin paraffin deposits, oil.

Нефтяная индустрия – одна из ведущих и ключевых отраслей российской промышленности, которая включает в себя такие виды деятельности, как добыча, транспортировка, хранение и переработка нефти. Эксплуатация старых и разработка новых месторождений характеризуется множеством затруднений.

Существует ряд причин, которые могут вызвать осложнения в работе скважин, нефтяного обору- дования и трубопроводных коммуникаций: солеотложения, коррозионное разрушение оборудова- ния, образование стойких нефтяных эмульсий и др.

Но особенно остро стоит проблема, связанная с асфальтосмолопарафиновыми отложениями (АСПО), в частности – парафиновыми отложениями. Их накопление во внутренней поверхности труб приводит к снижению эффективности работы насосов, сокращению межремонтного периода работы скважин, уменьшению живого сечения трубопровода, дебита скважины, а позже и закупориванию труб.

АСПО является сложной углеводородной физико-химической смесью, в состав которой входит целая гамма веществ: парафины, асфальтены смолы, и механические примеси [1].

В промышленности часто используют химические методы в совокупности с тепловым и механи- ческим методами. Тогда удаление АСПО является наиболее эффективным и быстрым. Но при при- менении сочетания методов нужно соблюдать осторожность, так как слишком интенсивное удаление отложений из слишком запапарафированных мест может быть причиной для образования парафиновых пробок. Поэтому процесс разбивают на две стадии: сначала операция проводится при обычной тем- пературе, потом при более высокой (приблизительно 60–70 °C) [2].

Целью исследования является изучение эффективности ингибиторов парафиноотложений на ряде нефтяных систем при различных температурных режимах. В качестве реагентов использовались такие ингибиторы, как СНПХ-7941, Лапрол 6003, Лапрол 4202 и Лапрол 5503, которые устраняют не только про- блемы отложений парафинов на нефтепромысловом оборудовании, но и минимизируют наличие корро- зии, солеотложений, а также, одновременно с этим, позволяют разрушить нефтяные эмульсии [3].

Наиболее актуальный способ сравнить эффективность ингибиторов парафиноотложений – метод «холодного стержня». В стакан, где находится нефть, помещается стержень (U-образная трубка, куда под- водится хладагент). Температура охлаждающей жидкости, протекающей через U – образные трубки в криостате, составляет –15 °C. Создается температурный градиент между стаканом и «холодным стерж-



нем». За счёт разности температур парафина начинают выкристаллизовываться на поверхности. После окончания опыта нефть стекает со стержня и устанавливается температура = +50 °С. В предварительно взвешенную емкость стекает оттаявший парафин/АСПО и измеряется его масса.

Расчет ингибирующей способности присадки производят по следующей формуле:

$$K = \frac{C_2 - C_1}{C_2} * 100 \%, \tag{1}$$

где K – коэффициент ингибирования АСПО, %; C_1 – количество АСПО на стержне после ввода присадки, г; C_2 – количество АСПО на стержне до ввода присадки, г.

Эффективность реагентов на каждый тип нефтяной системы приведен на рисунке 1.

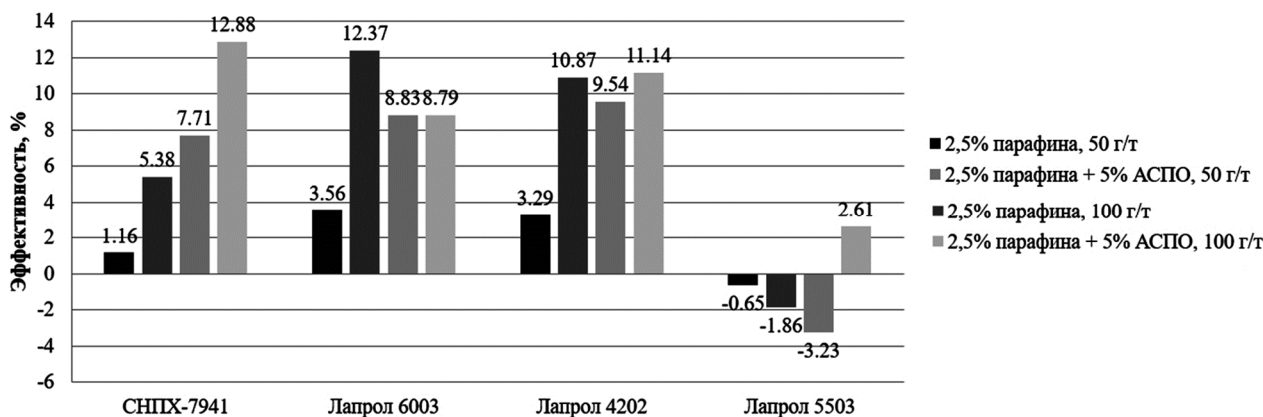


Рисунок 1– График эффективности реагентов на каждый тип нефтяной системы

Анализируя данные, можно сделать выводы о том, какой реагент является наиболее подходящим для каждой нефтяной системы.

Для смеси с 2,5 % парафина и дозировкой реагента 50 г/т лучше всего подходят Лапрол 6003 и Лапрол 4202.

Для нефтяной смеси с 2,5 % парафина и дозировкой реагента 100 г/т наиболее эффективными реагентами являются также Лапрол 6003 и Лапрол 4202.

Для нефтяной смеси, содержащей 2,5 % парафина, 5 % АСПО с дозировкой 50 г/т, подходят такие реагенты, как Лапрол 4202, Лапрол 6603 и СНПХ-7941.

Для смеси с 2,5 % парафина, 5 % АСПО с дозировкой 100 г/т реагента – ингибиторы СНПХ-7941 и Лапрол 4202.

Лапрол 5503 показывает отрицательную эффективность, т.е. противоположное действие реагента и его не рекомендуется использовать для данных растворов.

Исследования показали, что испытания ингибиторов на нефтяной смеси позволяют получить данные об их эффективности при различном дозировании.

Из проведённого исследования можно сделать вывод о том, что для нефтяных систем, содержащих различное количество высокомолекулярных парафинов и асфальто-смолистых веществ, требуются различные реагенты и различные их дозировки. Поэтому нельзя назвать определенного «лидера» среди данных ингибиторов – все зависит от свойства смеси, в которой хотят предотвратить появление АСПО. Подбор реагента должен подбираться индивидуально.

Список литературы:

1. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти : учебное пособие для вузов. – М. : Нефть и газ, 2003. – 816 с.
2. Хайбуллина К.Ш. Обоснование комплексной технологии удаления и предупреждения органических отложений в скважинах на поздней стадии разработки нефтяного месторождения : дис. ... канд. техн. наук: 25.00.17/ науч. рук. М.К. Рогачев; СПГУ. – Санкт-Петербург, 2018. – 98 с.
3. Ибрагимов Г.З., Сорокин В.А., Хисамутдинов Н.И. Химические реагенты для добычи нефти: Справочник рабочего. – М. : Недра, 1986. – 240 с.

List of references:

1. Mishchenko I.T. Downhole oil production : textbook for universities. – М. : Oil and Gas, 2003. – 816 p.
2. Khaybullina K.Sh. Justification of complex technology of removal and prevention of organic deposits in wells at the late stage of oil field development : Ph. Candidate of Technical Sciences: 25.00.17 / scientific supervisor. M.K. Rogachev; SPGU. – St. Peterburg, 2018. – 98 p.
3. Ibrahimov G.Z., Sorokin V.A., Khisamutdinov N.I. Chemical reagents for oil production: Handbook of the worker. – М. : Nedra, 1986. – 240 p.



УДК 662.6/.9

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЮ ВЯЗКОСТИ МАСЛО МАРКИ И-20 И ОЭ-26 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

RESULTS OF THE STUDY OF VISCOSITY CHANGES IN I-20 AND OE-26 OIL DEPENDING ON TEMPERATURE

Хурмаматов Абдугаффор Мирзабдуллаевич

доктор технических наук, профессор,
Институт общей и неорганической химии АНРУз, г. Ташкент
gafuri_19805@mail.ru

Бойтұраев Сарвар Абдуфозилович

докторант (PhD),
Наманганский инженерно-технологический институт,
г. Наманган
sarvar_mr08@mail.ru

Аннотация. В нашей статье исследованы плотность и вязкость газов И-20 и ОЭ-26 под влиянием температуры.

Ключевые слова: нефтяной газ, плотность, абсорбция.

Khurmamatov**Abdugaffar Mirzabdullayevich**

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Academy of Sciences of Uzbekistan,
Tashkent
gafuri_19805@mail.ru

Boytutayev Sarvar Abdufozilovich

Doctor of Philosophy in Technical
Sciences (PhD),
Namangan Institute of Engineering
and Technology, Namangan
sarvar_mr08@mail.ru

Annotation. In our article, the density and viscosity of gases I-20 and OE-26 are studied under the influence of temperature.

Keywords: petroleum gas, density, absorption.

Плотность и вязкость раствора также важны при моделировании скорости массопереноса в поглотителях и регенераторах, поскольку эти свойства влияют на коэффициент жидкостной пленки для массопереноса [1, 2]. Водяной пар также присутствует в газе, выделяющемся в процессе абсорбции. Плотность воды измеряли при разных температурах и сравнивали с литературными данными Международной Ассоциация свойств воды и пара (IAPWS) [3].

В данной работе изучено изменение плотности и вязкости масел И-20 и ОЭ-26, используемых для защиты металлов от коррозии, под влиянием изменения температуры. На основании полученных результатов изучены абсорбционные, тепловые, физико-механические свойства масел И-20 и ОЭ-26 и определена эффективность их использования в других областях, помимо смазывания металлических поверхностей.

Существует несколько способов определения вязкости, обычно вязкость определяют с помощью разных приборов. Тем не менее, предлагаются и новые методы определения ожирения.

Согласно закону установленному Ньютоном для идеальных жидкостей (их иногда называют ньютоновскими) усилие затрачиваемое на преодоления внутреннего трения равно

$$F = \eta(\Delta v/\Delta h)S \cdot 0.1,$$

где F – сила, Н; S – площадь взаимно перемещаемых и соприкасающихся слоев жидкости, m^2 ; Δv – разность скоростей перемещения слоев, м/с; Δh – расстояние между перемещенными слоями, м; η – коэффициент, получивший название коэффициента динамической вязкости (часто его называют динамическая вязкость).

Таким образом, $F = \eta$ при всех остальных величинах, равных единице, т.е. $S = 1 m^2$, $\Delta v = 1 m/s$ и $\Delta h = 1 m$. Измеряется динамическая вязкость в $Pa \cdot s$. [4].

Для определения вязкости использовали вискозиметр «VISCOMETER FIRST PLUS». С помощью этого прибора определяли вязкость масел И-20 и ОЭ-26 в диапазоне температур от 30 °C до 90 °C. FIRST PLUS оснащен датчиком PT100, который отображает температуру от –50 °C до +300 °C. Измерение проводили при нормальном атмосферном давлении при давлении 101,3 кПа. Измеряемый образец нагревали на водяной бане LOIP LB-140 до различных температур. Образец, доведенный до необходимой температуры на водяной бане, выливают в чашу вискозиметра «Вискозиметр первый плюс» и подают зонд прибора с необходимой скоростью, как указано в инструкции. Для нашей жидкости этот показатель равен 100 ед/мин. После настройки необходимых параметров в меню настроек устройства образец помещается в чашу устройства и активируется зонд. После того, как зонд повернется 100 раз в течение 1 минуты, прибор автоматическим выключится, а результат появится на экране. Процедура выполняется отдельно для каждого состояния. Для контроля температуры во время измерения и уменьшения погрешности измерения. Также необходимо нагреть образец стекла до необходимой температуры. для этого стакан также погружают в водяную баню.



Рисунок 1 – «VISCOMETER FIRST PLUS»

Вязкость масла ОЕ-26 зависит от температуры. При низких температурах вязкость этого масла в несколько раз выше, чем при сильном нагреве. Вязкость образца, взятого для эксперимента, определяли при температуре от 30 °С до 80 °С.

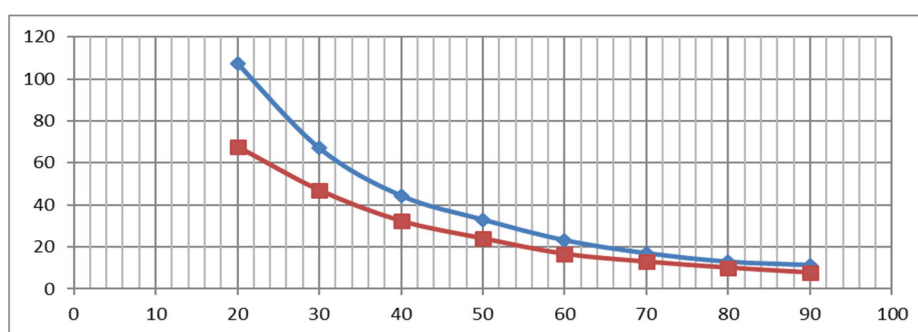


Рисунок 2 – Изменение вязкости масел ОЕ-26 и И-20 под влиянием температуры

Из результатов в таблице видно, что повышение температуры влияет на плотность масла. Здесь плотность составляет 870 г/см³ при начальной температуре 20 °С и снижается до 835 г/см³ при 80 °С. оказывает большое влияние на его свойства и существенно влияет на взаимодействие между газом и жидкостью. На основании полученных результатов большое значение имеет определение силы удара ОЭ-26 и И-20 с газом. Также очень важно определить абсорбционные свойства.

В представленном исследовании вязкость и плотность жидких масел, используемых в настоящее время для смазывания металлических поверхностей, определялись при различных температурах для определения абсорбирующих свойств. на основании полученных данных его применяют для изучения абсорбционных свойств масел ОЭ-26 и И-20 и абсорбционных свойств масел в результате изменения температуры.

Список литературы / List of references:

1. Densities and Viscosities of Aqueous Ternary Mixtures of 2-(Methylamino)ethanol and 2-(Ethylamino)ethanol with Diethanolamine, Triethanolamine, N-Methyldiethanolamine, or 2-Amino-1-methyl-1-propanol from 298.15 to 323.15 K / Estrella [et al.] // J. Chem. Eng. Data. – 2006. – № 51. – P. 955–962
2. Mass transfer and influence of physical properties of solutions in a bubble column / G. Vazquez [et al.] // Ischemia Trans. – 2000. – № 78. – P. 889–893.
3. Model based in neural networks for the prediction of the mass transfer coefficients in bubble columns. Study in Newtonian and non-Newtonian fluids. / A. Alvarez [et al.] // Int. Comm. Heat Mass Transfer. – 2000. – № 27. – P. 93–98.
4. Harvey A.H. Thermodynamic Properties of Water; NIST: Boulder, CO, USA, 1998.



УДК 66.045.5

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АППАРАТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ

INFLUENCE OF THE DESIGN PARAMETERS OF THE UNIT ON THE COOLING EFFICIENCY

Хурмаматов Абдугаффор Мирзабдуллаевич

доктор технических наук, профессор,
Институт общей и неорганической химии АН РУз,
г. Ташкент
gafuri_19805@mail.ru

Муминов Жалолидин Азизжон угли

базовый докторант,
Институт общей и неорганической химии АН РУз,
г. Ташкент
jaloliddinmuminov3110@gmail.com

Аннотация. В статье, представлены результаты экспериментов и выводы по изучению влияния изменения конструктивных параметров устройства воздушного охлаждения, в частности частоты вращения вентилятора и расстояния между вентилятором и секцией, на эффективность охлаждения.

Ключевые слова: воздушное охлаждение, бензиновая фракция, конструктивные параметры, частота вращения вентилятора, эффективность охлаждения.

Khurmamatov**Abdugaffor Mirzabdullayevich**

DSc., prof.,
Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences,
Republic of Uzbekistan, Tashkent city
gafuri_19805@mail.ru

Muminov Jalolidin Azizjon ugli

Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent city
jaloliddinmuminov3110@gmail.com

Annotation. The article presents the results of experiments and conclusions on the study of the influence of changes in the design parameters of an air cooler, in particular the fan speed and the distance between the fan and the section, on the cooling efficiency.

Keywords: air cooling, gasoline fraction, design parameters, fan speed, cooling efficiency.

На сегодняшний день аппараты воздушного охлаждения являются одной из основных вспомогательных устройств и он широко применяются для охлаждения сырья и готовой продукции на предприятиях химической и нефтегазохимической промышленности, нефтегазопереработки. Процесс воздушного охлаждения является основным методом охлаждения жидкостей и газов, особенно конденсации паров [1, 2, 3].

Основные преимущества воздушного охлаждения: низкая стоимость, простота использования и энергоэффективность. Одним из важнейших недостатков использования аппарат воздушного охлаждения является низкая эффективность охлаждения [4, 5].

Один из основных конструктивных параметров АВО которые влияют на эффективность воздушного охлаждения является частота вращения вентилятора и расстояние между вентилятором и секцией [6]. С учетом этого нами были собраны лабораторный стенд и проведены практические исследования в лабораторных условиях с целью изучения влияния конструктивных параметров устройства воздушного охлаждения на эффективность охлаждения. Экспериментальная установка имеет возможность изменять расстояние между лопастями вентилятора и теплообменными секциями соответственно в диапазоне от 0,22–0,3 м, а частота вращения вентилятора 1500–3800 об/мин с помощью ступенчатые шкивы. Для опытов в процессе воздушного охлаждения использовалась бензиновая фракция. Эффективность охлаждения процесса определялась как разность температуры бензиновой фракции на входе и выходе из устройства:

$$\Delta T = T' - T''.$$

Результаты эффективности охлаждения аппарата в зависимости от расстояния между вентилятором и секцией на разные частоты вращения приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что (в случае $h = 0,22$ м) эффективность охлаждения составляла $\Delta T_1 = 36$ °С при частоте вращения вентилятора $n = 1500$ об/мин. После этого частота вращения вентилятора была увеличена до $n = 2500$ об/мин, при этом эффективность охлаждения увеличилась до $\Delta T_1 = 37,5$ °С. При частоте вращения вентилятора $n = 3800$ об/мин эффективность охлаждения составляла $\Delta T_1 = 38$ °С. Для изучения влияния изменения расстояния между вентилятором и секцией на эффективность охлаждения последовательно проводились эксперименты при $h = 0,26$ м и $h = 0,30$ м, а полученные показатели заносились в таблицу.



Таблица 1 – Результаты эффективности охлаждения аппарата в зависимости от расстояния между вентилятором и секцией

Частота вращения вентилятора, об/мин	Расстояние между вентилятором и секцией, м	Эффективность охлаждения, °С
1500	22	36
	26	38
	30	37
2500	22	37,5
	26	39
	30	38,5
3800	22	38
	26	39
	30	39,5

В целом можно увидеть, что увеличение расстояния между вентилятором и секцией сначала увеличивает эффективность охлаждения до определенного значения, а затем снова частично снижает ее. Но также было замечено, что это значение меняется в зависимости от частоты вращения вентилятора. Низкая частота вращения также удовлетворяет, когда расстояние между вентилятором и секцией невелико, но при больших значениях расстояния скорость воздушного потока не удовлетворяет процессу, что требует увеличения частоты вращения вентилятора. Поэтому необходимо найти оптимальный вариант рассмотренных конструктивных параметров, с помощью которого можно добиться высокой эффективности в процессе охлаждения.

Таким образом, при проведении опытов варьировали некоторые конструктивные параметры аппарата, т.е. частота вращения вентилятора в пределах 1500 ÷ 3800 об/мин, расстояние между вентилятором и секции 0,22 ÷ 0,3 м, при этом эффективность охлаждения также изменилось от 36 °С до 39 °С. Найдены оптимальные конструктивные параметры аппарата воздушного охлаждения: $h = 0,26$ м и $n = 2500$ об/мин, при этом, эффективность охлаждения увеличилась до 8,33 %. Это объясняется тем, что с целью увеличения эффективности охлаждения надо уделять внимание возможности изменения вышеизложенных параметров. Это приводит к увеличению эффективности аппарата в любого сезона.

Список литературы:

1. Крюков Н.П. Аппараты воздушного охлаждения. – М. : Химия, 1983. – 168 с.
2. Примеры расчетов нестандартизированных эффективных теплообменников / В.Б. Кунтыш [и др.]. – СПб. : Недра, 2000. – 300 с.
3. Марголин Г.А., Вайсман В.Е. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения. – М. : ВНИИНефтемаш, 1982. – 45 с.
4. Xurmamatov A.M., Mo'Minov J.A. Benzin fraksiyasini havo yordamida sovitish jarayonining tadqiqot natijalari // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2021. – № 1 (9). – P. 619–624.
5. ГОСТ Р 51364-99 (ISO 6758-80) Аппараты воздушного охлаждения. Общие технические условия. – М. : Издательство стандартов, 2000. – 30 с.
6. Муминов Ж.А. Углеводород хом ашёсини хаво ёрдамида совитиш жараёнларининг асосий курсаткичлари // Кимё ва озик-овкат махсулотларининг сифати ва хавфсизлигини таъминлашда инновацион технологиялар. – 2021. – С. 314–315.

List of references:

1. Kryukov N.P. Apparatuses of air cooling. – M. : Chemistry, 1983. – 168 p.
2. Examples of Calculations of Non-Standardized Effective Heat Exchangers / V.B. Kuntysch [et al]. – SPb. : Nedra, 2000. – 300 p.
3. Margolin G.A., V.E. Vaisman Method of Thermal and Aerodynamic Calculation of Air-Cooling Units. – M. : VNIIneftemash, 1982. – 45 p.
4. Xurmamatov A.M., Mo'Minov J.A. Benzin fraksiyasini havo yordamida sovitish jarayonining tadqiqot natijalari // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2021. – № 1 (9). – P. 619–624.
5. GOST R 51364–99 (ISO 6758-80) Apparatus for air cooling. General specifications. – M. : Publishing house of standards, 2000. – 30 p.
6. Muminov J.A. Hydrocarbon hom ashyosini havo yordamida sovitish zharayonlarinigi asosii kursatkichlari // Kimyo va ozik-ovkat mahsulotlarinigi sifati v havfsizligini ta'minlashda innovatsionnogo tekhnologiya. – 2021. – P. 314–315.



УДК 66.048.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕПАРАЦИИ ПАРОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА В ЗОНЕ ПИТАНИЯ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ПРОЦЕССА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ РАЗДЕЛЕНИЯ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF THE EFFICIENCY OF SEPARATION OF VAPOR-LIQUID FLOW IN THE FEEDING ZONE ON THE ENERGY CONSUMPTION OF THE PROCESS UNDER DIFFERENT SEPARATION CONDITIONS

Чураков Василий Александрович

магистрант кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
ophioc@gmail.com

Маннанов Тимур Ильнурович

старший преподаватель кафедры нефтехимии
и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
t.i.mannanov@yandex.ru

Чуракова Светлана Константиновна

доктор технических наук,
профессор кафедры нефтехимии и химической технологии,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
chskugntu@rambler.ru

Аннотация. На основе математического моделирования процесса разделения легких углеводородных компонентов в среде Unisim Design проведён сравнительный анализ степени влияния эффективности сепарации парожидкостного потока в зоне ввода сырья на энергозатраты процесса при различных условиях разделения на примере трёх ректификационных колонн. Получены уравнения зависимости энергозатрат на процесс разделения от степени уноса в зоне ввода сырья при различном углеводородном составе сырья и различном количестве контактных устройств. Анализ графиков и уравнений зависимости показал, что влияние степени уноса в зоне питания сырья на энергозатраты процесса возрастает при повышении давления в системе и снижается при увеличении числа тарелок.

Ключевые слова: деизопентанизация, деэтанализация, зона питания, ректификация, узел ввода сырья, энергозатраты, эффективность разделения.

Churakov Vasily Aleksandrovich

Master of Department of Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
ophioc@gmail.com

Mannanov Timur Ilnurovich

Senior lecturer of Department
of Petrochemistry and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
t.i.mannanov@yandex.ru

Churakova Svetlana Konstantinovna

Doctor of technical Sciences,
Professor of Department of Petrochemistry
and Chemical Technology,
Ufa State Petroleum Technological University
chskugntu@rambler.ru

Annotation. On the basis of mathematical modeling of the separation process of light hydrocarbon components in the Unisim Design environment, a comparative analysis of the degree of influence of the efficiency of separation of the vapor-liquid flow in the raw material input zone on the energy consumption of the process under different separation conditions is carried out on the example of three distillation columns. The equations of dependence of energy consumption for the separation process on the degree of entrainment in the input zone of raw materials with different hydrocarbon composition of raw materials and different number of contact devices are obtained. Analysis of graphs and equations of dependence showed that the influence of the degree of entrainment in the feed zone of raw materials on the energy consumption of the process increases with increasing pressure in the system and decreases with increasing the number of plates.

Keywords: area power, deethanisation, deisopentanisation, energy consumption, efficiency of separation, rectification, the input node of raw materials.

При расчётах ректификационных аппаратов принято задавать КПД в зоне питания колонны равным единице. Это означает, что зона ввода сырья должна обеспечивать плавный безударный ввод парожидкостного потока с обеспечением полного равновесия парового и жидкостного потоков и направления всего парового потока в укрепляющую секцию и всего жидкостного потоков в отгонную секцию. Однако, для установления равновесия парожидкостных потоков в зоне питания должны быть обеспечены определённые гидродинамические условия. Как показали отечественные и



зарубежные исследования [1–4], для обеспечения 100 % разделения парожидкостного потока и достижения полного отсутствия каплеуноса жидкой фазы в укрепляющую секцию необходимо детальное исследование гидродинамической обстановки в зоне питания и проектирование различных устройств ввода сырья при различных скоростях парожидкостного потока [1, 2]. Ранее в работах [5, 6] нами изучалось влияние снижения эффективности разделения парожидкостного потока в зоне питания на качество продуктов и на энергозатраты процесса ректификации.

Предметом исследования в данной статье является сравнительный анализ степени влияния эффективности разделения парожидкостного потока в зоне ввода сырья на энергозатраты процесса в различных аппаратах при различных условиях разделения.

Расчетная схема для исследования влияния уноса в зоне ввода сырья на энергозатраты процесса при различном углеводородном составе сырья и различном количестве контактных устройств в среде Unisim Design представлена на рисунке 1. Состав сырья для различных вариантов исследования приведён в таблицах 1–3.

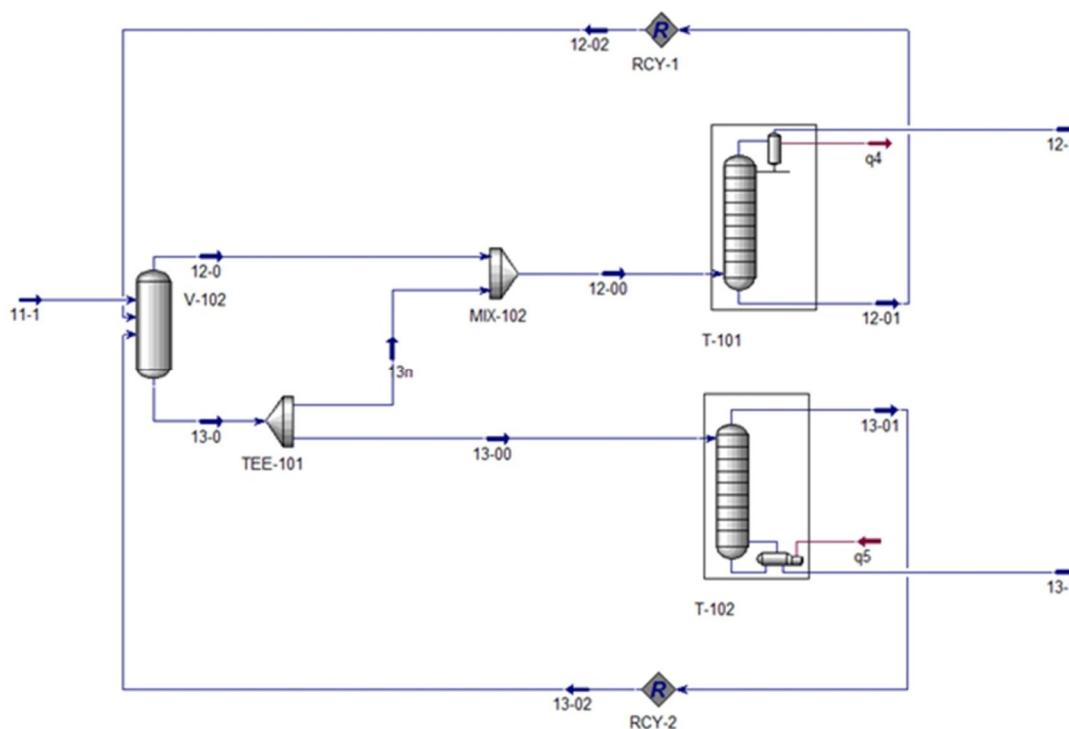


Рисунок 1 – Расчетная схема для исследования влияния уноса в зоне ввода сырья на энергозатраты процесса в среде Unisim Design

Таблица 1 – Состав сырья моделируемых колонн

Модельное сырье С1 – С4		Сырье колонны деизопентанизации		Сырье колонны дезантизации	
Компонент	Содержание, % мол.	Компонент	Содержание, % масс.	Компонент	Содержание, % масс.
Метан	24,70	Бутаны	0,08	Метан	0,12
Этан	26,18	Изопентан	40,98	Этан	13,69
Пропан	25,60	н-пентан	44,07	Этен	57,24
Изобутан	12,03	Циклопентан	2,11	Этин	0,42
н-бутан	11,49	н-гексан	3,35	Пропан	2,99
–	–	Изогексаны	7,71	Пропен	12,54
–	–	Циклогексан	1,00	Пропин	0,82
–	–	Гептаны	0,70	С4+	12,20

На первом этапе математического моделирования и последующей обработки расчётных данных по энергозатратам процесса, приведённым в таблице 2, нами было получено уравнение зависимости энергозатрат от эффективности разделения в зоне питания сырья для модельной смеси легких углеводородов С1 – С4, при повышенном давлении 13 атм. в колонне, оборудованной тарелками с общей разделительной способностью, равной 15 теоретических тарелок (далее – т.т.). Результаты исследования представлены в виде графической и эмпирической зависимости на рисунке 2.



Таблица 2 – Результаты моделирования процесса разделения смеси углеводородов C1 – C4

Эффективность устройства ввода сырья	Теплоподвод, Гкал/ч	Теплосъём, Гкал/ч
1,00	885,4	466,1
0,95	897	477,6
0,90	908,5	489,1
0,85	920,1	500,7
0,80	931,6	512,3
0,75	943,3	523,9
0,70	955,1	535,7

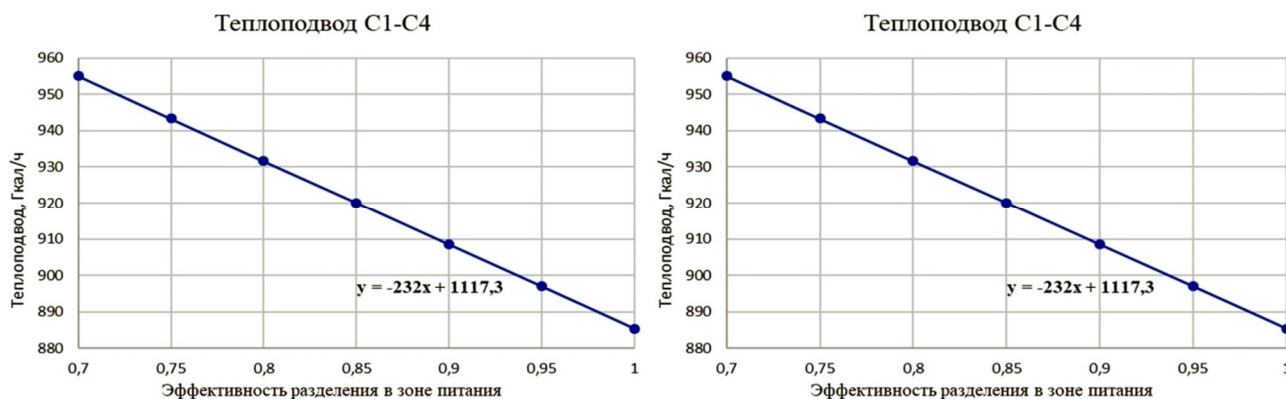


Рисунок 2 – Влияние эффективности разделения в зоне питания на энергозатраты процесса для условий разделения смеси C1 – C4

На втором этапе математического моделирования и последующей обработки расчётных данных по энергозатратам процесса, приведённым в таблице 3, нами было получено уравнение зависимости энергозатрат от эффективности разделения в зоне питания сырья для колонны деизопентанизации при давлении 2,9 атм., оборудованной тарелками с общей разделительной способностью 36 т.т., 42 т.т. и 48 т.т. Результаты исследования представлены в виде графической и эмпирической зависимости на рисунке 3.

Таблица 3 – Результаты моделирования деизопентанизатора

Эффективность устройства ввода сырья	Теплоподвод, Гкал/ч			Теплосъём, Гкал/ч		
	36 т.т.	42 т.т.	48 т.т.	36 т.т.	42 т.т.	48 т.т.
1,00	7,092	4,677	3,783	7,481	5,066	4,172
0,95	7,128	4,688	3,788	7,518	5,078	4,178
0,90	7,166	4,700	3,794	7,556	5,089	4,183
0,85	7,205	4,711	3,799	7,595	5,101	4,188
0,80	7,245	4,723	3,804	7,635	5,113	4,194
0,75	7,285	4,735	3,810	7,675	5,125	4,199
0,70	7,320	4,747	3,813	7,716	5,137	4,202

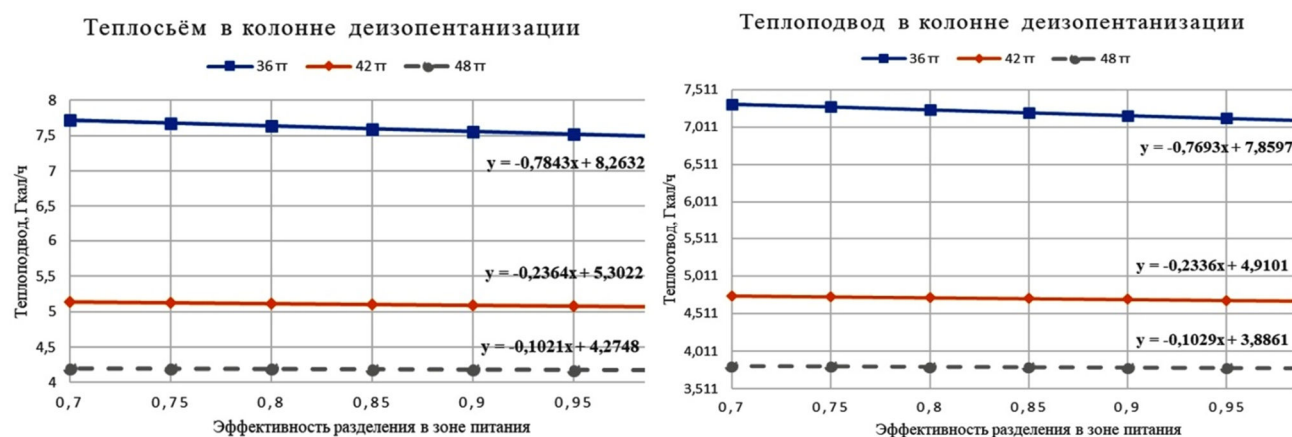


Рисунок 3 – Влияние эффективности разделения в зоне питания на энергозатраты процесса разделения в колонне деизопентанизации



На третьем этапе математического моделирования и последующей обработки расчётных данных по теплоподводу, приведённых в таблице 4, нами было получено уравнение зависимости энергозатрат от эффективности разделения в зоне питания сырья для колонны деэтанализации, оборудованной различным количеством тарелок с общей разделительной способностью 39 т.т., 51 т.т. и 60 т.т., при среднем давлении 29 атм. Результаты исследования представлены в виде графической и эмпирической зависимости на рисунке 4.

Таблица 4 – Результаты моделирования деэтанализатора

Эффективность устройства ввода сырья	Теплоподвод, Мкал/ч			Теплосъём, Мкал/ч		
	39 т.т.	51 т.т.	60 т.т.	39 т.т.	51 т.т.	60 т.т.
1	946,0	937,9	936,3	783,3	774,6	772,8
0,95	950,5	942,0	940,4	787,3	778,7	776,9
0,90	954,5	946,1	944,5	791,3	782,8	781,1
0,85	958,4	950,4	948,9	795,3	787,0	785,3
0,80	962,5	954,3	952,8	799,3	791,0	789,3
0,75	966,2	958,0	956,5	803,0	794,7	793,1
0,70	969,6	961,5	959,8	806,4	798,1	796,6

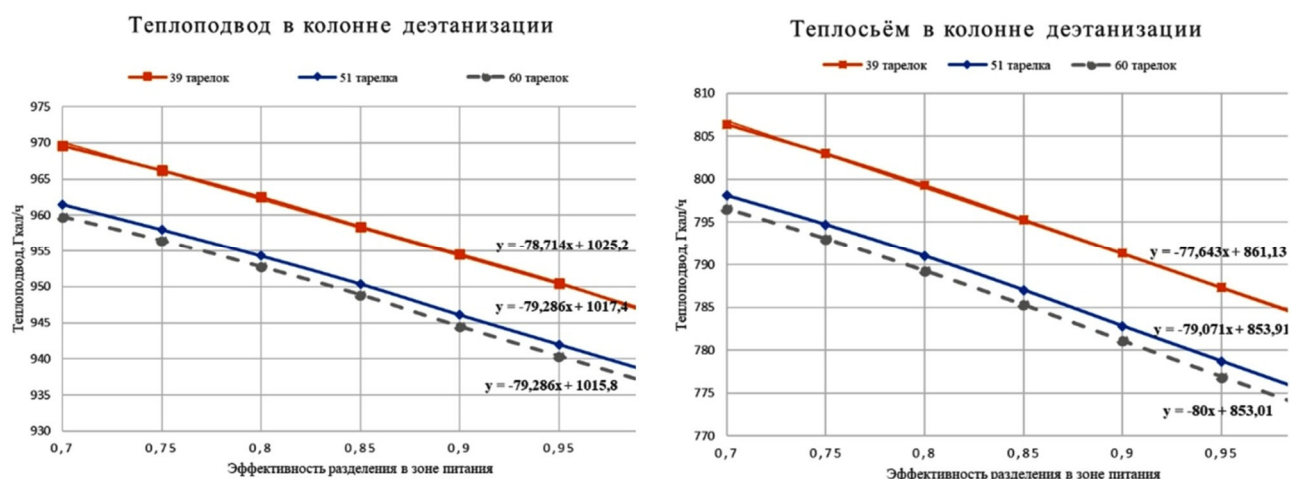


Рисунок 4 – Влияние эффективности разделения в зоне питания на энергозатраты процесса для условий разделения в колонне деэтанализации

Таким образом, сравнительный анализ графиков и уравнений зависимости теплоподвода и теплосъёма в исследованных нами ректификационных колоннах от эффективности разделения потоков в зоне питания позволяет сделать следующие выводы:

- все зависимости носят прямолинейный характер и могут быть описаны уравнением прямой;
- угол наклона прямой максимален для условий разделения модельной смеси узкого углеводородного состава C1-C4 при давлении 13 атм., что свидетельствует о максимальном увеличении энергозатрат вследствие уноса в зоне питания при разделении сырья узкого углеводородного состава при повышенном давлении;
- тангенс угла наклона прямой для условий разделения в колонне деэтанализации на два порядка больше, чем в колонне деизопентанизации, что свидетельствует о значительном увеличении влияния уноса в зоне питания на энергозатраты процесса разделения при увеличении давления в аппарате;
- при увеличении числа тарелок на разделение, степень влияния эффективности сепарации на энергозатраты процесса при определённом числе тарелок начинает уменьшаться, о чем свидетельствует сближение графиков зависимости при увеличении разделительной способности.

Список литературы:

1. Маннанов Т.И., Чуракова С.К. Исследование различных конструкций устройств ввода сырья в массообменные колонны методом CFD-анализа // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2021. – № 11. – С. 3–6.
2. Маннанов Т.И., Чуракова С.К. Расчетное исследование работы лопастных устройств ввода массообменного и сепарационного оборудования // Башкирский химический журнал. – 2021. – Т. 28. – № 4. – С. 97–102.



3. CFD-анализ – современный подход к исследованию процесса разделения и распределения потоков в устройствах ввода сырья массообменных аппаратов / Т.И. Маннанов [и др.] // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 5. – С. 159–165.

4. CFD-моделирование устройства ввода лопастного типа в колонне и анализ паров для двух различных входных потоков / Х. Бансал [и др.] // Эликсир Хим. Инж. – 2014 – № 66. – С. 20721–20725.

5. Маннанов Т.И., Лесной Д.В., Чуракова С.К. Исследование влияния эффективности сепарации в узле ввода сырья ректификационных колонн на энергетические затраты // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 4. – С. 85–88.

6. Маннанов Т.И., Чураков В.А., Чуракова С.К. Расчетное исследование влияния полноты сепарации парожидкостного сырья на энергозатраты процесса ректификации различных смесей // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 2. – С. 100–102.

List of references:

1. Mannanov T.I., Churakova S.K. Investigation of various designs of raw material input devices in mass-exchange columns by CFD-analysis // Chemical and Oil and Gas Engineering. – 2021. – № 11. – P. 3–6.

2. Mannanov T.I., Churakova S.K. Calculated study of vane input devices of mass-exchange and separation equipment // Bashkir Chemical Journal. – 2021. – V. 28. – № 4. – P. 97–102.

3. CFD-analysis – a modern approach to the study of separation and distribution of flows in the input devices of raw materials of mass exchange apparatuses / T.I. Mannanov [et al.] // Bulatov readings. – 2020. – V. 5. – P. 159–165.

4. CFD modeling of a vane-type inlet device in a column and vapor analysis for two different inlet streams / H. Bansal [et al.] // Elixir Chem. Ing. – 2014 – № 66. – P. 20721–20725.

5. Mannanov T.I., Lesnoy D.V., Churakova S.K. Study of the impact of separation efficiency in the input node of rectification columns on energy costs // Bulatov Readings. – 2019. – V. 4. – P. 85–88.

6. Mannanov T.I., Churakov V.A., Churakova S.K. A computational study of the influence of the completeness of separation of vapor-liquid feedstock on the energy costs of the rectification process of various mixtures // Bulatov Readings. – 2022. – V. 2. – P. 100–102.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ**

**TECHNICAL
AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS**



УДК 622

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В СТРОЙНЫХ АППАРАТАХ В ПРОЦЕССЕ СЕПАРАЦИИ

APPLICATION OF GAS FLOWS IN JET DEVICES FOR GAS SEPARATION

Новрузова Судаба

кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтегазовая инженерия,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
sudaba.novruzova@mail.ru

Гадашова Эльмира

кандидат технических наук,
ассистент кафедры нефтегазовая инженерия,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
elmira_qadashova@hotmail.com

Алиев Инглаб Намиг

кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтегазовая инженерия,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
inqilab.aliyev@hotmail.com

Аннотация. В данной статье рассматривается и обсуждается проблема достижения низких статических температур газовых потоков при адиабатическом расширении газа в сравнении с дросселированием газовых потоков при резком градиенте давления, как, например, при снижении давления до 10 МПа в условиях низких температур – температурные газовые сепараторы (ГС) и обсуждаются результаты расчетов, полученные при трех различных режимах течения газа: трансзвуковом, звуковом и сверхзвуковом режимах течения газа с числом Маха более 0,6. Так как ситуации адиабатического расширения газа из-за резкого неожиданного перепада давления возникают в промышленности достаточно часто, особенно на сужающихся участках газотранспортной системы, и наносят существенный ущерб и прямой вред в виде образования сосулек и гидратов, которые впоследствии еще больше сужают поток через сужающиеся сопла и подобное оборудование эффективно блокирует его. Вместе с тем такие повреждения потенциально могут представлять коррозионную опасность с последующим выходом оборудования из строя. Это особенно актуально при разделении и транспортировке газов. Кроме того, такое движение вызывает значительные изменения скорости звука, регистрируемые вокруг сужающихся сопел, задвижек, регулирующих клапанов и других подобных устройств. Полученные в расчетах результаты, которые практически невозможно получить эмпирически, и основные параметры характерны для типовых режимов работы струйных аппаратов, используемых в газосепараторах, при достижении низкостатических температур.

Ключевые слова: адиабатическое расширение, адиабатическое охлаждение, течение газа, сепарация.

Novruzova S.G.

PhD, Associate Professor,
Department of Oil and Gas Engineering,
Azerbaijan State Oil and Industry University
sudaba.novruzova@mail.ru

Gadashova E.V.

PhD, Assistant,
Department of Oil and Gas Engineering,
Azerbaijan State Oil and Industry University
elmira_qadashova@hotmail.com

Aliyev I.N.

PhD, Associate Professor,
Department of Oil and Gas Engineering,
Azerbaijan State Oil and Industry University
inqilab.aliyev@hotmail.com

Annotation. In this article we consider and discuss a problem of achieving low-static temperatures of gas flows in adiabatic expansion of gas versus throttling of gas flows in case of a sudden pressure gradient, like, for example, during pressure reduction to 10 MPa in the low-temperature gas separators (LTS) and discuss calculation results obtained at three different gas flow regimes: transonic, sonic, and supersonic gas flow regimes with Mach number higher than 0.6. As situations of adiabatic expansion of gas due to a sudden unexpected pressure drop occur rather often in the industry, especially in narrowing parts of the gas transport system and cause significant deficiencies and outright harm in form of formation of icicles and hydrates, which subsequently further narrow the flow through the narrowing nozzles and similar equipment effectively blocking it. Alongside with that such damage can potentially pose corrosion hazard with subsequent failure of the equipment. This is especially relevant during gas separation and transporting. Furthermore, such motion causes significant alterations to the speed of sound registered around the narrowing nozzles, latches, control valves and such other devices. The results obtained in the calculations, that are nigh to impossible to obtain empirically, and basic parameters are representative of typical work modes of jet apparatuses used in gas separators when achieving low-static temperatures.

Keywords: adiabatic expansion, adiabatic cooling, gas flow, separation.

1. Introduction. It is a common knowledge, that it is impossible to ensure high-quality gas preparation for transport using only conventional throttle method with natural cool during gas flows'



pressure reduction to 10 MPa in the low-temperature gas separators (LTS). Artificial cooling in the ammonia or propane refrigerators is required, which is not always economically viable.

In this scenario use of low-static temperature high-velocity flows during their adiabatic expansion is considered. Such a temperature in the technical literature on aerodynamics is referred as: true, thermodynamic, static or local gas flow temperature (Leontovich M., 1983; Baker et al, 2008).

2. Experimental part. Low-static temperatures generated at transonic and supersonic speeds of gas flows with Mach number > 0.6, and with increase in this number (i.e. velocity of the gas flow) even static temperatures cannot be measured directly, since such a measurement requires motion of the measuring device at the same high speed as the gas flow. Achieving such a motion is high impossible. This temperature of the high-speed flows can be determined analytically through gas flow deceleration temperature, i.e. mentally imagined stopped gas flow ($W = 0$). After gas separation in the environment of low-static temperatures, their values can be determined through gas wetness degree (i.e., through dew point temperature) of the separated gas flow (Panahov R.A. et al., 2014; Carta et al., 2013; Althuluth et al., 2014).

Creation of low-static temperatures can be observed in various hydrodynamic processes, in high-velocity flows' efflux in short time spans and in limited volume. This phenomenon is considered negative both in aviation and in natural gas industry, methods of its prevention and elimination are being constantly developed.

Laws of aerodynamics imply, that in certain regions of flow around convex surfaces outside the border layer the flow velocity is higher, than in oncoming flow. Hence, in these regions temperature is lower than in oncoming flow.

This situation is observed in the narrowing parts of a gas transport system (gauges, valves, latches, control devices). During separator evacuation through semi-open latches these fixtures can behave as narrowing nozzle or Laval nozzle. After liquid has been extracted from the separator and brief efflux of gas through these latches into the atmosphere, gas flow may acquire transonic or supersonic velocity. As a result, walls of the latches and discharge tube can cool below 0 °C due to low-static temperatures effect which would lead to condensation and subsequent freezing of the atmospheric moisture. This process can result in formation of hydrate-ice plugs in the said places. Such a negative impact may incapacitate latches and control device valves of a gas transport system.

Snow deposits in parts of the tube directly adjacent after the latches is a common occurrence during even small pressure changes in the gas flow. An attempt to explain this as a common gas throttling event (Joule-Thompson effect) is incorrect, as pressure change in the flow is insufficient to cause gas cooling as a result of Joule-Thompson effect. Adiabatic expansion of the high-velocity gas flow with local low-static temperatures of the said flow is a more likely culprit. In these cases, moisture freeze, and hydrate crystals formation can often partially plug though holes of narrowing nozzles thus, causing an equipment failure. Moisture freeze and ice formation in high-speed gas flows can be experimentally observed, as water is introduced into the effusing flow. Special measures are undertaken to mitigate this issue in gas transport systems, same to the aviation industry.

3. Results and discussion

Results of the low-static temperatures acquisition in adiabatic expansion of gases at initial pressure of $P_o = 10$ MPa and initial temperature of $t_o = 20$ °C depending on the initial and terminal pressures and based on gas-dynamic relations are given in the table below. Here values of the static pressure ($P_{st} = P_{sep}$), the pressure changes $\Delta P = P_o - P_{st}$ and temperature changes $\Delta t = t_o - t_{st}$, Mach number and velocities of the gas flow depending on the acquired low-static temperatures are demonstrated.

Results are calculated for transonic, sonic, and supersonic flow regimes.

Table 1 – Comparison of the calculational parameters during adiabatic expansion and throttling of gases. Source: Composed by the authors

Adiabatic expansion of gases								
	Transonic regime			Sonic (critical regime)	Supersonic regime			
P_o/P_{st}	1,356	1,471	1,737	1,83	1,90	2	2,5	3
P_{st} , MPa	7,37	6,80	5,76	5,46	5,26	5,0	4,0	3,33
$\Delta P = P_o - P_{st}$, MPa	7,63	3,20	4,24	4,54	4,74	5,0	6,0	6,67
t_{st} , °C	0	-5	-15	-18	-20,4	-23,2	-35,7	-45
$\Delta t = t - t_{st}$, °C	20	25	35	38	40,4	43,2	55,7	65
M	0,672	0,787	0,950	1	1,03	1,07	1,25	1,38
W, m/s	299	333	396	414	425	440	500	544
Gases throttling								
P_k , МПа	7,37	6,8	5,76	5,46	5,76	5,0	4,0	3,33
$\Delta P = P_H - P_k$, MPa	2,63	3,2	4,24	4,54	4,74	5,0	6,0	6,67
t_{fin} , °C	10,8	8,8	5,2	4,1	3,4	2,5	-1	-3,3
$\Delta t = t_H - t_k$, °C	9,2	11,2	14,8	15,9	16,6	17,5	21	23,3



The respective values for cooling of gas due to throttling process in the same initial parameters are provided in order to demonstrate superiority of adiabatic expansion method over gas throttling. Table data and gas-dynamic relations analysis clearly shows that:

- to achieve static temperature: $t_{st} = 0$ in the observed precritical environment and at initial parameters of: $P_o = 10$ MPa and $t_o = 20$ °C value of $P_o/P_{st} = 1,356$ is sufficient, i.e. pressure change of 2,63 MPa, but during gas throttling process in the same initial conditions, is just $t_{fin} = 10,8$ °C. Wherein in adiabatic expansion process coefficient α_s – is equal to: $\alpha_s = \Delta t/\Delta P = 20/2,63 = 7,6$ °C/MPa, though in throttling process: $\alpha_i = 10,8/2,63 = 3,49$ °C/MPa, 2,18 times less ($\alpha_s/\alpha_i = 7,6/3,49 \approx 2,18$);
- at the critical gas flow regime, in the observed initial conditions ($P_o = 10$ MPa и $t_o = 20$ °C), low-static temperature reaches negative 18 °C in an adiabatic expansion process, while in a throttling process final temperature only reaches 4,1 °C. In this regime α_s/α_i ratio becomes $8,37/3,5 = 2,39$, i.e. α_s/α_i increases with increments in Mach number or velocity of the gas flow;
- in supersonic flow regime ($M = 1,38$) in the aforementioned initial conditions low-static temperature reaches negative 45 °C if pressure ratio is $P_o/P_{st} = 3$ or pressure change is $\Delta P = 6,67$ MPa; in this case pressure drop equals: $\Delta t = 65$ °C and $\alpha_s = 65/6,67 = 9,74$, wherein during throttling process $t_k = -3,3$ °C, $P_k = 3,33$ MPa, $\Delta P = 6,67$ MPa, $\Delta t = 23,3$ °C, $\alpha_i = 23,3/6,67 = 3,49$. In this regime ratio equals: $\alpha_s/\alpha_i = 9,74/3,49 = 2,79$. Consequently, static temperature is significantly lower in adiabatic expansion of gases with increments in gas flow velocity, than final temperature is in gas throttling process $t_{st} \ll t_k$.

Aerodynamic curves analysis for adiabatic expansion of gas flows for 3 (transonic, sonic, and supersonic) regimes demonstrate (Aliyev et al., 2007; Mustafayev et al., 2015; Yeyamtsev, 1983) – as initial conditions are lowered (P_o, t_o) all three regimes require smaller pressure changes to achieve low-static temperatures;

- to get $t_{st} = 0$ °C at the atmospheric pressure $P_{st} = 0,1$ MPa, in an adiabatic expansion process with initial temperature 20 °C, initial pressure would be: $T_o/T_{cr} = 293/273 = (P_o/0,1)^{0,23}$; $1,0734,33 = P_o/0,1$; $P_o = 0,1 \cdot 1,357 \approx 0,14$ MPa. That is to say that to get $t_{st} = 0$ in the atmospheric conditions it only suffices to have a pressure drop of $\Delta P = 0,14 - 0,1 = 0,04$ MPa. Such an insignificant pressure drop leads as mentioned above to formation of snow deposits on the surface of purge valves of a separator;

- characteristic element of a transonic regime ($M < 1$) is that with decrease in the cross-sectional area of the narrowing nozzle ($dT < 0$) flow velocity increases ($dW > 0$). Wherein nozzle flow pressure, density, temperature of the gas decrease, local speed of sound decreases as well (pic. 1);

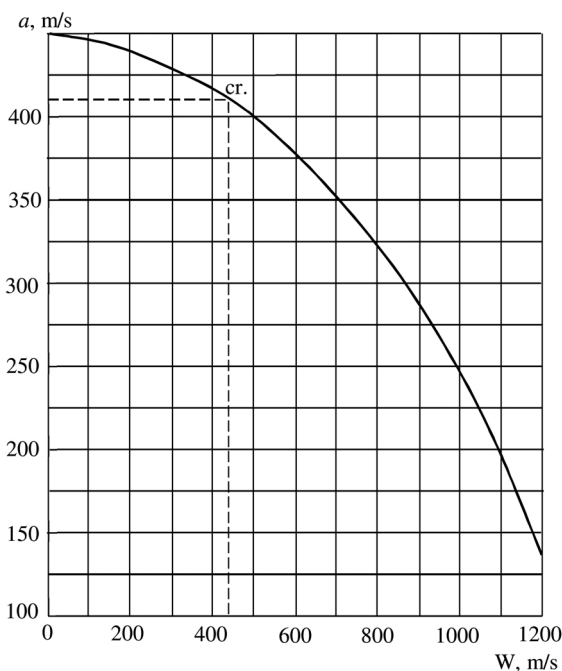


Figure 1 – Correlation between gas flow velocity and speed of sound. Source: Composed by the authors

- critical flow regime is a special case situated at the limit between transonic and supersonic flows. It is commonly known that as pressure drop increases (or P_o/P ration) nozzle velocity increases as well, and speed of sound in such a flow decreases. Finally, at a certain pressure drop flow velocity (W) and local speed of sound (a) come to an equilibrium ($W = a = W_{cr} = a_{cr}$; $M = 1$) marking start of a critical flow regime; – in adiabatic flow critical velocity can be reached in the narrowest cross-section of the tube or in the end of a narrowing nozzle. In this critical cross-section critical velocity and critical (maximal) flux are established «automatically»;



– gas flow velocity is independent of the absolute value of the initial pressure (P_o at $W \approx 0$) nor it depends on the pressure drop ($\Delta P = P_o - P$), it depends on initial deceleration velocity (T_o at $W \approx 0$) and pressure ratio (P/P_o) under effect of which the effluxes occur;

– the lower the P/P_o ratio, the higher flow velocity; yet even as pressure ratio approaches zero $P/P_o = 0$ (which can occur if the efflux happens in an absolute vacuum or if initial pressure approaches infinity $P_o = \infty$) velocity cannot increase infinitely. Theoretically maximal velocity is independent of the initial deceleration pressure (P_o) and is defined by physical properties of the gas (through values of K and R) and value of the initial deceleration temperature (T_o):

$$W = \sqrt{\frac{2k}{k-1} gRT_o}_{max}$$

For the natural gas (methane) at $t_o = 20$ °C: $W_{max} = 67,06\sqrt{T_o} = M 47$ m/s.

4. Conclusions. It is important to understand that in all gas flow regimes constant values of the critical parameters and resting gas parameters, maximal velocity (P_{cr} , ρ_{cr} , T_{cr} , P_o , ρ_o , T_o), as well as non-dimensional parameters: Mach number ($M = W/a$) velocity coefficient ($\lambda = W/a_{cr}$) are ground parameters in determination of low-static temperature of a gas flow;

– speed of sound (or speed of propagation of small perturbations), that is defined by formula: $a = \sqrt{kgRT}$, only depends on molecular structure of a gas and its temperature, yet is completely independent of motion conditions;

– speed of sound dependence (a) on the gas flow velocity is only a result of gas temperature change; thus, as the velocity of an adiabatically expanding flow increases (i.e. as temperature decreases) the speed of sound decreases as well, and as such velocity decreases (i.e. temperature increases) so does the speed of sound increase.

– gas flow critical velocity ($W_{cr} = a_{cr}$) is a criterion for flow regimes, meaning that at $W < W_{cr}$ – the flow is subcritical, at $W > W_{cr}$ – supercritical; – gas flow critical parameters (W_{cr} , P_{cr} , ρ_{cr} , T_{cr}), as well as deceleration parameters (P_o , ρ_o , T_o) at $W = 0$, are constant and remain constant for the entire isentropic flow.

Thus, gas flow critical regime at which gas flux becomes maximal is, in general, a calculable regime for all jet apparatuses. Constant parameters of this regime greatly simplify aerodynamic calculations, including low-static temperature values determination, that practically cannot be measured directly.

Список литературы / References:

1. Yazik A.V. Systems and methods of natural gas cooling. – Nauka, Russian Federation, 1986.
2. Vortex tubes their possible application in gas industry / E.A. Abdullayev [et al.]. – ULU2 PKF, 2015.
3. Leontovich M.A. Introduction into thermodynamics. Statical Physics. – Nauka, Russian Federation, 1983.
4. Preparation of gases for transport / A.R. Mustafayev [et al.]. – Nafta-Press, Azerbaijan 2015.
5. Aliyev E.Y., Abdullayev A.A., Sultanov N.N. Low pressure gases production flow equipment // AzETLQI scientific articles, Baku, 2007. – P. 65–80.
6. Mustafayev A.R., Abdullayev A.A., Sultanov N.N. Theoretical and practical problems of gas equipment. «Nafta-Pres», Baku, 2011. 393.
7. Mustafayev A.R., Abdullayev A.A., Panahov R.A. Preparation of gases for transportation. – «Nafta-Pres», Baku, 2015. – 228 p.
8. Panahov R.A., Sultanov R.R., Qadashova E.V. Possibility of application of vortex ejectors during collection and separation of gases // Equipment and technology for oil and gas complex. – 2014. – Issue 3. – P. 11–14.
9. Yeyamtsev B.T. Technical hydromechanics. – Mashinostroyeniye, Russian Federation, 1978.
10. An efficient polymer molecular sieve for membrane gas separations / M. Carta [et al.] // Science. – 2013. – № 339(6117). – P. 303–307.
11. Removal of small hydrocarbons (ethane, propane, butane) from natural gas streams using the ionic liquid 1-ethyl-3-methylimidazolium tris(pentafluoroethyl)trifluorophosphate / M. Althuluth [et al.] // The Journal of Supercritical Fluids. – 2014. – № 90. – C. 65–72.
12. Baker R.W., Lokhandwala K. Natural gas processing with membranes: an overview // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 2008. – № 47. – P. 2109–2121.



УДК 621.9.06-229.3.001.63

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ СТАНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ОПИСАНИЯ

FORMATION OF AN ELECTRONIC LIBRARY OF MACHINE ELEMENTS BASED ON THE FORMATION OF INFORMATION MODELS OF DESCRIPTION

Гололобов Денис Владимирович
старший преподаватель, РГУ (НИУ) нефти и газа
им. И.М. Губкина
dgololobov@mail.ru

Gololobov Dennis Vladimirovich
Senior Lecturer,
Russian State University of Oil and Gas
(NRU) named after I. M. Gubkin
dgololobov@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы формирования электронного справочника деталей станочных приспособлений на основе построения информационных моделей описания порядка построения элементов. Также подводятся итоги проведенных для этой цели экспериментов с последующим получением содержания оптимального описания стандартизованных элементов станочных приспособлений.

Annotation. The article discusses the issues of forming an electronic directory of machine tool parts based on the construction of information models describing the order of construction of elements. The results of experiments conducted for this purpose are also summarized, followed by obtaining the content of an optimal description of standardized elements of machine tools.

Ключевые слова: стандартные детали технологической оснастки, механическая обработка, информационная модель, программирование, Phyton, Autolisp.

Keywords: standard tooling parts, machining, information model, programming, Phyton, Autolisp.

Большую роль в машиностроительных производствах разного направления имеют процессы решения проектных задач. Целью такого вида задач является разработка документации различного назначения. Для автоматизации процесса проектирования технологической оснастки для механической обработки деталей разрабатывались различные методы и подходы. Основной задачей при автоматизации процесса проектирования можно считать описание элементов (деталей оснастки) с последующим их объединением в сборочную единицу. Решение поставленной задачи может также решить задачу формирования базы элементов (деталей) составляющих оснастку с последующим их использованием в решении новых проектных задач.

Решение задачи описания элементов оснастки велась путем формирования информационной модели используя стандартизованные детали, параметры которых описаны в соответствующих стандартах. Далее модель подвергалась программной обработке и осуществлялся перевод данных описания модели в формат языка AutoLISP для последующего отображения объекта построения в AutoCAD.

На начальном этапе описание модели велось на простом уровне с использованием средств табличного представления данных в MS Excel. Модель представляла собой таблицу описания рассчитанных координат точек элемента построения, в соответствии с заданными параметрами описания элемента в стандарте, а также описания примитивов, соединяющих эти узловые точки между собой (рис.1.).

линия	0	0	0	16
линия	32	0	32	16
линия	0	0	32	0
линия	0	16	32	16
линия	6	-5	6	21
линия	26	-5	26	21
линия	-5	11	37	11
линия	-5	3,5	37	3,5
ОКРУЖНОСТЬ	26	3,5	2	
ОКРУЖНОСТЬ	26	3,5	2,15	
ОКРУЖНОСТЬ	6	11	2	
ОКРУЖНОСТЬ	6	11	2,15	
ОКРУЖНОСТЬ	26	11	2,25	
ОКРУЖНОСТЬ	26	11	2,75	
ОКРУЖНОСТЬ	6	3,5	2,25	
ОКРУЖНОСТЬ	6	3,5	2,75	

Рисунок 1 – Фрагмент описания информационной модели детали в электронной таблице в начальном исполнении



Данный метод является самым простым для представления описания элемента оснастки, но имеет ряд недостатков [1]. К ним можно отнести множественные расчеты однотипных параметров, а так же получение статичной модели описания объекта, т.е. только с одними параметрами элемента, что в дальнейшем будет сужать круг решаемых задач.

Более усовершенствованным методом описания информационной модели элемента был выбран метод описания каждой отдельной координаты узловой точки по каждому направлению плоскости построения (рис. 2).

Расчет положения линий уровня построения:

Искомое	Значение	Расчет
Uy2	10	Uy1+10

Рисунок 2 – Пример формирования координатного значения точки по направлению оси у плоскости построения (в колонке «Значение» средствами Excel, формула расчета положения)

Далее узловые точки описывались с помощью этих координатных значений путем присваивания узловой точки положения координаты в виде соответствующей переменной (рис. 3).

Описываем координаты точек через положение на линиях уровня фронтальная проекц.:

Точка	Коор X	Коор Y
PT1	Ux1	Uy1

Рисунок 3 – Пример описания положения узловой точки построения через переменные координатного положения

На основании полученных данных о положении узловых точек на чертеже формируется описание примитивов в виде типа примитива и узловыми точками в виде переменных (рис. 4).

Описываем отношения между точками через примитивы

Примитив	Параметры	
ЛИНИЯ	PT2	PT3

Рисунок 4 – Пример описания типа примитива между узловыми точками

Как видно из рисунка 2, координатное значение точки формируется формульным методом и расчетное значение будет зависимо от значений исходных параметров выбранного типоразмера элемента. С учетом выбранного типоразмера модель, по заложенным расчетным формулам пересчитывает новые значения и программа перевода модели на язык AutoLISP уже получает требуемые значения. Данный метод представления модели уже дает предпосылки для параметризации изображения элемента из параметров выбранного типоразмера элемента. К недостатку можно отнести трудоемкость описания и повторяемость расчетных переменных координат для точек, которые могут лежать на одном уровне в плоскости построения [2].

Для упрощения и обобщения данной модели был выбран третий метод, в основу которого было принято описание не отдельных положений точек, а положение координатных линий уровня, на которых расположены узловые точки построения (рис. 5).

В этом случае количество расчетов сокращается, и сохраняется условие параметризации модели, т.е. в зависимости от выбранного типоразмера [3]. При этом также следует отметить, что при расчете положений линий уровня было заложено значение для $x1 = 0$ и $y1 = 0$, а все последующие формульные зависимости следующих линий уровня расчетно-зависимы с этими переменными. Построение элемента и расчет его информационной модели ведется в собственной координатной системе. Точка построения, которая одновременно связана с обеими переменными $x1$ и $y1$ будет являться управляющей точкой построения при использовании элемента в сборочной схеме (сборочном чертеже). Сборочный чертеж будет строиться в собственной системе координат, а управление положением элемента в общей сборке будет осуществляться по средством присвоения переменным положения точки в собственной системе координат значения в системе координат сборки с последующим пересчетом значений положений линий уровня элемента в систему координат сборочного чертежа.

Такой подход в целом упростил порядок описания элемента для его построения на чертеже, сохранил возможность параметризации объекта под решаемую задачу и определил вид информации для описания объекта (детали) в информационной библиотеке элементов.

Таким образом для составления библиотеки станочных элементов в содержании описания элемента необходимы следующие информационные составляющие:

1. Строку состояния выбранных параметров элемента для расчета информационной модели элемента.



призма	x1	0	0
	x2	5	$x1+(A-B)/2-d/2-0,5$
	x3	5,5	$x1+(A-B)/2-d/2$
	x4	10	$x1+(A-B)/2$
	x5	14,5	$x1+(A-B)/2+d/2$
	x6	15	$x1+(A-B)/2+d/2+0,5$
	x7	19	$x1+(B-B1)/2$
	x8	29	$x1+(B-b)/2$
	x9	41	$x1+(B+b)/2$
	x10	51	$x1+(B+B1)/2$
	x11	55,5	$x1+B/2+A/2-d2/2-c$
	x12	57	$x1+B/2+A/2-d2/2$
	x13	60	$x1+B/2+A/2$
	x14	63	$x1+B/2+A/2+d2/2$
	x15	64,5	$x1+B/2-A/2+A+d2/2+c$
	x16	70	$x1+B$
	y1	0	0
	y2	11	$y1+L-h1$
	y3	17	$y1+L-h1+b/2$
	y4	20	$y1+L-5$

Рисунок 5 – Создание расчетных зависимостей для определения положения линий уровня положения узловых точек (показано фрагментарно)

2. Информационная часть модели описания элемента.

3. Описание узловых точек элемента через переменные уровня и описание примитивов связи узловых точек.

При этом содержание пункта три связано с использованием переменных для описания узловых точек построения и описания примитивов, поэтому данная информация при описании элемента является постоянной для всех типоразмеров элемента. Переменными состояниями являются начальные параметры размеров выбранного типоразмера элемента и как следствие пересчет положений линий уровня. Чтобы организовать связь для первого и второго пункта описания при расчете положений линий уровня в описании в формулы описания положений линий уровня закладываются ячейки из строки состояния. При этом начальная линия уровня описывается нулевым значением и все остальные линии уровня описываются по отношению к нулевым линиям по двум направлениям построения (рис. 6).

Исходные данные расчета параметров:									
Обознач.	B	L	H	l	s	gp	lw	масса	b2*
7081-0261	100	200	18	55	14	20	3	2,38	5
Расчет линий уровня:									
x1	0								
x2	20 x1+20								
x3	25 x1+20+b2*								

Рисунок 6 – Строка состояния данных расчета модели и расчет положения линий уровня (фрагмент описания)

Как видно из рис.6 в строку состояния вносятся данные для расчета положения линий уровня. При описании линий уровня, линия уровня по оси X, которая является начальной при расчете положений x1 выбрана в качестве начальной точки отсчета в системе координат элемента и ее значение было начально взято в качестве нулевого. Все последующие положения линий уровня формульно зависимы от положения x1. На примере положения линии уровня x3 можно видеть формульную связь от строки состояния по параметру b2* (рис. 7).

Исходные данные расчета параметров:									
Обознач.	B	L	H	l	s	gp	lw	масса	b2*
7081-0261	100	200	18	55	14	20	3	2,38	5
Расчет линий уровня:									
x1	0								
x2	20 x1+20								
x3	=H51+20+P49								

Рисунок 7 – Формульное содержание ячейки значения для расчета значения положения линии уровня x3



Таким образом при подстановки новых значений в строку состояния Excel будет автоматически пересчитывать значение при решении задач с разными типоразмерами элемента. Стоит также отметить, что содержание значение в линии уровня x_1 выбраны только для формирования построения отдельного элемента. Но выделенное значение положения x_1 позволяет управлять положением элемента с последующем пересчетом всех остальных линий уровня при использовании элемента в системе координат сборочной единицы, т.е. в дальнейшем позволит управлять положением элемента в сборочной единицы по средством формирования положений отдельных элементов через точки начальных положений построения начальных линий уровня элемента.

Результатом проведенных экспериментов можно считать возможность описание элемента технологической оснастки средствами MS Excel в интуитивно понятной форме, обобщение и оптимизация формирования модели описания элемента технологической оснастки с последующей обработкой данных полученных в виде электронного справочника элементов оснастки в построении сборочных чертежей приспособления по задаваемым параметрам решаемой задачи проектирования.

Список литературы:

1. Гололобов Д.В. Подготовка данных и описание деталей технологической оснастки при автоматизации процесса проектирования // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 2. – С. 157–162.
2. Гололобов Д.В. Динамическая модель описание деталей при проектировании технологической оснастки для механической обработки // XV Всероссийская конференция с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации» (МТИ – 2022). – 2022. – С. 100–105.
3. Гололобов Д.В. Моделирование процесса описания соединений в конструкциях приспособлений для механической обработки деталей // Технические и технологические системы «ТТС-22». – 2022. – С. 133–138.

List of references:

1. Gololobov D.V. Data preparation and description of parts of technological equipment in the automatization of the design process // Bulatov readings. – 2022. – V. 2. – P. 157–162.
2. Gololobov D.V. Dynamic model of the description of parts in the design of technological equipment for machining // XV All-Russian Conference with international participation «Machine-building: Traditions and Innovations» (MTI – 2022). – 2022. – P. 100–105.
3. Gololobov D.V. Modeling of Joints Description in Designs of Devices for Machining // Technical and Technological Systems «TTS-22». – 2022. – P. 133–138.



УДК 622.276: 69.051

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОЦЕМЕНТОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТОВ И ОСНОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF NANOCEMENTS FOR LAYING FOUNDATIONS AND FOOTINGS OF OIL AND GAS FACILITIES

Исмагилова Эльвира Римовна

кандидат технических наук,
магистр нефтегазового дела (Великобритания),
ведущий научный сотрудник управления научных исследований и стратегических разработок,
ООО «Научно-исследовательский и проектный институт Уфимского государственного нефтяного технического университета»
ismagilova_ER@npiugntu.ru

Бикбау Марсель Янович

доктор химических наук, академик РАН,
Генеральный директор,
ООО «Международный институт материаловедения и эффективных технологий»

Аннотация. Добыча нефти, попутного нефтяного и природного газа ведется на нефтяных и газовых промыслах, представляющих собой сложный технологический комплекс, включающий также сбор, подготовку и транспорт углеводородной продукции. Строительство объектов нефтегазовой инфраструктуры сопровождается многочисленными специфическими условиями, которые важно учесть на этапе планирования проекта. При проектировании объектов и сооружений, обеспечивающих основные технологические процессы при обустройстве месторождений системами сбора, транспорта и подготовки нефти, нефтяного газа и пластовых вод, а также систем хранения нефтепродуктов, необходимо предусматривать внедрение прогрессивных научно-технических решений, предусматривающих рациональное использование природных ресурсов и экономное расходование материальных, топливно-энергетических и трудовых ресурсов.

Ключевые слова: объекты нефтегазового промысла, обустройство месторождений, многолетнемерзлые породы, фундамент, наноцемент.

Ismagilova Elvira Rimovna

PhD, MSc (UK)
Leading research associate
of the Department of Research
and Strategic Development,
LLC «Research and Design Institute
of the Ufa State Petroleum
Technological University»
ismagilova_ER@npiugntu.ru

Bikbau Marcel Janovich

Grand PhD, academician
of the Russian Academy of Natural Sciences,
General Director,
LLC «International Institute of Materials
Science and Efficient Technologies»

Annotation. The extraction of oil, associated oil and natural gas is carried out in oil and gas fields, which are sophisticated technological complex, designed to collect, prepare and transport the hydrocarbon products. The construction of oil and gas infrastructure facilities is accompanied by numerous specific conditions that are important to take into account at the project planning stage. During designing facilities and structures, which provide the main technological processes in the development of fields with systems for collecting, transporting and treating oil, petroleum gas and formation waters, as well as storage systems for petroleum products, it is necessary to provide for the introduction of progressive scientific and technical solutions, envisaging the rational use of natural resources and economical spending material, fuel and energy as well as labor resources.

Keywords: oil and gas facilities, field development, permafrost, foundation, nanocement.

Нефтегазовая отрасль является одной из основополагающих отраслей, входящих в состав топливно-энергетического комплекса, являющегося основой экономики Российской Федерации. Она определяет объемы строительства объектов нефтегазовой инфраструктуры в зависимости от количества добываемых и потребляемых углеводородных ресурсов. Так, для добычи нефти и газа создается комплекс территориально разобщенных производственных сооружений, которые взаимосвязаны между собой системами трубопроводов, энергопередач и организацией работы.

Объекты технологической системы подразделяются на три основные группы, объединяющие сооружения по функциональному признаку: добывающие, перерабатывающие и транспортные. Ключевым объектом в добывающем узле технологической системы является центральный пункт сбора (ЦПС), представляющий собой комплекс сооружений, обеспечивающих последовательное проведение непрерывных, взаимозависимых технологических процессов по приему, подготовке и транспортированию нефти, газа и воды. Целесообразность размещения элементов комплекса на месторождении (УПН, пунктов сбора нефти и газа (ПС), ДНС, УПС, СУ, КНС, БКНС, КС, УПГ и др.) в каждом конкретном случае определяется технико-экономическими расчетами. При этом следует отметить, что во время строительства комплексов обустройства северных месторождений возникают специфические



сложности, связанные, во-первых, с удаленностью от промышленно развитых центров, во-вторых, с суровыми климатическими, ландшафтно-географическими и геологическими условиями, из-за которых затрудняется всесезонный доступ тяжелой техники, тем самым осложняются и увеличиваются в сроках ведения строительно-монтажные работы [1].

Применение типовых технологических модулей заводского изготовления и обеспечение их блочно-комплектной поставки является спасительным решением, ускоряющим проведение подготовительно-монтажных работ, проводимых непосредственно на площадке строительства. Однако наличие в геологическом разрезе северных месторождений многолетнемерзлых пород, а как следствие – пучинистых и просадочных грунтов, диктует закладку технологически выверенной конструкции фундамента и соответствующего устройства основания, отвечающих требованиям безопасной и длительной эксплуатации объектов на всем протяжении срока их службы. Меры по эффективной оптимизации строительно-монтажных работ должны включать применение экологически и экономически оправданных материалов, а также наукоемких технологий, доступных в условиях удаленности.

Основные производственные помещения, располагающие технологическое оборудование, а также вспомогательные постройки в виде объектов, зданий и сооружений с постоянным пребыванием в них обслуживающего персонала, а также блоки мелкого ремонта и хранения инвентаря и др. чаще всего являются стальными каркасными сооружениями, позволяющими выдерживать сравнительно небольшие нагрузки на фундаменты в виде перекрытий, стен, ветровых, снеговых и др. нагрузок.

Стальные вертикальные резервуары (РВС) предназначены для хранения нефти и нефтепродуктов, сжиженных газов, а также запасов воды для хозяйственных, производственных противопожарных нужд. РВС производятся со сварной или рулонной стенкой, передающей нагрузки от хранения жидкости на несущее фундаментное кольцо.

Помещения для тяжелого оборудования (котельные, компрессорные станции и т.д.) имеют блочно-комплектное исполнение. Нагрузки от такого бокса и установленного в нем оборудования передаются через опорные части днища на фундаментную конструкцию. Вне зависимости от объектов нефтегазовой инфраструктуры все существующие технические решения, направленные на обеспечение устойчивости оснований зданий и сооружений, соответствуют условиям [2], и практически всегда выполняются в свайном варианте. Сваи, при заглублении ниже кровли вечной мерзлоты, передают нагрузку на устойчивый, несжимаемый твердомерзлый грунт, являющийся прочным основанием для сооружения. Однако при обнаружении пластично мерзлых грунтов, не обладающих достаточной способностью для восприятия нагрузок от сооружений, приходится обращаться к дополнительным мерам по сохранению устойчивости оснований. Так, возможно прибегать к охлаждению грунтов при помощи установок сезонного и круглогодичного действия, однако в случае выхода охлаждающего оборудования из строя во время эксплуатации нефтегазовых объектов, неминуемо растепление вечномерзлых грунтов и возникновение просадочных явлений, в результате чего сооружения приходят в аварийное состояние.

Цемент – основной и универсальный строительный материал, применяемый на многих площадках строительства. При возведении наземных объектов обустройства месторождений цемент в том числе применяется в качестве заполнителя в бетонные конструкции и смеси для заполнения полых металлических свай [3].

Следует отметить, что цементный раствор на площадке строительства нефтегазовых объектов имеет различные назначения: в одном случае применяется при изготовлении бетона для фундаментов под некоторое технологическое оборудование, отбортование площадок, в другом – для заполнения свай. Однако широкое применение бетонных конструкций на объектах обустройства месторождений ограничено из-за сложности поставки готовых железобетонных изделий и цементного раствора с заводов, находящихся в центральной части страны. В связи с чем основным материалом фундаментных конструкций является сталь.

При этом свайное основание имеет ряд недостатков, таких как: дороговизна и высокая трудоемкость строительно-монтажных работ, сравнительно невысокая несущая способность по грунту и подверженность почвенной коррозии и т.д. – диктуют необходимость в поиске новых технологических решений по обустройству фундаментов и оснований. Одним из альтернативных способов крепления оснований является разработка материалов и технологий для сооружения малозаглубленных и поверхностных фундаментов [4].

Применение модифицированных портландцементов в производстве бетонов нового поколения, позволит добиться значительно улучшенных строительно-технических свойств материалов для устройства фундаментов объектов нефтегазового промысла. Так, составы бетонных смесей на основе наноцемента, разработанные ООО «Международный ИМЭТ», обладают существенно высокой долговечностью, прочностью до 57,6 МПа, морозостойкостью до 300 и т.д. [5].

В научной основе технологии получения наноцемента лежит открытие «Явления нанокапсуляции дисперсных веществ», которое определило новый научный подход к производству различных композиционных дисперсных материалов с наделением их выгодно отличающимися от первоначальных свойствами.



Суть технологии наноцементов заключается в совершенствовании последней стадии производства портландцемента введением полимерного модификатора при помоле клинкера совместно с минеральными добавками (до 70 % масс.) в широко применяемых шаровых мельницах цементных заводов без каких-либо изменений в оборудовании линий помола. В результате, так называемой, наномодификации портландцемента формируется дисперсный композит 400–600 м²/кг, характеризующийся наличием сплошной капсулы с толщиной стенок 30–100 нм, которая представляет собой структурированное полимерное вещество, оболочивающее зерна портландцемента.

Стоит отметить, что применение технологии наномодификации портландцементов позволяет не только радикально повысить классы прочности цемента, но и снизить в нем количество дорогого цементного клинкера, а значит в целом снизить удельные топливные затраты и выбросы CO₂, SO₂ и NOX на тонну цемента за счет замены содержания портландцементного клинкера в наноцементных на природный кварцевый строительный песок или металлургические шлаки, измельчаемые вместе с портландцементом до высокой дисперсности, что способствует активному формированию структуры цементного камня и как следствие обеспечивает высокие строительно-технические свойства бетонов.

Опыт применения цементов, приготовленных по технологии наномодификации, уже продемонстрировал заявленную высокую эффективность материала, применявшегося для строительства объектов, предназначенных для утилизации шлаков и зол, обезвреживания и захоронения высокотоксичных отходов и создания хранилищ радиоактивных и ядерных отходов. В связи с выше заявленным, данная технология имеет блестящие перспективы для ее адаптации к технологиям строительства объектов нефтегазового промысла, в частности – к устройству оснований и фундаментов зданий и сооружений.

Список литературы:

1. Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных месторождений ВНТП 3-85.
2. СНиП 2.02.04-88 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах».
3. СП 24.13330.2021.
4. Минкин М.А., Потапова О.А. Особенности обустройства северных нефтяных и газовых месторождений России и основания и фундаменты зданий и сооружений объектов обустройства // Вестник МГСУ. – 2006. – № 1. – С. 180–187.
5. Комплексный подход к быстрому восстановлению разрушенных зданий и сооружений – вклад в развитие экономики замкнутого цикла / М.Я. Бикбау [и др.] // Технологии интеллектуального строительства. – 2022. – № 3. – С. 12–22.
6. Бикбау М.Я. Открытие явления нанокапсуляции дисперсных веществ: суть и значение // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – № 10. – С. 14–19.

List of references:

1. Standards for technological design of facilities for collection, transport, treatment of oil, gas and water of oil fields VNTP 3-85.
2. BN&R 2.02.04-88 «Foundations and footings on permafrost soils».
3. BR 24.13330.2021.
4. Minkin M.A., Potapova O.A. Peculiarities of development of northern oil and gas fields of Russia and foundations of buildings and structures of development facilities // Vestnik MSCU. – 2006. – № 1. – P. 180–187.
5. Complex approach to the fast restoration of the wrecked buildings and constructions – a contribution to the development of the economy of the closed cycle / M.Y. Bikbau [et al.] // Technologies of the intellectual building. – 2022. – № 3. – P. 12–22.
6. Bikbau M.Y. Discovery of the phenomenon of nanocapsulation of dispersed substances: the essence and significance // Building materials, equipment, technologies of the XXI century. – 2012. – № 10. – P. 14–19.



УДК 661.66-9

ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ НАКИПИ В ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯХ

THE INFLUENCE OF THE MAGNETIC FIELD ON THE PROCESS OF SCALE FORMATION IN WATER HEATERS

Исмаилов Ойбек Юлибоевич

доктор философии по техничеким наукам (PhD),
Институт общей и неорганической химии АНРУз,
г. Ташкент
ismoilovnmpi@mail.ru

Исмоилов Мирзаакбар Хамидович

базовый докторант,
Наманганский инженерно-технологический институт
imirzaakbar@gmail.com

Аннотация. В статье приведены результаты эксперимента, изучение осаждения отложений минеральных солей на поверхности нагревательного элемента в водонагревательном котле под действием магнитного поля. Количество отложений минеральных солей, оседающих на поверхности нагревательного элемента водогрейного котла, с использованием магнитного поля может быть уменьшено до 5,2 раз.

Ключевые слова: нагревательные устройства, постоянный магнит, осадок, водонагревательный котел, минеральные накипи, тепловой КПД.

Ismailov Oybek Yuliboevich

Doctor of Philosophy in Technical
Sciences (PhD),
Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Academy of Sciences of Uzbekistan,
Tashkent
ismoilovnmpi@mail.ru

Ismoilov Mirzaakbar Hamidovich

Basic Doctoral Student,
Namangan Institute of Engineering
and Technology
imirzaakbar@gmail.com

Annotation. The article presents the results of an experiment, the study of the deposition of mineral salt deposits on the surface of a heating element in a water heating boiler under the influence of a magnetic field. The amount of mineral salt deposits deposited on the surface of the heating element of a hot water boiler using a magnetic field can be reduced up to 5.2 times.

Keywords: heating devices, permanent magnet, sediment, water heating boiler, mineral scale, thermal efficiency.

Процесс образования осадка в тепловых установках формируется в течение определенного периода времени. В результате низкой скорости течения в трубе, длительного воздействия на сырье и высоких температур процесс образования минеральных накипов на поверхностях устройства ускоряется. Увеличение толщины осадка с меньшей теплопроводностью со временем приводит к уменьшению внутреннего диаметра труб устройства [1]. В результате поток жидкости становится труднее проходить, гидравлическое сопротивление трубы увеличивается, и в то же время тепловой КПД устройства снижается из-за снижения коэффициента теплопередачи [2].

Установлено, что потери тепла в теплообменниках составляют по норме $2 \div 8 \%$, тогда как в процессе образования накипи этот показатель достигает 60% [3]. Для обеспечения нормальной работы тепловых приборов важен правильный выбор режима технологических потоков, при этом более высокие параметры режима потока препятствуют образованию на внутренней поверхности труб отложений минеральных накипи, которые образуются при повышении минералов в сырье и высоких температурах [4].

Одним из современных способов предотвращения образования осадка в тепловых приборах является обработка воды с помощью магнитов. В результате магнитной обработки воды растворенные в воде ионы кальция, кремния и магния теряют свойство образовывать соли на сорбционных поверхностях. В результате нерастворимые соли находятся в взвешенном состоянии, и образовавшийся на поверхности осадочный слой постепенно уменьшается [5].

В результате движения воды по трубе через магнитное поле на нее действует сила Лоренца [5]:

$$F_n = Q(V \cdot B),$$

где Q – ионный заряд; V – скорость; B – индукционный магнит.

Вода, движущая через устройство, проходит через магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом. При этом под действием силы Лоренца молекулы воды начинают колебаться при движении. Магниты, встроенные в водный путь, создают резонанс в воде.

В результате обработки воды под действием магнитного поля в холодной воде нарушается структура воды, а примеси, содержащие ионы кальция и магния, соединяются с другими примесями, образуя центр кристаллизации и микро кристаллизации. Этот процесс представляет собой цепную



реакцию, при которой при нагревании ионы кальция и магния не осаждаются с образованием микрокристаллов в трубопроводах и системах отопления.

Микрокристаллы образуют легкий моющий осадки в воде после нагревания и обычно накапливаются в специальных агрегатных барьерах. Со временем на поверхности трубы образуется защитный слой оксидной пленки, защищающий от коррозии устройств и трубы.

Влияние силы магнитного поля на движение ионов кальция и магния в воде представлено на рисунке.



Рисунок – Влияние силы магнитного поля на движение ионов кальция и магния в воде

На основании вышеизложенных данных в лаборатории «Процессы и аппараты химической технологии» Института общей и неорганической химии АН РУз подготовлен прибор для изучения влияния магнитного поля на процесс образования накипи на внешней поверхности нагревательного элемента тепловых приборов [6].

Результаты исследования влияния магнитного поля на накопление минеральных отложений на поверхности нагревательного элемента отопительного котла приведены в таблице.

Таблица – Влияние постоянного магнитного поля на образование накипи на поверхности нагревательного элемента

№	Продолжительность времени работы прибора, суток	Поверхность нагревательного устройства, см ²	Количество осадков, образующихся при нагревании без магнитного поля, г	Количество осадков, образующихся при нагревании под действием магнитного поля, г
1	30	176	1,07	0,21
2	60	176	2,95	0,58
3	90	176	5,34	1,02
4	120	176	7,68	1,46

Объем обоих котлов отопления на линии опытной установки составляет 15 л. В нее устанавливается автоматический терморегулирующий нагреватель (ТЭН) мощностью 2 кВт/ч каждый с площадью поверхности нагрева 0,0176 м². Продолжительность нагрева 30 ÷ 120 дней. Масса осадка, образовавшегося в первом водогрейном котле без установленного постоянного магнитного поля, составила 1,07 г. Масса минерального осадка достигла 2,95 г, когда продолжительность рабочего времени достигла 60 дней, а масса минерального накипи достигла 5,34 г, когда время работы нагревателя достигло 90 дней. Масса накипи, образующаяся на поверхности нагревателя при 120 дней работы прибора, достигло 7,68 г. Под воздействием постоянного магнитного поля в нагревательном котле образуется минерального осадка с массой 0,21 г, при достижении прибором рабочего времени 30 дней, масса накипи, накопленной при продолжительности работы 60 дней, 0,58 г, масса, накопленная в приборе при работе отопительного прибора 90 дней, составила 1,02 г, а 120 дней 1,46 г.

Движущая вода через постоянное магнитное поле в нагревательных устройствах, используемых в пищевой промышленности, соединения, удерживающие ионы кальция и магния в воде, объединяются, образуя центр кристаллизации и микрокристаллизации. В результате предотвращается образование минеральных накипов, и не используются химические реагенты с высокой стоимостью. Тепловая эффективность устройств достигается за счет возможности стабильной работоспособности аппарата.

Образование накипи под действием магнитного поля уменьшается в среднем в 5 раз до повышения температуры воды на 70 оС. Однако повышение температуры от 90оС скорость образования накипе постипенно повышается.

Список литературы:

1. Колесников В.А., Нечаев Ю.Г. Теплосиловие хозяйство сахарных заводов. – М. : Пищевая промышленность, 1980. – 392 с.
2. Исмаилов О.Ю., Худойбердиев А.А., Хурмаматов А.М. Исследование зависимости коэффициента теплопередачи от толщины накипи и режима движения нагреваемой нефтегазоконденсатной



смеси в горизонтальной трубе // Научно-технический журнал «Нефтепереработка и нефтехимия». – М., 2017. – № 2. – С. 42–45.

3. Исмаилов О.Ю., Рамонов Т.З. Изучение условия образования отложений в трубах теплообменных аппаратах // Научно-технический журнал, «Химическая промышленность». – Санкт-Петербург, 2017. – № 2 – С. 74–78.

4. Федоткин И.М., Липсман В.С. Интенсификация теплообмена в аппаратах пищевых производств. – М. : Пищевая промышленность, 1972. – 240 с.

5. Костылева С.С., Джумабаев Х.К., Тюсенков А.С. Влияние электрохимической активации воды на солеотложение // Нефтегазовое дело. – 2018. – Т. 16. – № 4. – С. 89–95.

6. Исмаилов О.Ю., Хурмаматов А.М., Исмаилов М.Х. Исследования влияния магнитного поля на процесс образования накипи в тепловых устройствах // Узбекский химический журнал. – 2022. – № 6. – С. 52–57.

List of references:

1. Kolesnikov V.A., Nechaev Y.G. Heat and power facilities of sugar factories. – M. : Food Industry, 1980. – 392 p.

2. Ismailov O.Y., Khudoyberdiev A.A., Khurmatov A.M. Research of dependence of the heat transfer coefficient on the thickness of the scale and the mode of movement of the heated oil–gas condensate mixture in the horizontal pipe // Scientific and Technical Journal «Oil Refining and Petrochemistry». – M., 2017. – № 2. – P. 42–45.

3. Ismailov O.Y., Ramonov T.Z. The study of the condition of formation of deposits in the pipes of heat–exchange apparatuses // Scientific and Technical Journal «Chemical Industry». – St. Petersburg, 2017. – № 2 – P. 74–78.

4. Fedotkin I.M., Lipsman V.S. Intensification of heat exchange in apparatuses of food production. – M. : Food Industry, 1972. – 240 p.

5. Kostyleva S.S., Dzhumabaev Kh.K., Tyusenkov A.S. Effect of electrochemical activation of water on salt deposition // Oil and Gas Business. – 2018. – V. 16. – № 4. – P. 89–95.

6. Ismailov O.Y., Khurmamatov A.M., Ismoilov M.H. Studies of the influence of a magnetic field on the process of scale formation in thermal devices // Uzbek Chemical Journal. – 2022. – № 6. – P. 52–57.



УДК 621.791.923

**РАЗРАБОТКА НАПЛАВОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ СПЛАВА СИСТЕМЫ AL-SN-CU ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**DEVELOPMENT OF SURFACING COMPOSITE MATERIALS BASED
ON AN AL-SN-CU SYSTEM ALLOY FOR THE FORMATION
OF ANTI-FRICTION COATINGS FOR FRICTION UNITS OF CRITICAL EQUIPMENT
IN OIL AND GAS INDUSTRY**

Михеев Роман Сергеевич

доктор технических наук,
профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики»,
Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский
университет)
mikheev.roman@mail.ru

Калашников Игорь Евгеньевич

доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник «Лаборатории прочности
и пластичности металлических и композиционных
материалов и наноматериалов (№ 10)»,
Институт металлургии и материаловедения
имени А.А. Байкова Российской академии наук
kalash2605@mail.ru

Быков Павел Андреевич

научный сотрудник «Лаборатории прочности и пластичности
металлических и композиционных материалов
и наноматериалов (№ 10)»,
Институт металлургии и материаловедения
имени А.А. Байкова Российской академии наук
pavel_imet@mail.ru

Кобелева Любовь Ивановна

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник «Лаборатории прочности
и пластичности металлических и композиционных материалов
и наноматериалов (№ 10)»,
Институт металлургии и материаловедения
имени А.А. Байкова Российской академии наук
likob@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе разработана технология изготовления наплавочных композиционных материалов на основе сплава системы Al-Sn-Cu (марка АО6-1), содержащего в качестве наполнителя частицы орторомбической фазы (Ti_2NbAl) в количестве 10 мас. %, в форме стандартных прутков диаметром 3 мм. Показано, что установленные технологические параметры процесса экструзии позволяют исключить химическое взаимодействие между материалом матрицы и наполнителя на всех стадиях получения наплавочных материалов. Достигнутые результаты позволяют рекомендовать разработанные наплавочные материалы для формирования антифрикционных покрытий узлов трения ответственного оборудования нефтегазовой отрасли.

Mikheev Roman Sergeevich

Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department «Technologies
of welding and diagnostics»,
Bauman Moscow State Technical University
mikheev.roman@mail.ru

Kalashnikov Igor Evgenevich

Doctor of Technical Sciences,
Leading Researcher of the Laboratory
of Strength and Plasticity of Metallic
and Composite Materials and Nanomaterials
(No. 10),
Baikov Institute of Metallurgy and Materials
Science RAS
kalash2605@mail.ru

Bykov Pavel Andreevich

Researcher of the Laboratory of Strength
and Plasticity of Metallic and Composite
Materials and Nanomaterials (No. 10),
Baikov Institute of Metallurgy
and Materials Science RAS
pavel_imet@mail.ru

Kobeleva Lubov Ivanovna

PhD, Leading Researcher of the Laboratory
of Strength and Plasticity of Metallic
and Composite Materials and Nanomaterials
(No. 10),
Baikov Institute of Metallurgy and Materials
Science RAS
likob@mail.ru

Annotation. In the present work, a technology has been developed for the manufacture of filler composite materials based on an alloy of the Al-Sn-Cu system (mark AO6-1), containing particles of the orthorhombic phase (Ti_2NbAl) in an amount of 10 wt. %, in the form of standard rods with a diameter of 3 mm. It is shown that the established technological parameters of the extrusion process make it possible to exclude the chemical interaction between the matrix material and the reinforcements at all stages of obtaining surfacing materials. The achieved results make it possible to recommend the developed surfacing materials for the antifriction coatings formation for friction units of critical equipment in the oil and gas industry.



Ключевые слова: композиционные материалы, дуговая наплавка, наплавочные прутки, функционально организованные композиции.

Keywords: composite materials, arc surfacing, surfacing rods, functionally organized compositions.

На современном этапе развития нефтегазовой отрасли промышленности существует потребность в принципиально новых функциональных материалах. В частности, дальнейшее совершенствование за счет легирования или специальной обработки антифрикционных сплавов, применяемых в качестве рабочего слоя узлов трения ответственного оборудования, исчерпало себя и практически невозможно [1–3].

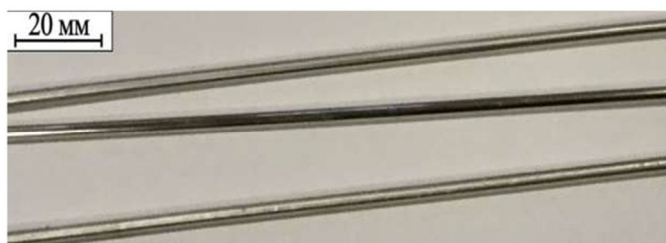
За последние годы значительные успехи достигнуты в разработке изотропных дисперсно-упрочненных композиционных материалов на основе алюминия, обладающих лучшим сочетанием триботехнических, механических и других свойств [4–6]. Однако, наибольший интерес представляет задача применения подобных композиционных материалов в качестве рабочих слоев в составе многослойных композиций с функционально-организованной структурой [6, 7]. Для решения такой важной задачи ключевое значение имеет разработка присадочных или наплавочных композиционных материалов, позволяющих применять для обеспечения функциональной организации слоев из подобных материалов экономичные и широко распространенные на практике дуговые процессы.

В настоящей работе для изготовления наплавочных композиционных материалов в форме прутков применяли процесс экструзии предварительно подготовленной порошковой смеси (рис. 1, а). Исходными компонентами при этом являлись порошок матричного сплава АО6-1 (6 % Sn, 1 % Cu, остальное – алюминий, ГОСТ 14113) и частицы орторомбической фазы (Ti2NbAl) средним размером не более 100 мкм, изготовленные в ООО «Метсинтез». Выбор в качестве матричного сплава системы Al-Sn-Cu обусловлен уровнем его внедрения и востребованности в нефтегазовой отрасли. В частности, условия его эксплуатации допускают сочетание следующих параметров: удельных давлений до 32 МПа, окружных скоростей до 20 м/с и температур нагрева окружающей среды до плюс 120°C в условиях смазки. Частицы орто-фазы характеризуются наибольшим уровнем металлической составляющей химической связи поскольку являются интерметаллидным соединением, что и определило их выбор для применения в качестве наполнителя [8, 9]. Изготовленные наплавочные прутки из композиционных материалов обладали диаметром 3,0 мм и длиной 350 мм (рис. 1, б), что соответствует требованиям к пруткам, предназначенным для наплавки износостойкого слоя на детали машин и оборудования, работающего в условиях воздействия абразивного изнашивания, ударных нагрузок, коррозии, эрозии при повышенных температурах или в агрессивных средах согласно ГОСТ 21449.

Матричный порошок фракцией (300–400) мкм изготавливали обработкой стружки литой заготовки из сплава АО6-1 в планетарной мельнице Retch PM100 при скорости вращения 300 об/мин в течение 1 ч. С целью обеспечения равномерности распределения частиц Ti2NbAl в матричном порошке предварительно подготовленные композиционные порошковые навески (масса 80 г) подвергали обработке в планетарной мельнице Retsch PM100. Перемешивание осуществляли в защитной среде аргона высшего сорта по ГОСТ 10157 на следующих режимах: скорость вращения 350 об/мин, длительность 15 мин.



а)



б)

Рисунок 1 – Внешний вид оснастки и оборудования для осуществления процесса экструзии (а), а также изготовленных наплавочных композиционных прутков (б)

Важно отметить, что предельная доля частиц наполнителя в изготавливаемых составах композиционных материалов 10 масс. %. В противном случае эксплуатация функционально-организованных композиционных слоев будет сопровождаться интенсивным изнашиванием сопряженных деталей конструкций. Кроме того, увеличение доли наполнителя в наплавочных композиционных материалах приводит к ухуд-



шению их технологических свойств, определяющих возможность формирования из них качественных наплавочных прутков, а также функционально-организованных композиционных слоев процессами наплавки.

Проведены исследования структуры и фазового состава изготовленных наплавочных прутков. Исследования проводили средствами оптической и электронной микроскопии, а также с применением метода энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. В частности, применяли оптический микроскоп Leika DMILM, укомплектованный программным комплексом Qwin для анализа изображений; растровые электронные микроскопы Zeiss 1540EsB и JEOL JSM-6000PLUS (NEOSCOPE II), оснащенные детекторами вторичных и обратно отраженных электронов, а также энергодисперсионной системой микроанализа. Важно отметить, что с целью обеспечения достоверности полученных результатов исследования структуры и фазового состава изготовленных наплавочных прутков расходуемых стержней проводили в разных областях по всему поперечному сечению.

Характерные изломы наплавочных прутков из композиционных материалов, изготовленных процессом экструзии, представлены на рисунке 2. Видно, что разрушение наплавочных прутков из композиционных материалов имеет типичный для дисперсно-наполненных композиционных материалов смешанный характер: в одном изломе сочетаются скольные фасетки межфазного разрушения и участки вязкого разрушения матрицы. При выходе армирующих частиц в плоскость излома на их поверхности видны отдельные островки матрицы, свидетельствующие о дискретной межфазной связи частиц с матрицей. Результаты анализа поверхностей излома наплавочных прутков из композиционных материалов на основе сплава системы Al-Sn-Cu свидетельствуют об отсутствии признаков деградации наполнителя и подтверждают его сохранение в составе прутков.

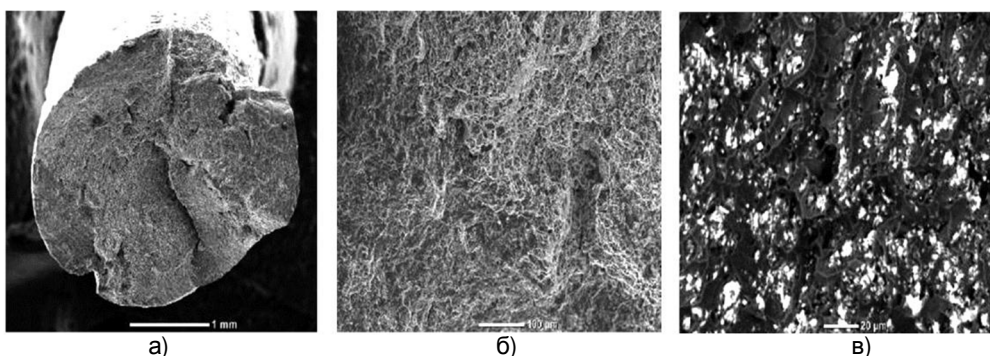


Рисунок 2 – Характерный вид изломов наплавочных прутков из композиционного материала состава АО6-1 + 10 % Ti₂NbAl (< 100) во вторичных (а, б) и обратно-отраженных электронах (в)

Результаты энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии поверхностей изготовленных процессом экструзии наплавочных прутков представлены на рисунке 3. Видно, что изготовленные наплавочные прутки сохраняют заданный код армирования, т.е. в их составе присутствуют частицы наполнителя. Кроме того, различие в количественных результатах поэлементного энергодисперсионного анализа в исследованных областях не превышает 3 %. Это позволяет считать состав изготовленных процессом экструзии наплавочных прутков однородным, а распределение частиц наполнителя удовлетворительным.

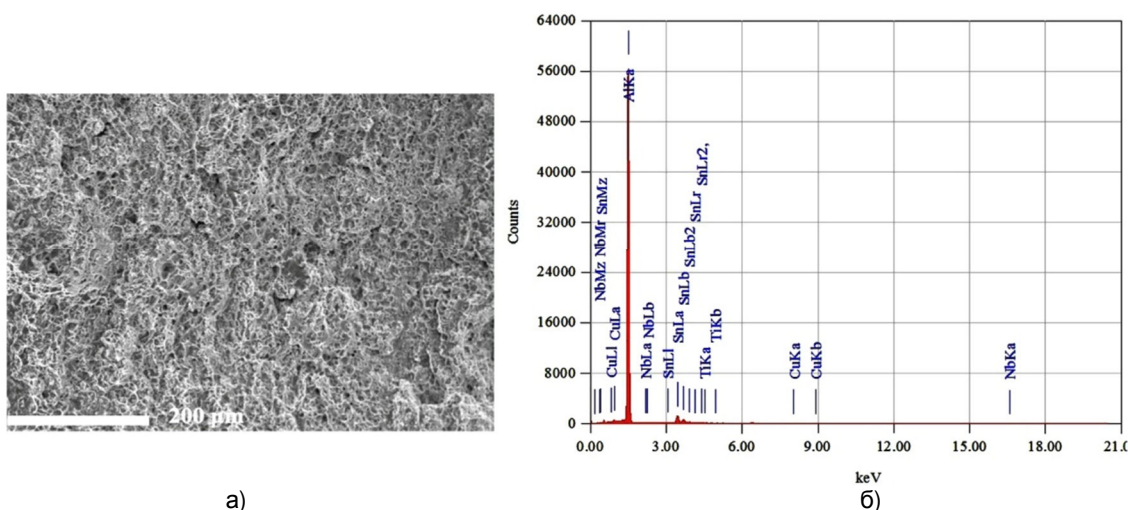


Рисунок 3 – Характерная поверхность излома (а) наплавочного прутка и соответствующие ей результаты спектрального анализа (б)



Таким образом, в настоящей работе разработана технология изготовления наплавочных композиционных материалов на основе сплава системы Al-Sn-Cu, содержащего в качестве наполнителя частицы орторомбической фазы (Ti_2NbAl) в количестве 10 мас. %, в форме стандартных прутков диаметром 3 мм. Установленные технологические параметры процесса экструзии позволяют исключить химическое взаимодействие между материалом матрицы и наполнителя на всех стадиях получения наплавочных материалов, что позволяет рекомендовать их для формирования антифрикционных покрытий узлов трения ответственного оборудования нефтегазовой отрасли.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00366, <https://rscf.ru/project/22-29-00366/>.

Список литературы:

1. Анализ трендов перспективных материалов для нефтегазовой отрасли / В.В. Жуков [и др.] // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2022. – Т. 7. – № 3. – С. 136–147.
2. Advance research progresses in aluminium matrix composites: manufacturing & applications / P. Garg [et. al.] // Journal of Materials Research and Technology. – 2019. – Vol. 8. – № 5. – P. 4924–4939.
3. Development and testing of Al-SiC and Al-TiC composite materials for application in friction units of oil production equipment / T.A. Chernyshova [et. al.] // Inorganic Materials: Applied Research. – 2011. – Vol. 2. – № 3. – P. 282–289.
4. Gill R.S., Samra P.S., Kumar A. Effect of different types of reinforcement on tribological properties of aluminium metal matrix composites (MMCs) – A review of recent studies // Materials Today. Proceedings. – 2022. – Vol. 56. – № 5. – P. 3094–3101.
5. Разработка функционально-организованных композиций для узлов трения центробежных насосов нефтегазовой отрасли / Р.С. Михеев [и др.] // Булатовские чтения. – 2022. Т. 2. – С. 198–200.
6. Zabihi A., Soltani R. Tribological properties of B4C reinforced aluminum composite coating produced by TIG re-melting of flame sprayed Al-Mg-B4C powder // Surface and Coating Technology. – 2018. – Vol. 15. – P. 707–718.
7. Mikheev R.S. Application of the friction surfacing process for the production of functional gradient layered composition // Journal of Physycs: Conference Series. – 2021. – Vol. 1990. – № 012036. – P. 1–6.
8. Исследование структуры и свойств композиционных покрытий системы SnSbCu-Ti2NbAl, сформированных на стальных подложках процессом дуговой наплавки / Г.П. Савицкий [и др.] // Металлы. – 2022. – № 5. – С. 50–56.
9. Оценка равномерности распределения частиц Ti_2NbAl в алюмоматричном композиционном материале / И.Е. Калашников [и др.] // Перспективные материалы. – 2022. – № 5. – С. 40–48.

List of references:

1. Trend analysis of promising materials for the oil and gas industry / V.V. Zhukov [et al.] // PRONEFT. Professionally about oil. – 2022. – V. 7. – № 3. – P. 136–147.
2. Advance research progresses in aluminum matrix composites: manufacturing & applications / P. Garg [et. al.] // Journal of Materials Research and Technology. – 2019. – V. 8. – № 5. – P. 4924–4939.
3. Development and testing of Al-SiC and Al-TiC composite materials for application in friction units of oil production equipment / T.A. Chernyshova [et. al.] // Inorganic Materials: Applied Research. – 2011. – V. 2. – № 3. – P. 282–289.
4. Gill R.S., Samra P.S., Kumar A. Effect of different types of reinforcement on tribological properties of aluminum metal matrix composites (MMCs) – A review of recent studies // Materials Today. Proceedings. – 2022. – Vol. 56. – № 5. – P. 3094–3101.
5. Development of functionally organized compositions for friction units of centrifugal pumps of oil and gas industry / R.S. Mikheev [et al.]. – 2022. – V. 2. – P. 198–200.
6. Zabihi A., Soltani R. Tribological properties of B4C reinforced aluminum composite coating produced by TIG re-melting of flame sprayed Al-Mg-B4C powder // Surface and Coating Technology. – 2018. – V. 15. – P. 707–718.
7. Mikheev R.S. Application of the friction surfacing process for the production of functional gradient layered composition // Journal of Physycs: Conference Series. – 2021. – V. 1990. – № 012036. – P. 1–6.
8. Study of structure and properties of composite coatings of SnSbCu-Ti2NbAl system, formed on steel substrates by arc cladding process / G.P. Savitsky [et al.] // Metallurgy. – 2022. – № 5. – P. 50–56.
9. Estimation of the uniformity of particles Ti_2NbAl distribution in aluminomatrix composite material / I.E. Kalashnikov [et al.] // Perspective materials. – 2022. – № 5. – P. 40–48.



УДК 662.6/.9

ВЛИЯНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО СИЛА НА ПРОЦЕСС КОНДЕНСАЦИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ПАРОВ

THE EFFECT OF CENTRIFUGAL FORCE ON THE PROCESS OF CONDENSATION OF HYDROCARBON VAPORS

Хурмаматов Абдугаффар Мирзабдуллаевич

доктор технических наук, профессор,
Институт общей и неорганической химии АНРУз,
г. Ташкент
gafuri_19805@mail.ru

Исмаилов Ойбек Юлибоевич

доктор философии по техническим наукам (PhD),
Институт общей и неорганической химии АНРУз,
г. Ташкент
ismoilovnmpi@mail.ru

Юсупов Рустам Атахамович

докторант-соискатель,
Институт общей и неорганической химии АНРУз,
г. Ташкент
gafuri_19805@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты проведенного эксперимента по изучению влияния центробежной силы на конденсацию паров газового конденсата.

Ключевые слова: газовый конденсат, центробежная сила, теплоотдача, коэффициент теплопередачи, количество передаваемого тепла.

Khurmamatov**Abdugaffar Mirzabdullayevich**

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Academy of Sciences of Uzbekistan,
Tashkent
gafuri_19805@mail.ru

Ismailov Oybek Yuliboevich

Doctor of Philosophy in Technical Sciences
(PhD),
Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Academy of Sciences of Uzbekistan,
Tashkent
ismoilovnmpi@mail.ru

Yusupov Rustam Athamovich

Doctoral candidate-applicant,
Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Academy of Sciences of Uzbekistan,
Tashkent
gafuri_19805@mail.ru

Annotation. The article presents the results of an experiment conducted to study the effect of centrifugal force on the condensation of gas condensate vapors.

Keywords: gas condensate, centrifugal force, heat transfer, heat transfer coefficient, amount of heat transferred.

Изучение процесса теплообмена при конденсации углеводородных паров в кожухотрубчатых аппаратах с целью интенсификации теплопередачи и разработки на этой основе рекомендаций по повышению эффективности промышленных конденсаторов имеет научно-прикладное значение.

Для изучения процесса теплообмена при конденсации углеводородных паров создана экспериментальная установка обеспечивающая циркуляционную подачу потока пара, который подается в кожух кожухотрубчатого теплообменника через тангенциальное расположение трубы. Это позволяет движению пара полностью перемещаться между труб, расположенных внутри кожуха. С увеличением скорости пара возрастает и значение динамического давления потока пара, под влиянием которого из пограничного слоя принудительно перемещаются неконденсируемые пары вместе с конденсатом. Это уменьшает градиент концентрации паров и снижает влияние неконденсируемого пара на теплопередачу. В результате значительно повышается тепловой КПД прибора.

Результаты проведенного эксперимента по изучению коэффициента теплоотдачи и количества тепла, передаваемого в процессе конденсации при подаче паров углеводородов к корпусной части аппарата обычным и круговым способом, представлены на рисунках 1 и 2.

Из рисунка 1 видно, что с повышением объемного расхода пара в пределах $0,014 \div 0,022 \text{ м}^3/\text{с}$ коэффициент теплопередачи при прямом движении пара возрастает до $119 \div 147 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$, а при его круговом движении до $128 \div 171 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$.

Количество передаваемого теплоты в устройстве увеличивается при прямой подачи пара, передаваемого в часть корпуса устройства, при соответствующем изменении объемного расхода пара $Q = 8925 \div 11026 \text{ Вт}$, а при вращающемся движении пара от 9124 до 12188 Вт.

Из результатов проведенного эксперимента можно сделать вывод, что в процессе конденсации паров газового конденсата в экспериментальном кожухотрубчатом теплообменном устройстве было обнаружено, что при подаче пара к кожухотрубчатой части круговым движением коэффициент теплопередачи увеличивается на 7 % и количество теплопередачи в среднем на 7,8 %.

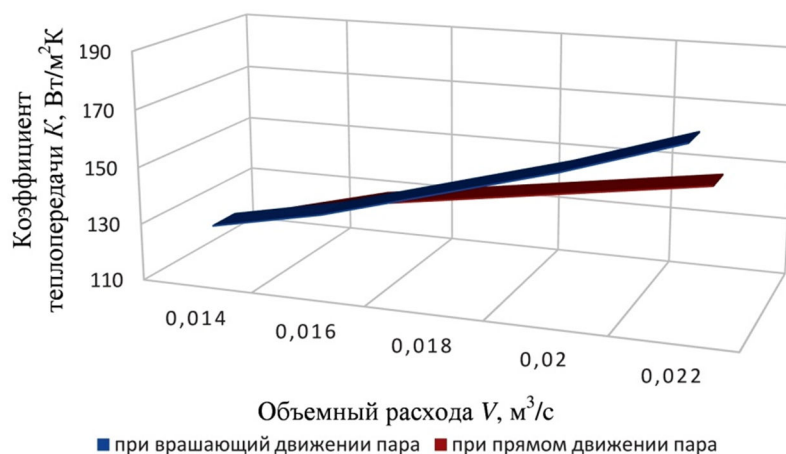


Рисунок 1 – Изменение коэффициента теплопередачи K в зависимости от расхода пара

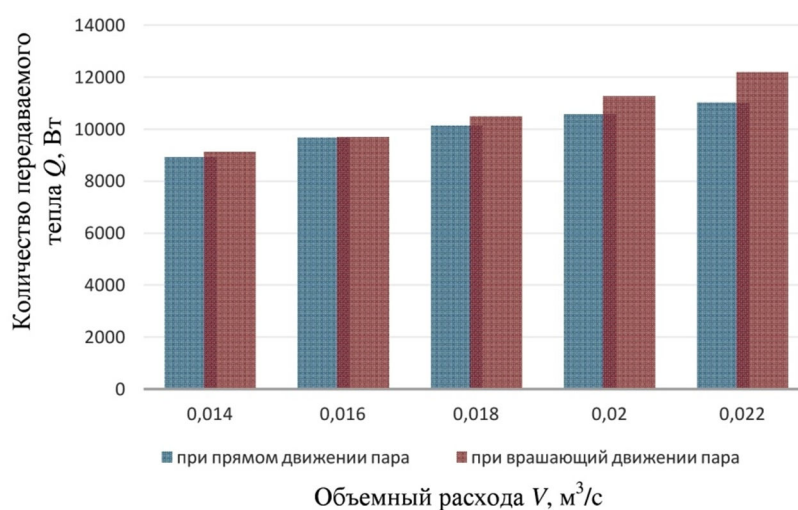


Рисунок 2 – Изменение количество передаваемого тепла Q в зависимости от расхода пара

Список литературы:

1. Салимов З.С., Исмаилов О.Ю., Раджибаев Д.П. Влияние режимов движения нефти и газового конденсата на коэффициент теплоотдачи в двухтрубчатом аппарате // *Узбекский журнал нефти и газа*. – 2014. – № 1. – С. 39.
2. Салимов З.С., Исмаилов О.Ю., Сайдахмедов Ш.М. Повышение эффективности теплообмена путём оптимизации гидродинамических режимов нефтегазоконденсатных потоков в горизонтальной трубе // *Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт*. – 2015. – № 12. – С. 48.
3. Исмаилов О.Ю., Хурмаматов А.М., Худайбердиев А.А. Исследование зависимости коэффициента теплопередачи от толщины накипи и режима движения нагреваемой нефтегазоконденсатной смеси в горизонтальной трубе // *Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт*. – 2017. – № 2. – С. 42–45.

List of references:

1. Salimov Z.S., Ismailov O.Yu., Rajibayev D.P. Effect of oil and gas condensate flow modes on the heat transfer coefficient in a two-tube apparatus // *Uzbek Journal of Oil and Gas*. – 2014. – № 1. – P. 39.
2. Salimov Z.S., Ismailov O.Yu., Saidakhmedov Sh.M. Increase of heat exchange efficiency by optimizing the hydrodynamic modes of oil-gas-condensate flows in the horizontal pipe // *Oil Refining and Petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices*. – 2015. – № 12. – P. 48.
3. Ismailov O.Yu., Khurmatov A.M., Khudayberdiev A.A. Study of dependence of the heat transfer coefficient on the thickness of the scale and the mode of movement of the heated oil-gas condensate mixture in the horizontal pipe // *Oil Refining and Petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices*. – 2017. – № 2. – P. 42–45.



УДК 662.6/.9

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

DEFINITIONS PHYSICAL PROPERTIES OF HYDROCARBONS

Хурмаматов Абдугаффар Мирзабдуллаевич

доктор технический наук, профессор,
Институт общей и неорганической химии АНРУз,
г. Ташкент
gafuri_19805@mail.ru

Исмаилов Ойбек Юлибоевич

доктор философии по техническим наукам (PhD),
Институт общей и неорганической химии АНРУз,
г. Ташкент
ismoilovnmpi@mail.ru

Юсупов Рустам Атахамович

докторант-соискатель,
Институт общей и неорганической химии АНРУз,
г. Ташкент
gafuri_19805@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования по изучению физическое свойства нефти, газового конденсата и их смесей.

Ключевые слова: газовый конденсат, нефть, коэффициент теплопередачи.

Khurmamatov**Abdugaffar Mirzabdullayevich**

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Academy of Sciences of Uzbekistan,
Tashkent
gafuri_19805@mail.ru

Ismailov Oybek Yuliboevich

Doctor of Philosophy in Technical Sciences
(PhD),
Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Academy of Sciences of Uzbekistan,
Tashkent
ismoilovnmpi@mail.ru

Yusupov Rustam Athamovich

Doctoral candidate-applicant,
Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Academy of Sciences of Uzbekistan,
Tashkent
gafuri_19805@mail.ru

Annotation. The article presents the results of a study on the study of the physical properties of oil, gas condensate and their mixtures.

Keywords: gas condensate, oil, heat transfer coefficient.

В основе технологии переработки нефти лежат физико-химические процессы. Управление этими процессами требует глубокого знания физико-химических свойств нефти, газового конденсата и их смесей [1]. Основными из физико-химических и теплофизических свойств углеводородного сырья, характеризующих его первичное состояние, являются плотность, вязкость, удельная теплоемкость и теплопроводность [1]. Эти свойства исследуемого сырья определяются в зависимости от температуры [2, 3].

Изучены плотности углеводородного сырья в лабораторном условиях. В таблице приведены результаты измерения плотности образцов нефти, газового конденсата и их смесей, перерабатываемые на Ферганском НПЗ, ареометрическим способом при температуре 20 °С.

Таблица – Измеренная плотность образцов нефти, газового конденсата и их смесей при 20 °С

№	Углеводородное сырьё и их смеси	Измеренная плотность, кг/м ³
1	Нефть (100 %)	853
2	Газовый конденсат (100 %)	759
	Смеси нефти и газового конденсата:	
3	90 % нефти + 10 % газоконденсата	842
4	80 % нефти + 20 % газоконденсата	839
5	70 % нефти + 30 % газоконденсата	823
6	60 % нефти + 40 % газоконденсата	815
7	50 % нефти + 50 % газоконденсата	805
8	40 % нефти + 60 % газоконденсата	796
9	30 % нефти + 70 % газоконденсата	788
10	20 % нефти + 80 % газоконденсата	780
11	10 % нефти + 90 % газоконденсата	770

Относительная плотность нефти и нефтепродуктов при температурах $t = 0 \div 150$ °С с погрешностью 5–8 % рассчитана по уравнению Д.И. Менделеева [2]:



$$\rho_4^t = \rho_4^{20} - \alpha(t - 20),$$

где ρ_4^t и ρ_4^{20} – соответственно, относительная плотность сырья при заданной и стандартной (20 °С) температурах; α – средняя температурная поправка на 1 °С, значение которой определяется из литературы, в зависимости от величины ρ_4^{20} ; t – температура определения плотности, °С.

На рисунке приведены кривые изменения измеренной плотности пробы нефти и газового конденсата в интервале температур от 20 до 98 °С [4]. Откуда следует, что с повышением температуры в пределах 20 ÷ 98 °С плотность нефти снижается от 853 до 796 кг/м³, т.е. на 6,6 %. При указанных пределах температуры плотность газового конденсата также снижается от 759 до 700 кг/м³, что составляет 7,8 %. Относительное расположение кривых на рисунке свидетельствует о том, что с увеличением доли газового конденсата в составе смеси ее плотность значительно снижается: в начале опытов, при 20 °С от 842 до 759 кг/м³ (на 9,9 %), а в конце опытов, при достижении температуры $t = 98$ °С – от 785 до 711 кг/м³ (на 9,4 %). Экспериментальные данные показывают, что с повышением температуры значения плотности нефти, газового конденсата и их смесей постепенно снижаются.

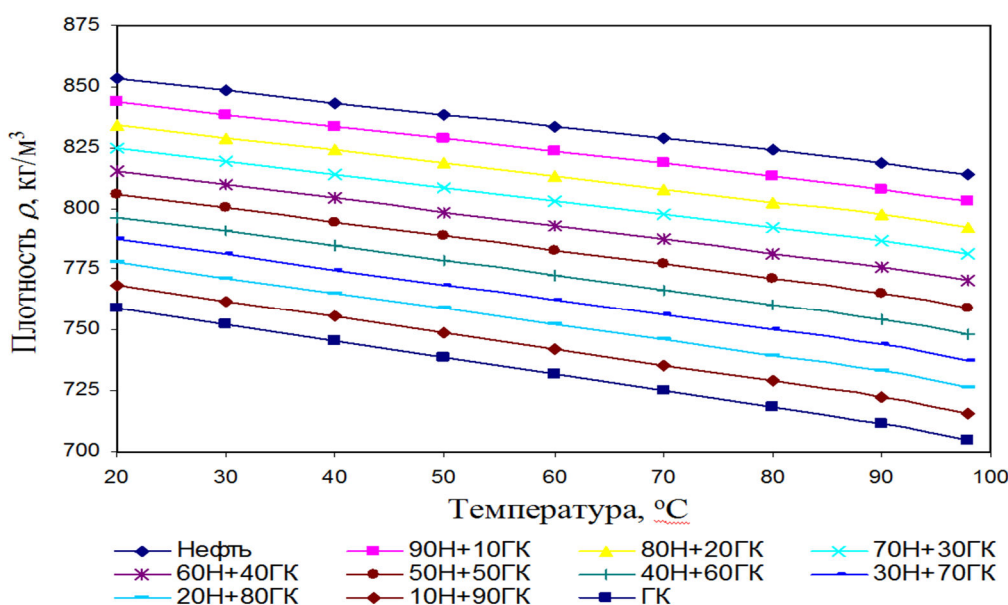


Рисунок – Зависимость плотности нефти, газового конденсата и их смесей от температуры (экспериментальные данные)

По мере кипения воды в термостате стендовой установки значения плотности проб исследуемого углеводородного сырья при температурах выше 98 °С были определены расчетным путем.

Таким образом, анализ значений плотности нефти, газового конденсата и их смесей, определенных экспериментальным путём и вычисленных по различных формулах показывает, что расчетная величина плотности нефти и смесей (содержащих от 10 до 80 % газового конденсата) в среднем на 2 % завышена по сравнению с опытными данными. Расчетные значения плотности газового конденсата и смеси 10 % Н + 90 % ГК, завышены всего лишь на 1 % по сравнению с опытными значениями.

Список литературы:

1. Технология переработки нефти. В 2-х частях. Часть первая. Первичная переработка нефти / О.Ф. Глаголева [и др.]; Под ред. О.Ф. Глаголевой и В.М. Капустина. – М. : Химия, КолосС, 2006. – 400 с.
2. Фукс И.Г., Холодов Б.П. Нефть, газ и продукты их переработки : учебное пособие. – М. : Нефть и газ, 1994. – 163 с.
3. Худайбердиев А.А., Шарипов К.К., Исмаилов О.Ю. Определение основных физических свойств газового конденсата при температурах 20–250 °С // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2017. – № 10. – С. 40–41.
4. Исмаилов О.Ю. Разработка номограмм для определения основных свойств нефтегазоконденсатного сырья // Химическая промышленность. – 2016. – № 6 – С. 140–143.

**List of references:**

1. Technology of oil refining. In 2 parts. Part 1. Primary oil refining / O.F. Glagoleva [et al.]; Edited by O.F. Glagoleva and V.M. Kapustin. – M. : Khimia, KolosS, 2006. – 400 p.
2. Fuchs I.G., Kholodov B.P. Oil, gas and products of their processing: a training manual. – M. : Oil and Gas, 1994. – 163 p.
3. Khudayberdiev A.A., Sharipov K.K., Ismailov O.Y. Definition of the basic physical properties of gas condensate at temperatures of 20–250 °C // Oil Refining and Petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices. – 2017. – № 10. – P. 40–41.
4. Ismailov O.Yu. Development of nomograms to determine the basic properties of oil and gas condensate raw materials // Chemical Industry. – 2016. – № 6 – P. 140–143.



УДК 621.746

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЧУГУНА НА ТЕМПЕРАТУРУ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

THE EFFECT OF THE DENSITY OF HIGH-QUALITY CAST IRON ON THE CRYSTALLIZATION TEMPERATURE

Шахмарова Рафига СахаватАзербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности
Shahmarova_1970@mail.ru**Shakhmarova Rafiga Sahavat**Azerbaijan State Oil and Industry University
Shahmarova_1970@mail.ru**Аннотация.** Данное статье изучается влияние плотности чугуна сплава на температуру кристаллизации.**Annotation.** The article studies the effect of the density of cast iron alloy on the crystallization temperature.**Ключевые слова:** чугунные отливки, кристаллизации чугуна, выплавки, плотность, коррозионная стойкость.**Keywords:** cast iron castings, crystallization of cast iron, smelting, density, corrosion resistance.

Чугунные отливки, широко используемые в промышленности, имеют большую потребность в применении в качестве нового конструкционного материала. Хорошие технологические свойства чугуна позволяют применять его в производстве деталей машин. Одним из главных условий получения высококачественного чугуна (ВКЧ) является правильный выбор шихтового материала, так как доменные чугуны достаточно разнообразны, их структуры и свойства отличаются. Стальные и чугунные стружки, обрезки и отходы являются перспективным материалом для выплавки высококачественного чугуна. Нельзя использовать доменный чугун, так как эти чугуны обладают «наследственными» свойствами, которые снижают качество выплавляемого чугуна. Для получения отливки ВКЧ с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами процесс плавки и технологический режим следует выбирать таким образом, чтобы получить жидкий сплав с требуемыми свойствами. Многие детали нефтяного и бурового оборудования изготовлены из чугуна и работают в морских условиях. Они подвергаются коррозии под воздействием морской атмосферы и малоагрессивной воды. К такому оборудованию относятся воздушные и газовые компрессоры, водяные и масляные насосы и др. Обычно их детали изготавливаются из серого чугуна и легируются никелем и хромом. Здесь, помимо химического состава, на коррозионную стойкость чугуна влияет его плотность. Поэтому актуальным вопросом является разработка новых прогрессивных технологических процессов и интенсификация производства этих деталей, а также разработка, освоение и промышленное внедрение технологии получения высококачественного синтетического чугуна из местного дешевого сырья – металлолома и отходов.

Результаты исследований показывают, что с увеличением плотности чугуна повышается и его коррозионная стойкость. Поэтому разработка технологии получения синтетического чугуна с высокой плотностью является одним из актуальных вопросов.

Известно, что структура и свойства чугуна сильно зависят от температуры кристаллизации, так как при этой температуре начинаются преобразования. На эти преобразования влияют множество факторов: состав шихты, температура термовременной обработки; состав и количество модификатора, скорость охлаждения и др. Однако эти факторы не отражают всех преобразований, происходящих при кристаллизации. Потому что эти факторы в конечном итоге изменяют плотность чугуна при температуре кристаллизации. Поэтому в данной статье изучается влияние плотности чугуна сплава на температуру кристаллизации.

Проведена плавка двух видов синтетического чугуна с разной температурой термовременной обработки. После обработки на компьютере результатов исследований были установлены политермы плотности этих сплавов чугуна. Для каждой серии сплавов были установлены политермы плотности в интервале температур 1473–1873 °К. При этом для каждого сплава были установлены термические кривые процесса кристаллизации. Результаты экспериментов показали, что температура в начале и конце кристаллизации эвтектики у чугуна, нагретого до 1713 °К, выше, чем у чугуна, нагретого до 1863 °К. Это объясняется тем, что перегрев влияет на температуру кристаллизации.

При минимальном содержании кремния в шихтовом материале (0,25 %) и приведении его к химическому составу кремния повышает температуру кристаллизации чугуна после термовременной обработки (после модификации). Шихта имеет низкую температуру кристаллизации, когда она содержит 2,25 % кремния. Для обеих серий сплавов были построены изотермы плотности при 1426 °К для изучения влияния перегрева и содержания кремния на плотность жидкого чугуна. Отмечено, что для



обеих серий чугунов значение плотности уменьшается по мере увеличения количества кремния в шихтовом материале. Разница между плотностями чугунов обеих серий привело к различию температур кристаллизации чугуна. При 1426 °К, т.е. до кристаллизации, изменение плотности вызывает изменение температуры кристаллизации этих чугунов.

Анализ результатов исследований показали, что плотность сплава в момент кристаллизации также влияет на тепловой эффект кристаллизации. Замечено, что с увеличением плотности сплава тепловое воздействие увеличивается, и чем выше перегрев, тем меньше тепловое воздействие. Таким образом, доказано, что перегрев и количество добавляемого кремния изменяют плотность чугуна перед кристаллизацией, а также отмечается, что чугун с изменением плотности сплава изменяется и температура его кристаллизации.

Список литературы:

1. Чугунный литой шар для мельницы / Б.Г. Гусейнов [и др.] // Процессы литья. – Киев, 2016. – № 2(116). – С. 59–63.
2. Гусейнов Б.Г., Бабанлы М.Б., Исмаилов Ф.С. Износостойкий биметалл из синтетического чугуна // Процесс литья. – Киев, 2011. – № 4(88). – С. 54–57.
3. Гусейнов Б.Г., Бабанлы М.Б., Исмаилов Ф.С. Применение высококачественного чугуна взамен чугуна «Нирезист» // Процесс литья. – Киев, 2011. – № 3(87). – С. 62–66.
4. Гусейнов Б.Г., Исламов Р.В. Влияние плотности расплава чугуна на температуру кристаллизации // Информационный листок АзНИИНТМ. – 1994. – № 37.
5. Дибров И.А. Состояние и перспективы литейного производства России // Журнал ЮНИДО в России. – 2013. – № 13. – С. 28–32.
6. Доценко П.В., Липтуга И.В., Доценко В.П. Низколегированные и модифицированные чугуны со специальными свойствами // Литейное производство. – 2003. – № 3.

List of references:

1. Cast-iron ball for a mill / B.G. Huseynov [et al.] // Casting Processes. – Kiev, 2016. – № 2(116). – P. 59–63.
2. Huseynov B.G., Babanly M.B., Ismailov F.S. Wear-resistant bimetal from synthetic iron // Processes of Casting. – Kyiv, 2011. – № 4(88). – P. 54–57.
3. Huseynov B.G., Babanly M.B., Ismailov F.S. The use of high quality cast iron instead of cast iron «Nirezist» // Process of Casting. – Kyiv, 2011. – № 3(87). – P. 62–66.
4. Guseynov B.G., Islamov R.V. Influence of density of cast iron melt on crystallization temperature // AzNIINTM Informational flyer. – 1994. – № 37.
5. Dibrov I.A. State and prospects of foundry production in Russia // Journal of UNIDO in Russia. – 2013. – № 13. – P. 28–32.
6. Dotsenko P.V., Liptuga I.V., Dotsenko V.P. Low alloyed and modified cast irons with special properties // Foundry Production. – 2003. – № 3.



УДК 624

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

AN EFFECTIVE METHOD OF ELECTROCHEMICAL PROTECTION OF GAS DISTRIBUTION STATION FACILITIES

Шестерикова Раиса Егоровна

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры химической технологии,
химико-фармацевтический факультет,
Северо-Кавказский Федеральный университет
Shesterikova_26@mail.ru

Серяк Анастасия Андреевна

инженер, Инженерно-технический центр,
ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»
na5tya5tav41@gmail.com

Аннотация. Эксплуатация газораспределительных станций сопровождается рядом проблем, одной из которых является коррозионное разрушение их подземной части. Существующая система электрохимической защиты достаточно энергозатратна – потери защитных токов достигают до 90 %. В статье предложен вариант защиты подземных сооружений газораспределительных станций, позволяющий значительно снизить потери электроэнергии на защитные заземления и повысить эффективность всей системы электрохимической защиты на ГРС.

Ключевые слова: газораспределительная станция, электрохимическая защита, коррозионное разрушение.

Shestikova Raisa Egorovna

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Professor of the Department
of Chemical Technology, Faculty
of Chemistry and Pharmacy,
North Caucasus Federal University
Shesterikova_26@mail.ru

Seryak Anastasia Andreevna

Engineer, Engineering and Technical Center,
LLC Gazprom Transgaz Stavropol
na5tya5tav41@gmail.com

Annotation. The operation of gas distribution stations is accompanied by a number of problems, one of which is the corrosive destruction of their underground part. The existing system of electrochemical protection is quite energy-consuming – losses of protective currents reach up to 90 %. The article offers a variant of protection of underground structures of gas distribution stations, which allows to significantly reduce the loss of electricity to protective earthing and increase the efficiency of the entire system of electrochemical protection at the GRS.

Keywords: gas distribution station, electrochemical protection, corrosion destruction.

Одной из проблем эксплуатации газораспределительных станций (далее – ГРС) является защита их сооружений от коррозии. От того, насколько решена проблема защиты от коррозии объектов ГРС, зависит надежность их эксплуатации, а также промышленная и экологическая безопасность. Развитие методов и средств решения данной проблемы, учитывая современные достижения науки, отечественный и зарубежный опыт, является актуальным направлением.

Существующая на данный момент электрохимическая защита (далее – ЭХЗ) внутриплощадочных сетей ГРС и газопроводов-отводов осуществляется несколькими способами:

- отдельно через электроизолирующие соединения;
- отдельной станцией катодной защиты;
- совместно с газопроводом-отводом через диодно-резисторный блок.

Перечисленные способы позволяют обеспечить электрохимическую защиту сооружений ГРС, но все они отличаются низкой эффективностью. При этих способах до 90 % защитных токов ЭХЗ бесполезно расходуется на контуры защитных заземлений, результатом чего является повышенный расход электроэнергии. При этом контуры защитных заземлений покрываются катодными осадками, что приводит к увеличению сопротивления растеканию тока и, следовательно, к уменьшению их срока службы. Для сокращения потерь электроэнергии необходимо изолировать подземные металлические сооружения ГРС от контура защитных заземлений. Однако, согласно требований правил устройства электроустановок (далее – ПУЭ) все металлоконструкции ГРС должны быть заземлены, но защитные заземления экранируют токи ЭХЗ, что приводит к снижению энергоэффективности.

Анализ научно-технической литературы и систематизация различных систем и способов отдельной электрохимической защиты подземных объектов ГРС и газопроводов-отводов позволили разработать техническое решение, позволяющее исключить экранирование токов ЭХЗ и сократить потери электроэнергии на защитные заземления.

На рисунке 1 приводится разработанная блок-схема противокоррозионной защиты подземных металлических сооружений ГРС.

Разработанное техническое решение в полной мере обеспечивает соблюдение требований ПУЭ [1]. В разработанной схеме в качестве защитных заземлений используются магниевые протектора ПМ-10У, которые представляют собой активатор, позволяющий искусственно снижать сопротивление земли вокруг протектора-заземлителя.

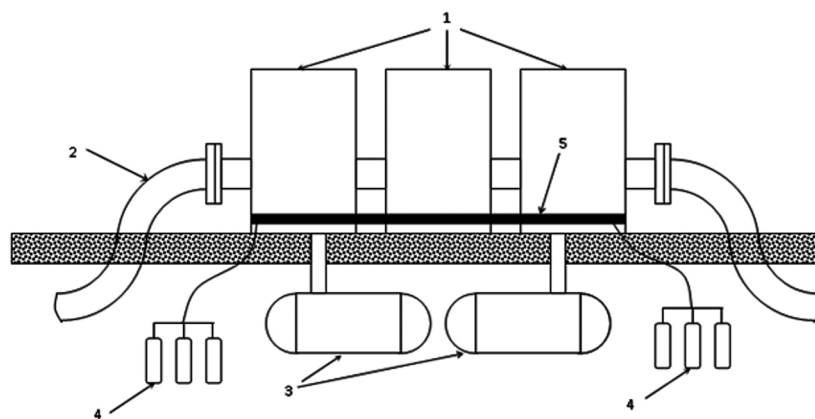


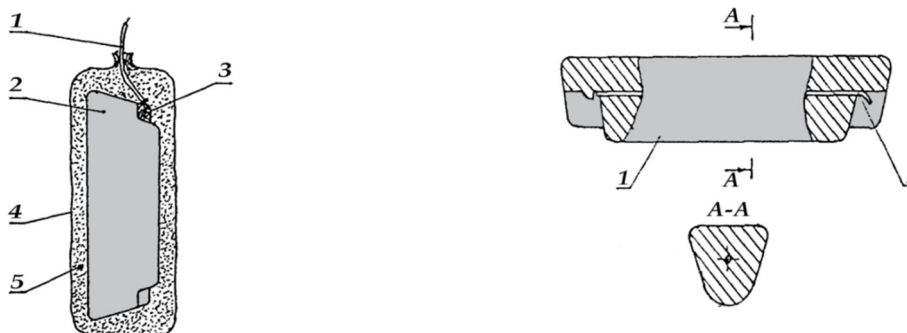
Рисунок 1 – Блок-схема противокоррозионной защиты подземных металлических сооружений ГРС:
1 – блоки ГРС; 2 – газопровод; 3 – подземная емкость; 4 – протектор; 5 – шина заземления

На рисунке 2 приводится схема комплексного протектора ПМ-10У.

Активатор 5 включает порошкообразную смесь следующих компонентов:

- гранулированный сернокислый натрий Na_2SO_4 – 25 %;
- сернокислый кальций CaSO_4 – 25 %;
- бентонитовая глина – 50 %.

Активатор засыпается в мешок 4, протектора ПМ-10У снабжены двумя изолированными стале-медными проводниками. В случае если сечение поставляемых проводников не соответствует требованиям ПУЭ, то в конструкции протектора предусмотрен контактный узел для подключения проводников большего сечения. Таким образом, использование протекторов в качестве защитных заземлений позволяет одновременно выполнять и функции ЭХЗ, что исключает потери электроэнергии [2].



1 – соединительный провод; 2 – магниевый анод типа ПМ;
3 – изоляция контактного узла; 4 – хлопчатобумажный мешок; 5 – активатор

Конструкция магниевых анодов типа М:
1 – отливка из магниевого сплава,
2 – контактный стержень

Рисунок 2 – Схема комплексного протектора ПМ-10У

Выполняя функцию электрохимзащиты, протектора разрушаются (корродируют), поэтому необходимо помимо расчета параметров ЭХЗ рассчитать их массу с учетом срока службы защитного заземления. Для расчета массы протекторов используется формула:

$$T = \frac{m_p \cdot q \cdot \eta_p \cdot \eta_u}{I_{cp} \cdot 8760}, \text{ годы,}$$

где m_p – масса протектора, кг; q – теоретическая токоотдача материала протектора, А·ч/кг; η_p – коэффициент полезного действия протектора, для ПМ-10У от 0,5 до 0,65; η_u – коэффициент использования материала, для ПМ-10У = 0,9; I_{cp} – средняя сила тока в цепи протектор-труба за планируемый период.

Разработанная система ЭХЗ внедрена на объекте ООО «Газпром трангсаз Ставрополь». Система противокоррозионной защиты подземных объектов ГРС имеет следующие конструктивные характеристики:

- протектор ПМ-10У – 16шт.;
- общая шина – кабель ВВГ 1х25;
- соединительные провода от протекторов – кабель ВВГ 2х6.



Электрические характеристики:

- потенциал протектора – 1,57 В;
- потенциал включения – 1,5 В;
- ток – 12 мА;
- сопротивление растеканию тока – 1,8 Ом.

Промышленные испытания разработанного технического решения показали его высокую эффективность, что подтверждают результаты технико-экономического расчета.

В таблице 1 приведены полученные сравнительные данные электрохимзащиты ГРС.

Таблица 1 – Эксплуатационные данные системы ЭХЗ ГРС

Наименование ГРС	Параметры станции катодной защиты					
	По старой схеме защиты			По новой схеме защиты		
	Ток, А	Напряжение, В	Расход электроэнергии в месяц, кВт·час	Ток, А	Напряжение, В	Расход электроэнергии в месяц, кВт·час
ПТФ Георгиевская	16	18	145	7	10	65
Чёрная Речка	4	10	20	2	2	2
Иноземцево	17	12	102	6	5	45
Бородыновка	20	30	302	6	2	80

Из данных таблицы 1 следует, что применение в качестве защитных заземлений протекторов ПМ-10У существенно сокращает потребление электроэнергии на электрохимзащиту ГРС. Так на ГРС «Бородыновка» сокращение составило 3,8 раза, на остальных ГРС наблюдалось снижение потребления электроэнергии в 2,2 раза.

Опыт эксплуатации существующей системы электрохимзащиты подземных объектов ГРС показывает, что на защитные заземления ГРС до 90 % электроэнергии тратится вхолостую [3]. С учетом этого экономический эффект от внедрения разработанного технического решения определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = 0,9 \cdot (\sum \mathcal{E}_{\text{дв}} - \sum \mathcal{E}_{\text{пув}}), \text{ кВт} \cdot \text{ч/месяц},$$

где 0,9 – доля электроэнергии, расходуемая вхолостую; $\sum \mathcal{E}_{\text{дв}}$ – суммарное энергопотребление в месяц до установки вставки электроизолирующей, кВт·ч; $\sum \mathcal{E}_{\text{пув}}$ – суммарное энергопотребление в месяц после установки вставки электроизолирующей, кВт·ч.

Подставляя числовые значения, получим:

$$\mathcal{E} = 0,9 \cdot ((145+20+102+302) - (65+2+45+80)) = 339,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/месяц}.$$

В ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» в эксплуатации находится порядка 300 ГРС, тогда ежемесячная экономия электроэнергии составит: $\mathcal{E} = 300 \cdot (339,3:4) \approx 25 \text{ 450 кВт} \cdot \text{ч/месяц}$ или 25,5 МВт·ч/месяц, а за год экономия составит: $\mathcal{E} = 25,5 \cdot 12 = 306 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$.

При средней стоимости электроэнергии 8,4 руб/кВт·ч годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E} = 8,4 \cdot 306000 = 2 \text{ 570 400 руб/год}.$$

Полученные результаты промышленных испытаний разработанной системы противокоррозионной защиты подземных объектов ГРС позволяют сделать следующие выводы:

- разработанное техническое решение обеспечивает повышение эксплуатационной надежности и промышленной безопасности ГРС;
- повышение эффективности эксплуатации электрохимзащиты газопроводов-отводов и внутриплощадочных сетей ГРС обеспечивается за счет совмещения протекторной защиты с функцией защитных заземлений.

Список литературы:

1. СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы» (Раздел 10, п.10.11 и п.10.12).
2. Гоник А.А. Коррозия и меры ее предупреждения. – М. : Недра, 1966. – 73 с.
3. Камаева С.С. Физико-химическое регулирование сульфатредукции на катодно защищаемом, покрытом полимерной изоляцией трубопроводе // Основные причины процессов коррозионного растрескивания под напряжением (КРН), диагностика и методы предупреждения КРН на магистральных газопроводах: Материалы научно-технического совета РАО «Газпром» (Москва, июль, 1996 г.) – М. : ООО «ИРЦ Газпром», 1996. – С. 9–13.

List of references:

1. SNiP 2.05.06-85* «Trunk pipelines» (Section 10, p.10.11 and p.10.12).
2. Gonik A.A. Corrosion and measures to prevent it. – M. : Nedra, 1966. – 173 p.
3. Kamaeva S.S. Physico-chemical regulation of sulfate reduction on a cathodically protected, polymer-insulated pipeline // The main causes of stress corrosion cracking processes (CRN), diagnostics and methods of preventing CRN on main gas pipelines: Materials of the Scientific and Technical Council RAO Gazprom (Moscow, July, 1996) – M. : LLC «IRC Gazprom», 1996. – P. 9–13.



УДК 313.3

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В МАГИСТРАЛЬНОМ НЕФТЕПРОВОДЕ НА НЕФТЕПЕРЕГОННОЙ СТАНЦИИ

EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY OF PRESSURE CONTROL METHODS IN THE MAIN OIL PIPELINE AT AN OIL REFINERY STATION

Шишлин Денис Иванович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электропривода,
Липецкий государственный технический университет
denis-shishlin@yandex.ru

Улитин Николай Петрович

студент кафедры электропривода,
Липецкий государственный технический университет

Ильин Матвей Викторович

студент кафедры электропривода,
Липецкий государственный технический университет

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по оценке уровня энергоэффективности процессов при многоконтурном способе регулирования давления на нефтеперегонной станции путем имитационного моделирования ее работы в среде Matlab.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, магистральные центробежные насосы, нефтеперегонная станция, частотно-регулируемый электропривод, система автоматического регулирования давления, имитационное моделирование, энергоэффективность.

Shishlin Denis Ivanovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Senior Lecturer of faculty of the electric drive,
Lipetsk State Technical University
denis-shishlin@yandex.ru

Ulitin Nikolay Petrovich

Student of electric drive Department,
Lipetsk State Technical University

Ilyin Matvey Viktorovich

Student of electric drive Department,
Lipetsk State Technical University

Annotation. The article presents the results of research to assess the level of energy efficiency of processes with a multi-circuit method of pressure regulation at an oil refinery station by simulating its operation in the Matlab environment.

Keywords: main oil pipeline, main centrifugal pumps, oil refining station, frequency-controlled electric drive, automatic pressure control system, simulation modeling, energy efficiency.

В настоящее время крупные предприятия России, имеющие отношение к топливно-энергетическому комплексу, внедряют методические рекомендации по совершенствованию методов сбережения энергоресурсов. Ведущим направлением считается внедрение и развитие частотно-регулируемых электроприводов (ЧРЭП) [1]. Высокие показатели снижения электропотребления при их использовании достигаются в механизмах с вентиляторной нагрузкой, приводимых во вращение высоковольтными электродвигателями большой мощности. Характерным примером таких механизмов являются центробежные магистральные насосы, чья механическая характеристика описывается уравнением квадратичной параболы, а затрачиваемая мощность пропорциональна кубу скорости вращения. Данные механизмы при незначительном уменьшении скорости вращения могут принести ощутимое уменьшение затрачиваемой мощности. Из-за этого в последнее время много внимания уделяется разработке высоковольтных ЧРЭП магистральных центробежных насосов на нефтеперегонных станциях (НПС).

В ходе транспортировки нефти и нефтепродуктов по системе магистральных трубопроводов актуальной проблемой является увеличение энергоэффективности за счет реализации мероприятий по оптимизации энергетических ресурсов.

Значительную часть затрат при перекачке жидкостей представляет собой энергопотребление магистральными агрегатными насосами. Регулирование давления в магистральных трубопроводах при транспортировке нефти и нефтепродуктов является одним из приоритетных направлений. В тоже время используемые системы автоматизированного управления и контроля режимами работы магистральных трубопроводов (системы автоматизированного регулирования давления) не в полной мере принимают во внимание варьирование различных факторов, возникающих при эксплуатации.

Потребность в регулировании режимов работы нефтеперекачивающих станций магистрального нефтепровода вызвана необходимостью изменения объемов перекачки и предотвращения устранения явления кавитации, а также потребностью в снижении или изменении давления в системе и оптимизации работы системы по минимизации затрат на перекачку.

В ходе проведенного исследования было установлено, что до 96 % потерь в системе при неравномерности транспортировки нефти и нефтепродуктов в трубопроводном транспорте приходится



на потери в электродвигателях насосов, вызванные преобразованием механической энергии в гидравлическую энергию, и только 4 % потерь приходится на собственные нужды и преодоление гидравлического сопротивления нефтепровода. Актуальной задачей при транспортировке нефти в трубопроводе является эффективное и рационального использования электроэнергии, которое составляет до 35 % себестоимости транспортировки нефтепродуктов.

Регулирование скорости вращения двигателя электропривода насоса с преобразователем частоты (ПЧ), запитанного от источника переменного тока, является наиболее современный способ управления работой магистрального трубопровода. Его эффективность в сравнении с остальными способами увеличивается с расширением диапазона изменения режимов работы насосной станции. Для привода насоса используются преимущественно синхронные и асинхронные двигатели. Экономический эффект от использования регулируемых электроприводов заключается в уменьшении потребляемой мощности электродвигателей и максимально возможной передаче давления от станции до станции, приводит к снижению затрат на потребление электроэнергии с исключением дросселирования.

Достоинствами частотно регулируемых электроприводов являются:

- плавный пуск, который снижает значение пускового тока двигателя, что приводит к уменьшению нагрузки на электрическую сеть и пускорегулирующую аппаратуру [2], а также исключает импульсную нагрузку на трубную обвязку насоса и снижает износ насоса;
- плавное регулирование скорости вращения роторов насосов на станциях магистральных трубопроводов позволяет применять самые экономичные режимы перекачки;
- возможность наиболее точной синхронизации работы НПС;
- возможность подхвата вращающегося электродвигателя после обрыва питания;
- снижение затрат электроэнергии в случае непостоянной нагрузки (работа электродвигателя с неполной нагрузкой).

При затратах электроэнергии центробежным насосам, которая пропорциональна скорости вращения в кубе, вероятное уменьшение скорости вращения насоса даже на 1 %, может снизить потребление электроэнергии станции на транспортировку нефтепродукта в среднем на 2.7 %.

В состав системы ЧРЭП, включая многоконтурную систему автоматического регулирования давления (САРД) нефти в магистральном нефтепроводе, входят электродвигатели регулирующих клапанов и насосов, преобразователи частоты, программируемый логический контроллер (ПЛК), на котором реализуется система управления, насосы, регулирующие клапаны, датчики давления, положения, скорости.

Функциональная схема многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепродуктопроводе изображена на рисунке 1.

Первичная информация о технологических параметрах, параметрах состояния оборудования САРД, поступает на модули ввода аналоговых или дискретных сигналов контроллера САРД.

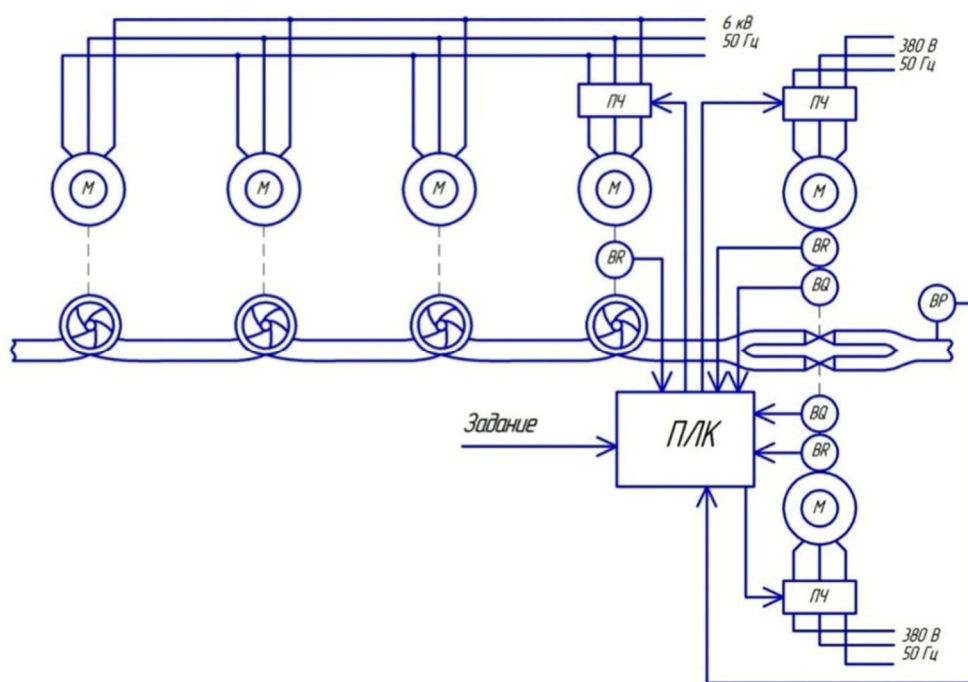


Рисунок 1 – Функциональная схема многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепродуктопроводе



Встроенными датчиками скорости и положения оснащены электродвигатели регулирующих клапанов, с помощью которых контролируются положение выходного вала (датчики ВQ) и текущая скорость электродвигателя. Частотно регулируемый электродвигатель агрегатного насоса снабжен встроенным датчиком скорости ВR. На выходе технологического трубопровода НПС установлен датчик давления ВР. На модуль ПЛК поступает вся снятая с датчиков информация. После обработки этой информации ПЛК формирует требуемое напряжение и частоту полученные с преобразователей частоты, для приводов клапанов и насоса с целью поддержания фиксированного выходного давления.

Для исследования эффективности процессов регулирования давления на НПС была разработана модель многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепродуктопроводе с помощью программного комплекса Matlab. Для разработки модели трубопроводной сети использовалась встроенная библиотека Matlab SimHydraulics.

Модели электроприводов клинового клапана и модель центробежного насоса вместе с преобразователями частоты (ПЧ), работающим соответственно по законам $U/f = \text{const}$, и $U/f_2 = \text{const}$, составлены в стандартных блоках пакета Matlab Simulink [3], [4].

Для оценки эффективности способа многоконтурного регулирования давления в магистральном нефтепроводе были проведены следующие эксперименты:

- моделирование регулирования давления только клапанами;
- моделирование регулирования давления только насосом;
- моделирование регулирования давления клапанами и насосом одновременно.

Для достоверности полученных данных время моделирования, начальные условия, время и величина возмущений для всех трёх опытов будут одинаковы. По результатам моделирования оценивались параметры качества регулирования и энергоэффективность каждого из способов.

В соответствии с имеющимися данными [5] для систем регулирования давления на НПС погрешность поддержания давления в установившемся режиме не должна превышать $\pm 0.4 \text{ кг/см}^2$, а максимальное отклонение давления в переходных режимах не должно быть больше 4 % от заданного.

По результатам проведенных экспериментов составлена таблица 1, по которой можно оценить уровень энергоэффективности каждого способа регулирования.

Таблица 1 – Результаты экспериментов для оценки эффективности способа многоконтурного регулирования давления

ПАРАМЕТРЫ	Регулирование давления только клапанами	Регулирование давления только насосом	Одновременное регулирование давления клапанами и насосом
Потребление энергии электродвигателем насоса, кВт·ч	158	127.5	131.2
Потребление энергии электродвигателем регулирующих клапанов, кВт·ч	0,6627	–	0.6719
Время переходного процесса при задании давления на выходе, с	9.3	20	8.6
Время переходного процесса при снижении входного давления, с	2.7	40	37
Максимальное отклонение входного давления от задания, кг/см^2	0.051	2.06	1.45
ДОСТОИНСТВА	хорошая точность регулирования и быстродействия	наилучшая энергоэффективность (насос, +2,8 % от норматива)	достаточное быстродействие, норматив энергоэффективности
НЕДОСТАТКИ	самая низкая энергоэффективность (насос, -20,4 % от норматива)	затянутый переходный процесс	–

Из результатов имитационного моделирования следует, что рассмотренные способы регулирования за исключением регулирования давления только за счет клапанов, выполняют требования по качеству регулирования: метод регулирования скорости вращения ротора насоса является самым энергоэффективным, но обладает наименьшим быстродействием; метод многоконтурного регулирования является самым быстродействующим и показывает приемлимые показатели энергоэффективности.

Итоги проведенного исследования можно применять при проектировании или реконструкции НПС для достижения наиболее точных показателей регулирования, уменьшения износа оборудования и увеличения энергоэффективности.

**Список литературы:**

1. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М. : Академия, 2004. – 256 с.
2. Исследование способов снижения пускового тока при запуске высоковольтных двигателей / В.Н. Мещеряков [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21. – № 2. – С. 94–104.
3. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учебное пособие. – Санкт-Петербург : КОРОНА, 2001. – 132 с.
4. Фурсов В.Б. Моделирование электропривода: учебное пособие. – М. : Издательство «Лань», 2022. – 220 с.
5. Технические параметры насоса [Электронный ресурс]. – URL : http://www.hms.ru/pumps_catalog/detail.php?ELEMENT_ID=4983

List of references:

1. Braslavsky I.Y., Ishmatov Z.Sh., Polyakov V.N. Energy-saving asynchronous electric drive. – M. : Academia, 2004. – 256 p.
2. Research of methods of decreasing the starting current at start-up of high-voltage motors / V.N. Meshcheryakov [et al.] // Vestnik of South Ural State University. Series: Power Engineering. – 2021. – V. 21. – № 2. – P. 94–104.
3. German-Galkin S.G. Computer Simulation of Semiconductor Systems in MATLAB 6.0: Tutorial. – Saint-Petersburg : KORONA, 2001. – 132 p.
4. Fursov V.B. Electric drive modeling: tutorial. – M. : Lan' Publisher, 2022. – 220 p.
5. Technical parameters of the pump [Electronic resource]. – URL : http://www.hms.ru/pumps_catalog/detail.php?ELEMENT_ID=4983



УДК 622

ГАЗОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОСТАВШЕГОСЯ МОЩНОГО ОХРАННОГО УГОЛЬНОГО ЦЕЛИКА

GAS-ENERGY METHOD OF EXTRACTION OF THE REMAINING POWERFUL PROTECTIVE COAL COLUMN AT THE ANGREN MINE

Якубов Салимжон Иминжанович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник лаборатории
«Химическая технология, переработка газа и ПАВ»,
Институт общей и неорганической химии
Академии наук Республики Узбекистан
salimjon@yandex.ru

Турдиев Мухиддин Шукурович

младший научный сотрудник лаборатории
«Химическая технология, переработка газа и ПАВ»,
Институт общей и неорганической химии
Академии наук Республики Узбекистан

Узоков Гулом Норбоевич

доктор технических наук, проректор по научным работам
и инновациям,
Каршинский инженерно-экономический институт

Темирова Дильноза Улмас кизи

старжер-исследователь,
Каршинский инженерно-экономический институт

Аннотация. Нетрадиционный способ извлечения твердотопливных энергоресурсов из отработанных шахтных полей Ангренского месторождения рассматривается как актуальная задача с точки зрения ресурсосбережения и источника альтернативных энергоресурсов. Статья посвящена научному исследованию газоэнергетического способа добычи угля из защитных угольных ресурсов в опытно-стендовых условиях Ангренского угольного разреза. Представлены результаты экспериментальных исследований тепловых потоков и полезных энергетических продуктов.

Ключевые слова: угольный пласт, шахта, охранный целик, подземное сжигание, горения угля, продукты полного сгорания, физическое теплота продуктов горения, полезное тепловые потоки, утилизация тепла, теплообменник, котел-утилизатор.

Yakubov Salimjon Iminzhanovich

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher of the Laboratory
«Chemical Technology, Gas and Surfactant
Processing»,
Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Academy of Sciences of the Republic
of Uzbekistan
salimjon@yandex.ru

Turdiyev Mukhiddin Shukurovich

Junior Researcher of the laboratory
«Chemical technology, gas and surfactant
processing»,
Institute of General and Inorganic Chemistry
of the Academy of Sciences of the Republic
of Uzbekistan

Uzokov Gulom Norboevich

Doctor of Technical Sciences,
Vice-Rector for Research and Innovation,
Karshi Engineering and Economic Institute,
Uzbekistan

Temirova Dilnoza Ulmas kizi

Scientific Trainee,
Karshi Engineering and Economic Institute,
Uzbekistan

Annotation. An unconventional method of extracting solid fuel energy resources from the depleted mine fields of the Angren deposit is considered as an urgent task in terms of resource saving and a source of alternative energy resources. The article is devoted to scientific research of the gas-power method of coal mining from protective coal resources in experimental bench conditions of the Angren coal mine. The results of experimental studies of heat flows and useful energy products are presented.

Keywords: coal seam, mine, guard pillar, underground combustion, coal combustion, products of complete combustion, physical heat of combustion products, useful heat flows, heat recovery, heat exchanger, waste heat boiler.

В области топливно-энергетического баланса развитие энергетики во многом зависит от топливных ресурсов, современных технологий использования и преобразования энергоносителей [1]. Кроме того как показывает опыт промышленной разработки топливных ресурсов, ежегодно около 12 % энергоносителей (в основном уголь) остаётся в недрах [2]. Эти потери связаны с оставлением целиков; невозможностью ведения работ с повышенной газомобильностью, пожароопасностью, горным давлением; переоценкой и списанием запасов и другими непредвиденными обстоятельствами.

Анализ разработки мощных угольных пластов на шахтах АО «Узбекуголь» Республики Узбекистан, показывает, что не извлеченные запасы составляют значительное количество угля [3].

В данной работе приводится совершенно новая технология извлечения оставшихся запасов. Данная технология основывается на полном сжигании угля в недрах, в их непосредственном залегании с последующим извлечением тепловой энергии из продуктов полного сгорания [4].



К преимуществам данной технологии можно отнести: безлюдный газознергетический способ извлечения угля; незначительная потребность эксплуатационных расходных материалов; практическое отсутствие зольной и балластной части угля; полное отсутствие вредных окислов азота; отсутствие подземных и наземных грузотранспортных потоков; отсутствие постоянно действующих вентиляционных сооружений; отсутствие сложной и дорогостоящей электрокабельной сети и подстанции; достаточная тепловая мощность; вовлечение близлежащих горючих компонентов в процесс горения; использование пространства угольного пласта в качестве энерготехнологического подземного котлоагрегата; экологическая чистота; высокий коэффициент извлечения полезного ископаемого.

Те или иные преимущества или недостатки были исследованы на опытном экспериментальном участке угольной шахты № 9, приняты соответствующие решение по разработке эффективных схем получения полезного энергоносителя, получены новые данные, улучшающие технико-экономические и экологические показатели процесса подземного сжигания.

На рисунке 1 приведена технологическая схема одна из охранных мощных угольных целиков в отработавшем шахтном поле. Для реализации процесса подземного сжигания угольного целика для мощных пластов Ангренского месторождения, согласно технологическим условиям, оставленные угольные целики предварительно подготавливаются. При этом прокладываются технологические штреки для подачи воздуха и отвода продуктов сгорания, пробуриваются воздухоподающие и газоотводящие скважины, угольный целик согласно, принятой топологической схемы, оконтуривается горными выработками, устанавливается поверхностный теплотехнический комплекс, который соединяется с газоотводящей скважиной. Причем, газоотводящая скважина рассчитывается для работы под разряжением.

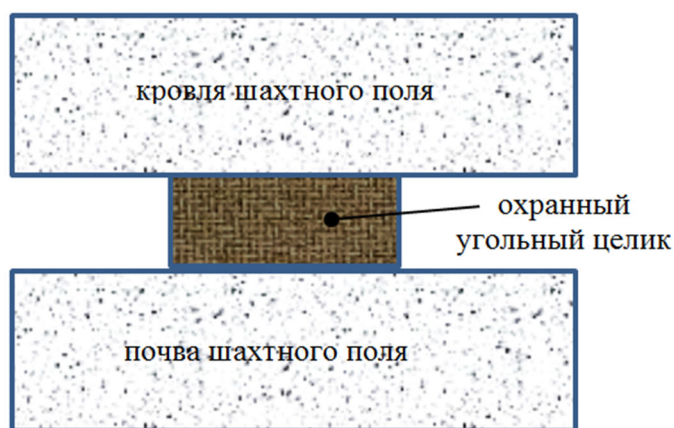


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема охранного мощного угольного целика непосредственного в отработавшем шахтном поле

При технологии подземного сжигания угольного целика, принимаются все меры безопасности для предотвращения проникновения огневого фронта в рабочие зоны шахты [5].

Процесс подземного сжигания по принципу структурного оформления подобен процессу подземной газификации угля. Он отличается лишь тем, что гидравлическое давление воздуха в угольном пласте ниже атмосферного, отсутствуют мощные турбокомпрессорные газодувки, специальные электрические подстанции небольшой мощности, отсутствует громоздкий трубопровод для горючего газа и др.

Согласно проведенным экспериментальным исследованиям на модельной установке [6–8] при подземном сжигании угля показано возможность извлечение тепловой энергии из продуктов сгорания газознергетическими способами.

В технологическом аспекте кроме исследования различных вариантов топологических схем розжига угольных целиков, более интересными были варианты утилизации физической теплоты газознергоносителей. Разработаны и исследованы четыре варианта точки отбора теплоты: вариант А, вариант В, вариант С и вариант D (табл. 1).

Учитывая, что основными теплоносителями являются продукты сгорания, исследованы динамика изменения их составных компонентов: метан– CH_4 , углекислый газ– CO_2 , угарный газ– CO , кислород– O_2 , азот– N_2 , а также влага. Кроме того состав продуктов горения позволяет косвенного контроля процессов горения в подземном имитационном пространстве.

Более детально рассмотрен вариант D, где газознергетические потоки выводится на дневную поверхность и извлечения полезного энергетического ресурса. Продолжительность исследования с учетом периода подготовки, процесса горения угля в подземных условиях в имитационных установках, периода до полного затухания разогретого зольных остатков включая кровли и почвы, длились в среднем 30-31 суток. Пробы продуктов горения угля отбирались ежедневно, а температура потока измерялись и фиксировались непрерывно с помощью потенциометрами.



Таблица 1 – Основные варианты технологических схем размещения газознергетических преобразователей энергии твердого топлива в полезное энергетические ресурсы

Варианты схем	Вариант А	Вариант В	Вариант С	Вариант D
Место установки утилизатора тепла	Непосредственно в горных выработках	На стыке горных выработок и газоотводящей скважины	В пространстве газоотводящей скважины	На дневной поверхности шахтного отвода
Конструкция утилизатора	Пучки труб	Специальный котел-утилизатор	Пучки труб	Наземный теплообменник
организационные сложности	Сложности при оконурования горных выработок	Сложность разработки котла-утилизатора	Сложности конструкции подвесок	Несложная конструкция теплообменника
Вид теплоносителя	Продукты сгорания	Продукты сгорания	Продукты сгорания	Продукты сгорания
Продуктивный энергоноситель	Пар низкого давления	Пар низкого давления	Влажный пар	Горячая вода, влажный пар
энергетический потенциал	Высокий	Достаточно высокий	хороший	средний

В таблице 2 приведены результаты анализа состава продуктов горения по компонентам:

Таблица 2 – Данные компонентного состава продуктов подземного горения угля по варианту «D»

Время горения, сутки	Компоненты продуктов горения на выходе, %					
	CO ₂	CH ₄	O ₂	CO	H ₂	Σ(N ₂ , H ₂ O)
2	6,0	–	14,0	0,8	0,2	79
4	18,2	–	2,3	1,9	2,7	74,9
6	18,0	–	1,0	2,0	1,86	77,14
8	12,0	–	7,6	0,4	0,9	79,1
10	18,2	–	0,8	0,9	0,5	79,6
12	7,0	–	13,3	0,3	0,34	79,06
14	5,3	–	14,4	0,8	0,48	79,02
16	6,0	–	14,3	0,6	0,4	78,7
18	5,5	–	14,5	0,6	–	79,4

В заключении, можно отметить, что технология подземного сжигания, т.е. газознергетический способ извлечение целиков, позволяет оставшийся угольные запасы в недрах вовлечь в топливно-энергетический баланс, увеличить коэффициент использования угля. По результаты исследований легли за основу разработки нового утилизатора теплоты [9] для реализации не традиционного газознергетического способа извлечения мощных охранных угольных целиков.

Список литературы:

1. Чернецкая Е.В., Якубов С.И. Основные пути повышения эффективности сжигания твёрдого топлива // «Техника yulduzlari». – Ташкент, 2003. – № 3. – С. 48–53.
2. Селиванов Г.И. Технология отработки пожароопасных пластов Кузбасса для получения различных видов энергии из угля // Нетрадиционные технологии разработки угольных месторождений. – М. : МГИ, 1988. – С. 105–109.
3. Акбаров Т.Г. Техничко-экономическое обоснование вариантов комбинированной отработки мощных бурогольных пластов // Интенсивная и безотходная технология разработки угольных и сланцевых месторождений. – М. : МГИ, 1989. – С. 14–15.
4. Мухиддинов Д.Н., Шаисламов А.Ш., Якубов С.И. Перспективы использования угля в топливно-энергетическом балансе // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. – Ташкент, 2004. – № 1–2. – С. 55–60.
5. Раимжанов Б.Р., Акбаров Т.Г., Шарипов Т.Т. Меры безопасности при одновременной работе шахты и участка подземного сжигания угля // Интенсивная и безотходная технология разработки угольных и сланцевых месторождений. – М. : МГИ, 1989. – С. 95.
6. Якубов С.И., Мухиддинов Д.Н. Экспериментальное подземное сжигание бурого угля Ангрнского месторождения // XX th Century in the History of Central Asia & Topical Problems of Natural Sciences Today. – Tashkent, 2004. – P. 20–22.
7. Якубов С.И. О косвенном контроле за процессом подземного сжигания угля Ангрнского месторождения // Химическая технология. Контроль и управление. – Ташкент, 2007. – № 1. – С. 45–49.



8. Якубов С.И. Сравнительная оценка химического превращения энергии угля при его подземном сжигании // Композиционные материалы. – Ташкент : NТTK КОМПОЗИТ, 2005. – № 4. – С. 78–80.
9. Авторское свидетельство № 1471648.(СССР) 1988 г. Устройство для утилизации тепла продуктов подземного сжигания угля / Мухиддинов Д.Н., Серов В.А., Баситов Р.Б., Лужанский Д.М., Якубов С.И., Дуданов В.П., Ярунин С.А.

List of references:

1. Chernetskaya E.V., Yakubov S.I. Main ways of increasing the efficiency of solid fuel combustion // «Texnika yulduzlari». – Tashkent, 2003. – № 3. – P. 48–53.
2. Selivanov G.I. Technology of mining fire-prone seams of Kuzbass for obtaining different types of energy from coal // Non-traditional technologies of coal deposits development. – M. : MGI, 1988. – P. 105–109.
3. Akbarov T.G. Technical and economic substantiation of variants of combined mining of thick brown coal beds // Intensive and non-waste technology of coal and shale deposits development. – Moscow state university of oil and gas, 1989. – P. 14–15.
4. Mukhiddinov D.N., Shaislamov A.Sh., Yakubov S.I. Prospects of using coal in the fuel–energy balance // Energiya va resurs tezhash muammolari. – Tashkent, 2004. – № 1–2. – P. 55–60.
5. Raimzhanov B.R., Akbarov T.G., Sharipov T.T. Safety measures at simultaneous operation of a mine and an underground coal combustion site // Intensive and non-waste technology of developing coal and shale deposits. – Moscow state university of oil and gas, 1989. – P. 95.
6. Yakubov S.I., Mukhiddinov D.N. Experimental underground combustion of lignite Angren field // XX th Century in the History of Central Asia & Topical Problems of Natural Sciences Today. – Tashkent, 2004. – P. 20–22.
7. Yakubov S.I. On the indirect control of underground coal combustion in Angren deposit // Chemical Technology. Control and management. – Tashkent, 2007. – № 1. – P. 45–49.
8. Yakubov S.I. Comparative assessment of chemical transformation of coal energy during its underground combustion // Composite materials. – Tashkent : NТTK КОМПОЗИТ, 2005. – № 4. – P. 78–80.
9. Author's certificate № 1471648.(USSR) 1988 Device for utilization of heat of products of underground coal combustion / D.N. Mukhiddinov, V.A. Serov, R.B. Basitov, D.M. Luzhanskiy, S.I. Yakubov, V.P. Dudanov, S.A. Yarunin.

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ
В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**ELECTRICAL EQUIPMENT
IN OIL AND GAS INDUSTRY**



УДК 621.314.21

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

MATHEMATICAL MODEL OF A SINGLE-PHASE TRANSFORMER

Автайкин Илья Николаевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
glubokovodnik@yandex.ru

Квон Алексей Михайлович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
alexndinasofi@yandex.ru

Шестаков Фёдор Алексеевич

студент,
Кубанский государственный технологический университет
mr.fedor2002@mail.ru

Бесчастный Иван Андреевич

студент,
Кубанский государственный технологический университет
ivan10x800@gmail.com

Аннотация. В работе представлена математическая модель однофазного двухобмоточного трансформатора с учетом магнитных потерь в сердечнике. Представленная имитационная модель позволяет получить динамические характеристики трансформатора в переходных и установившихся режимах.

Ключевые слова: simulink модель, модель трансформатора, динамические звенья, уравнения равновесия, схема замещения, передаточная функция, имитационная модель.

Avtaykin Ilya Nikolaevich

Candidate of technical Sciences,
Associate Professor, Department of electrical
engineering and electrical machines,
Kuban State Technological University
glubokovodnik@yandex.ru

Kvon Aleksei Mikhailovich

Candidate of technical Sciences,
Associate Professor, Department of electrical
engineering and electrical machines,
Kuban State Technological University
alexndinasofi@yandex.ru

Shestakov Fedor Alekseevich

Student,
Kuban State Technological University,
mr.fedor2002@mail.ru

Beschastny Ivan Andreevich

Student,
Kuban State Technological University
ivan10x800@gmail.com

Annotation. The paper presents a mathematical model of a single-phase two-winding transformer taking into account magnetic losses in the core. The presented simulation model allows us to obtain the dynamic characteristics of the transformer in transient and steady-state modes.

Keywords: simulink model, transformer model, dynamic links, equilibrium equations, substitution scheme, transfer function, simulation model.

Общий подход к разработке математических моделей трансформаторов различных конструкций можно представить на примере однофазного двухобмоточного трансформатора. Из общего курса электрических машин [1, 2] известно, что процесс преобразования энергии в трансформаторе описывается уравнениями равновесия напряжений и токов:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= r_1 i_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + M \frac{d(i_1 + i_2')}{dt} \\ 0 &= u_2' + r_2' i_2' + L_{\sigma 2}' \frac{di_2'}{dt} + M \frac{d(i_1 + i_2')}{dt} \\ i_{01} &= i_1 + i_2' \end{aligned} \right\}, \tag{1}$$

где $i_1, i_2', u_1, u_2', r_1, r_2', L_{\sigma 1}, L_{\sigma 2}'$ – токи, напряжения, сопротивления, индуктивности от потоков рассеяния первичной и приведенной вторичной обмоток; M – коэффициент взаимной индуктивности.

Для построения имитационной модели трансформатора представим уравнения равновесия напряжений в операторной форме и учтем, что ЭДС в первичной и приведенной вторичной обмотках равны

$$e_1 = e_2' = M \frac{d(i_1 + i_2')}{dt}.$$

Тогда операторной форме будут соответствовать схема замещения (рис. 1) и система равновесия напряжений (2)

$$\left. \begin{aligned} U_1(p) &= r_1 \dot{I}_1(p) + pL_{\sigma 1} \dot{I}_1(p) - \dot{E}(p) \\ 0 &= \dot{U}_2'(p) + r_2' \dot{I}_2'(p) + pL_{\sigma 2}' \dot{I}_2'(p) - \dot{E}(p) \\ \dot{I}_{01}(p) &= \dot{I}_1(p) + \dot{I}_2'(p) \end{aligned} \right\}. \tag{2}$$

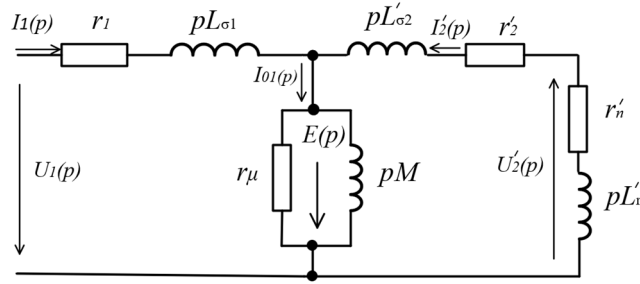


Рисунок 1 – Т-образная схема замещения трансформатора в операторной форме

Для реализации системы (2) в Matlab Simulink составим имитационную модель. Разрешим первую строку из (2) относительно тока $I_1(p)$

$$I_1(p) = \frac{U_1(p) + \dot{E}(p)}{pL_{\sigma 1} + r_1} = (U_1(p) + \dot{E}(p)) \cdot \frac{1}{pL_{\sigma 1} + r_1}. \tag{3}$$

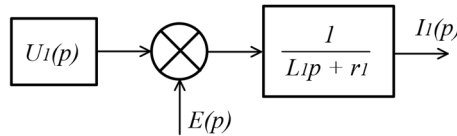


Рисунок 2 – Блок-схема реализации уравнения 3

Электродвижущая сила, возникающая в основной индуктивности обмотки, может быть получена из закона Ома на участке контура намагничивания от действия тока холостого хода. Фазовое отставания ЭДС от тока холостого хода обеспечивается отрицательным знаком.

$$\dot{E}(p) = -I_{01}(p) \frac{M \cdot r_{\mu} p}{Mp + r_{\mu}}. \tag{4}$$

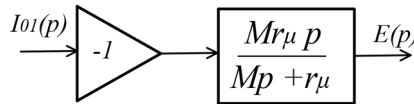


Рисунок 3 – Блок-схема реализации уравнения 4

Выведем напряжение на потребителе вторичной цепи. Из второй строки (2) и закона Ома для участка цепи потребителя $\dot{U}_2'(p) = (r_n' + pL_n')I_2'(p)$

$$\begin{cases} \dot{U}_2'(p) = \dot{E}(p) - r_2'I_2'(p) - pL_{\sigma 2}'I_2'(p); \\ \dot{U}_2'(p) = (r_n' + pL_n')I_2'(p). \end{cases}$$

$$\dot{E}(p) - r_2'I_2'(p) - pL_{\sigma 2}'I_2'(p) = (r_n' + pL_n')I_2'(p)$$

$$I_2'(p) = \frac{\dot{E}(p)}{(L_{\sigma 2}' + L_n')p + r_2' + r_n'};$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_2'(p) &= I_2'(p) \cdot (r_n' + pL_n') = \frac{\dot{E}(p)}{(L_{\sigma 2}' + L_n')p + r_2' + r_n'} \cdot (r_n' + pL_n') = \\ &= \dot{E}(p) \frac{(r_n' + pL_n')}{(L_{\sigma 2}' + L_n')p + r_2' + r_n'} \end{aligned} \tag{5}$$

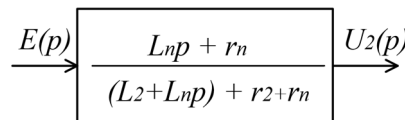


Рисунок 4 – Блок-схема реализации уравнения 5



Уравнение равновесия токов

$$i_{01}(p) = i_1(p) + i_2'(p). \tag{6}$$

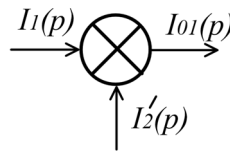


Рисунок 5 – Блок-схема реализации уравнения 6

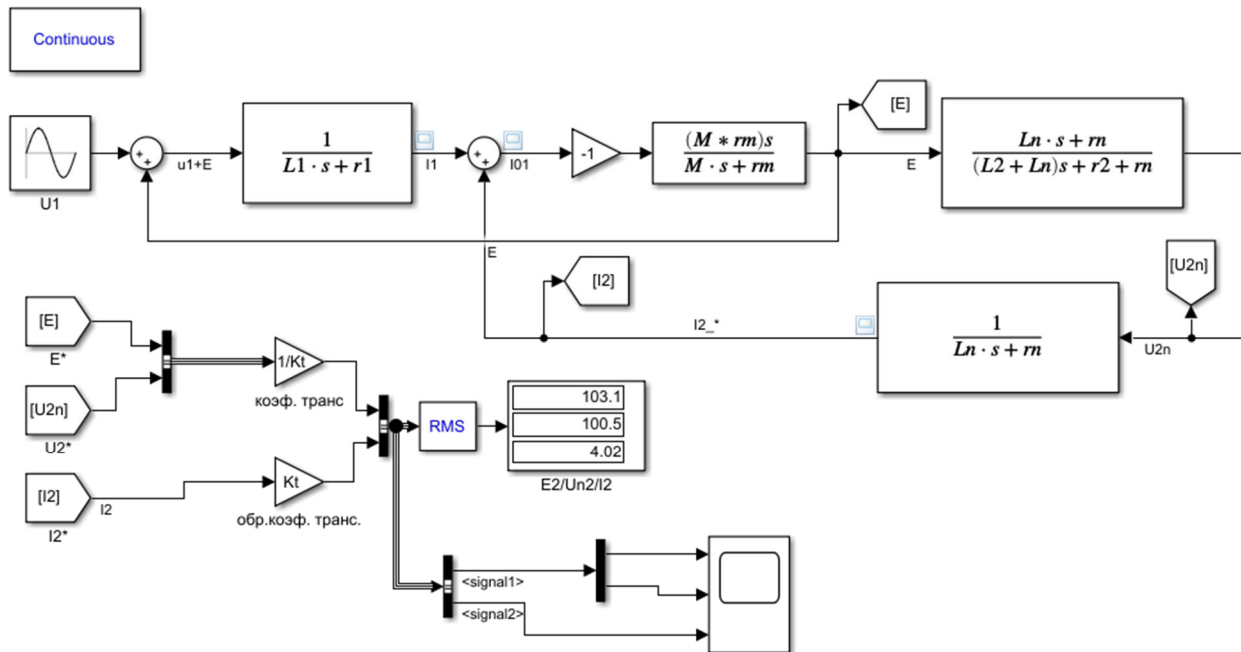


Рисунок 6 – Имитационная модель однофазного двухобмоточного трансформатора

Список литературы:

1. Лейтес Л.В., Пинцов А.М. Схемы замещения многообмоточных трансформаторов. – М. : Энергия, 1974.
2. Основы теории цепей: учебник для вузов / Г.В. Зевеке [и др.]. – 5-е изд. перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.

List of references:

1. Leytes L.V., Pintsov A.M. Multiwinding transformer substitution diagrams. – М. : Energia, 1974.
2. Fundamentals of circuit theory: a textbook for universities / G.V. Zeeveke [et al.]. – 5-th edition revised. – М. : Energoatomizdat, 1989. – 528 p.



УДК 6621.313.12.017:553

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАЗГРУЗКИ ГЕНЕРАТОРОВ В ИЗОЛИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

DEVELOPMENT OF THE LOAD SHEDDING SYSTEM OF GENERATORS AT AN ISOLATED POWER SYSTEM OF A FIELD

Бацева Наталья Ленмировна

кандидат технических наук, доцент,
доцент Отделения электроэнергетики и электротехники,
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
batsevan@tpu.ru

Валиев Тимур Тофикович

Заместитель главного инженера по эксплуатации
ПрЭО «Ямал»,
ООО «Газпромнефть Энергосистемы»
Valiev.TT@gazprom-neft.ru

Федькин Артем Сергеевич

студент Отделения электроэнергетики и электротехники,
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
asf21@tpu.ru

Хошбекян Самвел Мкртчичович

студент отделения электроэнергетики и электротехники,
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
smh5@tpu.ru

Аннотация. Статья посвящена совершенствованию системы разгрузки газотурбинных агрегатов в изолированной энергетической системе нефтегазоконденсатного месторождения. По результатам проведенных исследований выявлено, что даже совместная работа автоматической частотной разгрузки и дополнительной автоматической разгрузки для ограничения снижения частоты в изолированной энергосистеме месторождения не даёт гарантий прекращения снижения частоты при возникновении возмущения и переходного процесса, поэтому предлагается внедрить систему автоматической быстрой разгрузки с целью сокращения потери добычи углеводородов и собственных нужд станции.

Ключевые слова: нефтегазоконденсатное месторождение, изолированная энергосистема, газотурбинная электростанция, газотурбинный агрегат, автоматическая частотная разгрузка, дополнительная автоматическая разгрузка, система автоматической быстрой разгрузки.

Batseva Natalia Lenmirovna

Ph. D., Associate Professor
of Power Engineering Department,
National Research
Tomsk Polytechnic University
batsevan@tpu.ru

Valiev Timur Tofikovich

Deputy Chief Engineer for Operation
of the Yamal PSP,
Gazpromneft Power Systems LLC
Valiev.TT@gazprom-neft.ru

Fedkin Artem Sergeevich

Student of Power Engineering Department,
National Research
Tomsk Polytechnic University
asf21@tpu.ru

Khoshbekyan Samvel Mkrтчichovich

Student of Power Engineering Department,
National Research
Tomsk Polytechnic University
smh5@tpu.ru

Annotation. This paper demonstrates the developed load shedding system of gas turbine units in an isolated power system of an oil and gas condensate field. The results show that even combined operation of an under-frequency load shedding and supplementary automatic load shedding does not guarantee the termination of the frequency decreasing, if a disturbance and transient process are appeared in an isolated power system. Therefore, it is suggested to implement the automatic power decay system to avoid losses of the hydrocarbon extraction and station auxiliaries.

Keywords: oil and gas condensate field, isolated power system, gas turbine power plant, gas turbine unit, under-frequency load shedding, supplementary automatic load shedding, automatic power decay system.

В изолированных энергосистемах (ЭС) нефтегазоконденсатных месторождений (НГКМ) для выработки электроэнергии и мощности используются высокоманевренные газотурбинные агрегаты (ГТА). Для предотвращения недопустимого снижения частоты и её восстановления при возникновении дефицита генерирующих мощностей в таких ЭС применяют автоматическую частотную разгрузку (АЧР) [1]. При протекании переходного процесса дефицит активной мощности может достигать 45-и % от суммарной мощности нагрузки. Поэтому при скорости снижения частоты в 1,5–2 Гц/с работа АЧР не может прекратить снижение частоты. Если имеется угроза возникновения большого дефицита активной мощности, а скорость снижения частоты велика, то используют дополнительную автоматическую разгрузку (ДАР) [2], которая срабатывает до начала работы АЧР. К сожалению, даже совместная работа АЧР и ДАР не гарантирует предотвращение снижения частоты при возникновении возмущений в изолированных ЭС НГКМ.



Для доказательства этого утверждения была проведена серия экспериментов на модели изолированной ЭС существующего месторождения, где центром питания является газотурбинная электростанция (ГТЭС), в составе которой работают 6 ГТА суммарной мощностью 96 МВт.

В качестве примера приведен эксперимент со следующими условиями: схема ЭС НГКМ – нормальная; в работе 4 ГТА – №№ 1, 4, 5 и 6; в ремонте 2 ГТА – № № 2 и 3; суммарная активная мощность нагрузки – 48 МВт. Потребителями являются кустовые площадки НГКМ, заведённые под ДАР и АЧР.

При возникновении возмущения на шинах 35 кВ ГТЭС происходит аварийный останов ГТА №№ 4 и 5 и наброс нагрузки на ГТА №№ 1 и 6.

Согласно режимной карте центрального диспетчерского управления (ЦДУ) ЭС НГКМ, работа АЧР начинается с уставки 47,8 Гц с разницей по частоте между соседними ступенями в 0,1 Гц. Уставка по времени у ступеней принята в диапазоне 0,2–0,6 с. Объём отключаемой нагрузки в узлах ЭС введен согласно режимной карте.

Начальная уставка для работы ДАР определялась по методике из [3] и равна 49,3 Гц. Скорость снижения частоты составляет 1,5 Гц/с, а уставка по времени – 0,1 с.

Моделирование схемы ЭС, автоматики и протекания процесса осуществлялось в программном модуле RUSTab программно-вычислительного комплекса RASTRWIN3 [4]. Работа АЧР и ДАР запрограммирована во вкладках «Логика» и «Действия» подсистемы «Автоматика». Управляющие воздействия, направленные на отключение или ограничение нагрузочных мощностей кустовых площадок, задавались во вкладке «Действия».

Результаты эксперимента представлены на рисунках 1 и 2.

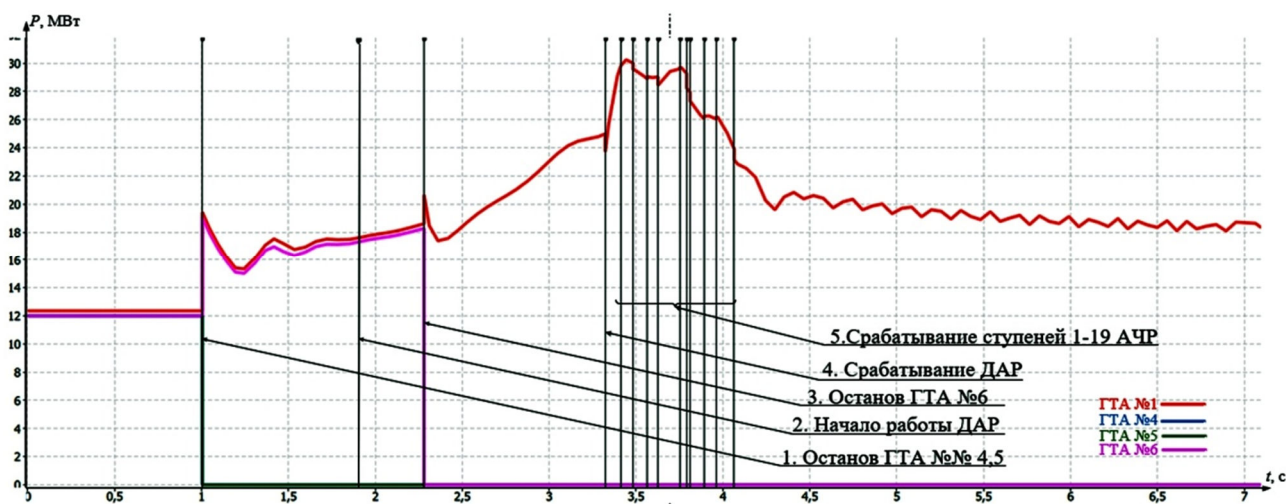


Рисунок 1 – График загрузки ГТА № № 1, 4, 5 и 6

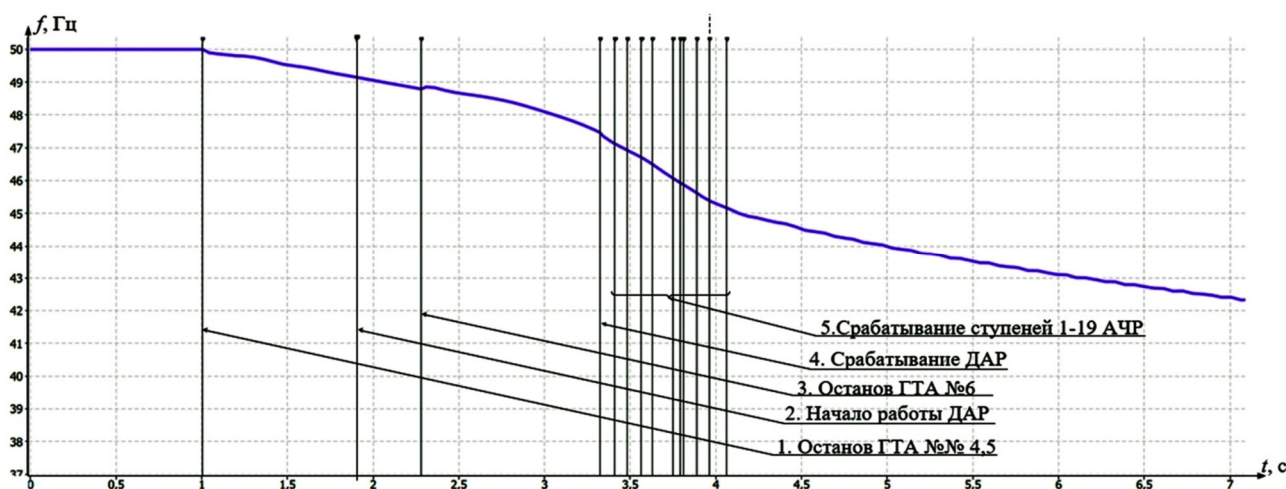


Рисунок 2 – График зависимости частоты от времени для ЭС

Согласно рис. 1 в начале переходного процесса при $t = 1$ с происходит аварийный останов ГТА № № 4 и 5. Потеря генерируемой мощности приводит к набросу мощности на оставшиеся в работе ГТА № № 1 и 6, частота в системе начинает снижаться и на 1.74 с достигает значения 49.3 Гц, ДАР



начинает реагировать на скорость снижения частоты. На 2.28 с при снижении частоты до 48.8 Гц ГТА № 6 аварийно отключается защитой от минимальной частоты. На 3.32 с при частоте 47.47 Гц срабатывает ДАР и отключает часть мощности нагрузки. Мощность, генерируемая ГТА № 1, продолжает расти, а частота – уменьшаться. На 3.41 с при частоте 47.12 Гц срабатывает первая ступень АЧР, мощность нагрузки снижается, дефицит генерируемой мощности уменьшается, но баланса мощности достичь не удается, частота продолжает снижаться, что приводит к останову ГТА.

Согласно осциллограммам (рис. 1 и 2), можно сказать, что совместная работа АЧР и ДАР не предотвращает снижение частоты в ЭС, поэтому предлагается к использованию система автоматической быстрой разгрузки (АБР) с продолжительным и непрерывным режимом работы.

В [5] описана система автоматического противоаварийного управления нагрузкой в изолированно работающей ЭС, которая отличается от предлагаемой системы АБР отсутствием контроля сигнала о закрытии отсечного газового клапана (ОГК). В предложенной системе предусмотрен постоянный контроль сигнала от ОГК, и алгоритм системы запускается при получении сигнала о его закрытии. Помимо этого, схема работы предлагаемой системы АБР (рис. 3) отличается от описанной в [5] схемы тем, что: в блоке 2 формируется режимная карта в соответствии с температурным графиком работы ГТА, что дает возможность использовать оптимальные параметры работы оборудования, тем самым увеличивая надежность и экономичность его использования; система АБР ведет постоянный контроль исходных данных в автоматическом режиме, в то время как в системе из [5] ввод и первичная обработка данных происходят только при вводе системы в работу.

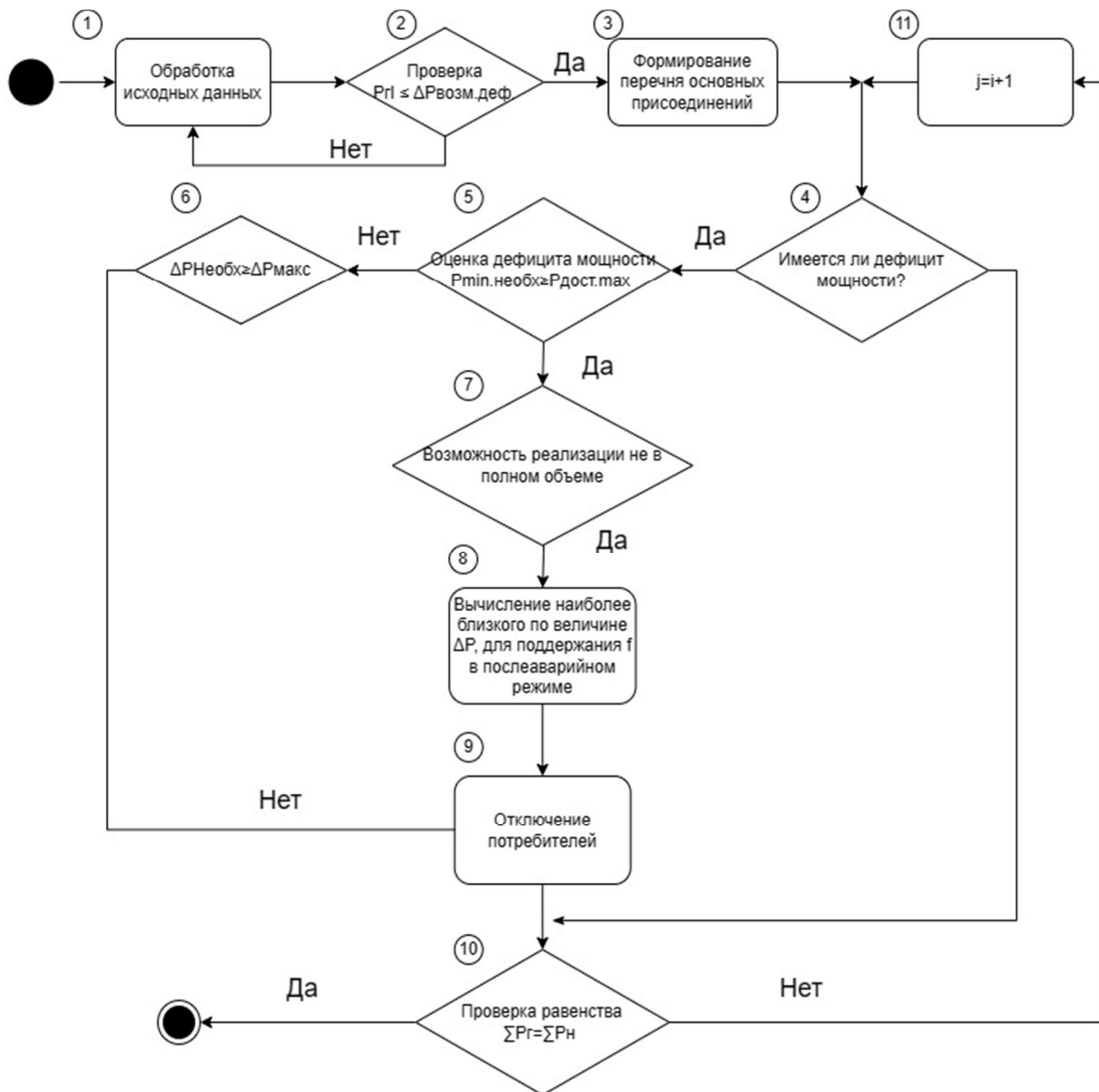


Рисунок 3 – Схема работы системы АБР



Для работы АБР на каждой ячейке распределительных устройств подстанций, заводимой под действие АБР, должны быть организованы: прием сигнала от АБР с действием на блок микропроцессорной релейной защиты, формирование базы данных, ведение суточной, сменной ведомостей, ведомости событий, архива для копирования, включая регистрацию и архивирование действий оператора, регистрация информации об аварийных ситуациях, синхронизация времени АБР по протоколу NTP с сервером времени автоматизированной системы управления технологическим процессом, обеспечение синхронизации времени между журналом сообщений и графическим регистратором данных.

При соблюдении этих условий устройство обеспечит: контроль предшествующего режима с осуществлением приема и обработки телеметрической информации о загрузке генераторов по активной мощности, количества работающих агрегатов, температуры окружающего воздуха, коэффициентов загрузки агрегатов, баланса мощностей генерации и нагрузки; регистрацию входного сигнала «Аварийный останов» («АО») на отсечной газовой клапан от системы возбуждения и электрических защит; сравнение доаварийной загрузки генераторов с уставками срабатывания, рассчитанными из условия заданных пределов мощности для заданного количества работающих агрегатов при определенной температуре окружающего воздуха и в соответствии с изменением мощности на валу силовой турбины. В случае прерывания уставки максимально допустимого небаланса мощности при текущей схемно-режимной ситуации и регистрации «АО», с помощью устройства можно определить уровень дефицита активной мощности, сформировать сигнал на отключение нагрузок согласно приоритетам, определенным в ЦДУ, с погрешностью +2 % от определенного уровня дефицита, передачу сигнала на отключение по волоконно-оптическим линиям связи.

В блоке 1 производится мониторинг и формирование исходных данных, а именно: температуры окружающей среды $t_{окр.ср.}$; активной мощности генерации $P_{ген.}$; количества агрегатов, находящихся в работе n ; коэффициентов загрузки генераторов $k_{загр.}$; мощности нагрузки $P_{нагр.}$.

В блоке 2 формируется режимная карта и проверяется неравенство $P_{ГТ} \leq \Delta P_{возм.деф.}$, где $P_{ГТ}$ – мощность отключенного ГТА, оставшаяся после распределения его мощности между другими ГТА согласно $k_{загр.}$; $\Delta P_{возм.деф.} = P_{макс.по реж.карте} - P_{ГТ мгнов.}$ – возможный дефицит мощности, равный разности максимально возможного по режимной карте дефицита мощности и мгновенной мощности отключенного ГТА.

В блоке 3 определяется суммарная мощность нагрузки $\sum P_{нагр.}$, а также мощность каждого из потребителей, формируется перечень основных присоединений, и задается очередность их отключения в случае возникновения возмущения.

В блоке 4 определяется дефицит мощности на основе сравнения $\sum P_{нагр.}$ и $\sum P_{ген.}$

В блоке 5 оценивается дефицит мощности путем сравнения $P_{min необх.}$ и $P_{дост.мах.}$, где минимально необходимая для отключения мощность $P_{min необх.} = P_{дефиц.} + 2\%$; $P_{дост.мах.}$ – максимальная мощность, доступная для отключения, согласно режимной карте. Если условие $P_{min необх.} \geq P_{дост.мах.}$ не выполняется, то в блоке 6 начинается проверка неравенства $\Delta P_{необх.} \geq \Delta P_{макс.}$, где $\Delta P_{необх.}$ – необходимый для отключения объем мощности; $\Delta P_{макс.}$ – максимально возможный для отключения объем мощности для АБР.

В блоке 7 проверяется возможность реализации отключаемого объема мощности ΔP сравнением с $P_{дефиц.}$.

Блок 8 отвечает за вычисление наиболее близкого по величине ΔP к необходимому для поддержания частоты в послеаварийном режиме в допустимых пределах. В блоке 9 задается алгоритм отключения выбранных потребителей, а в блоке 10 – суммарная генерируемая мощность сравнивается с суммарной мощностью нагрузки. Если равенство не наблюдается, то начинается следующий j -й цикл.

В заключении следует отметить, что генерирующее оборудование изолированных ЭС месторождений имеет малую инерционность по сравнению с оборудованием Единой энергетической системы, поэтому изолированные ЭС чувствительны к возникновению небаланса мощностей.

Эксперименты на расчетной модели показали, что при возникновении возмущений, связанных с остановом ГТА, работа АЧР не всегда успешна. Повышение уставки срабатывания ступеней АЧР по частоте до 49,3 Гц не является выходом: останов ГТА не последует, но это приведет к ложным отключениям электрических нагрузок, сопутствовать которым будут экономические потери от остановки добычи углеводородов. При совместной работе АЧР и ДАР снижение частоты сглаживается в малой степени и на ситуацию не влияет, так как у ДАР, как и у АЧР есть выдержка времени, и срабатывание происходит уже после отключения ГТА. Необходимо учесть, что при достижении уставки по скорости снижения частоты, ДАР отключает потребителей не ступенчато, как это делает АЧР, а сразу всех, какие заведены под ДАР, что на НГКМ часто недопустимо из-за высокой концентрации потребителей первой и второй категорий.

Выходом из ситуации может быть разработка и применение системы АБР, которая реагирует на небаланс генерируемой и нагрузочных мощностей, имеет блок выбора управляющих воздействий и реализует их без ожидания реакции ЭС на возникающие возмущения, обеспечивает недопущение возникновения условий для ложного срабатывания АЧР и технологических защит.

**Список литературы:**

1. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта от 19-04-2011 СТО 59012820.29.240.001-2011 // АО «СО ЕЭС». – 2011. – 30 с.
2. Технические правила организации в ЕЭС России автоматического ограничения снижения частоты при аварийном дефиците активной мощности (автоматическая частотная разгрузка) от 31.12.2009 СТО 56012820.29.240.001-2015 // АО «СО ЕЭС». – 2015. – 21 с.
3. Основы противоаварийной автоматики в электроэнергетических системах : учебное пособие / Р.А. Ванштейн [и др.]. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Чебоксары : Изд-во РИЦ «СРЗАУ», 2022. – 392 с.
4. Руководство пользователя ПК RUSTab [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.rastrwin.ru/>
5. Патент № 2723544 Российская Федерация, МПК H02P 9/10 (2006.01), H02H 3/00 (2006.01), H02J 3/14 (2006.01), G01R 21/00 (2006.01). Система автоматического противоаварийного управления нагрузкой в изолированно работающей энергетической системе: № 2020105795: заявл. 06.02.2020: опубл. 15.06.2020 / Андранович Б., Аюев Б.И. и др. – 12 с.

List of references:

1. Automatic emergency control of power system modes. Automatic emergency control of power systems. Conditions for the organization of the process. Terms of establishment of the object from 19-04-2011 STO 59012820.29.240.001-2011 // SO UES. – 2011. – 30 p.
2. technical rules of organization in UES of Russia of automatic limitation of frequency reduction in case of emergency deficit of active power (automatic frequency unloading) from December 31, 2009 STO 56012820.29.240.001-2015 // SO UES, JSC. – 2015. – 21 p.
3. bases of emergency control automation in electric power systems : textbook / R.A. Vanstein [and others]. – 2nd edition, revised and enlarged. – Cheboksary : Publishing house of RIC «SRZAU», 2022. – 392 p.
4. User's guide PC RUSTab [Electronic resource]. – URL : <http://www.rastrwin.ru/>
5. Patent № 2723544 Russian Federation, IPC H02P 9/10 (2006.01), H02H 3/00 (2006.01), H02J 3/14 (2006.01), G01R 21/00 (2006.01). A system of automatic emergency load control in an isolated power system: no. 2020105795: application. 06.02.2020: publ. 15.06.2020 / Andranovich B., Ayuyev B.I. et al. – 12 p.



УДК 621.313

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ НЕФТЕДОБЫЧЕ

INVESTIGATION OF THE ENERGY PERFORMANCE OF BRUSHLESS ELECTRIC MOTORS IN OIL PRODUCTION

Иванова Татьяна Николаевна

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры Бурения нефтяных и газовых скважин,
Удмуртский государственный университет
nf-itn@udsu.ru

Ковалев Дмитрий Юрьевич

аспирант,
Удмуртский государственный университет
главный инженер,
ООО «РИМЕРА-сервис»

Аннотация. Вентильные электродвигатели наиболее энергоэффективны за счет пусковых характеристик, наличия постоянных магнитов на роторе и специальной схемы подачи питающего напряжения на обмотке статора. Проведены исследования технических и энергетических показателей после ремонта погружных синхронных односекционных вентильных. Из экспериментальных данных следует, что технические и энергетические показатели отремонтированного двигателя ВЭДТ1-32-177М-3000Э соответствуют заявленным в ТУ 27.11.2-107-20340362-2020 и годны к внедрению на скважины.

Ключевые слова: вентильные двигатели, мощность, статор, ротор, магниты.

Ivanova Tatyana Nikolaevna

Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor, Professor
of the Department of Oil
and Gas Well Drilling
Udmurt State University
nf-itn@udsu.ru

Kovalev Dmitry Yuryevich

Postgraduate student,
Udmurt State University,
Chief Engineer,
RIMERA-service LLC

Annotation. Valve motors are the most energy efficient due to starting characteristics, the presence of permanent magnets on the rotor and a special scheme for supplying voltage to the stator winding. Researches of technical and power indicators after repair of submersible synchronous one-section valve are carried out. It follows from the experimental data that the technical and energy indicators of the repaired VEDT1-32-177M-3000E engine correspond to those stated in TU 27.11.2-107-20340362-2020 and are suitable for implementation in wells.

Keywords: brushless motors, power, stator, rotor, magnets.

Вентильные электродвигатели погружные синхронные односекционные с диаметром корпуса 117 мм, длиной 2,8 м (рис. 1) предназначены для эксплуатации в качестве привода погружных центробежных насосов и откачки пластовой жидкости (смеси нефти, пластовой воды, попутного газа) из нефтяных скважин, имеющих угол отклонения по вертикали не более 60 градусов и внутренним диаметром обсадных труб не менее 123,7 мм. Управление двигателем осуществляется от станции управления с трехпроводной линией питания. Номинальная частота ВЭД $f = 1000$ Гц, частота вращения вала $n = 3000$ об/мин, число пар полюсов $p = 2$. Рабочее направление вращения вала со стороны головки, как правило, по часовой стрелке. Вал погружного электродвигателя соединяется через шлицевую муфту с валом гидрозащиты непосредственно при монтаже на скважине. Внутренняя полость двигателя герметична и заполнена диэлектрическим маслом. В головке электродвигателя имеется разъем для электрического и механического соединения с питающим электрическим кабелем. Верхняя часть гидрозащиты состыковывается с погружным насосом. При подаче напряжения по кабелю, вал двигателя приводится во вращение и через шлицевую муфту вращает вал насоса. Статор выполнен из трубы, в которой запрессован магнитопровод, изготовленный из листовой электротехнической стали (рис. 1, б). В пазы статора установлена пазовая гильза из фторопластовой трубки и уложена протяжная трехфазная обмотка из специального обмоточного провода (рис. 1, в). Фазы обмотки соединены в звезду. Внутри статора размещается ротор, состоящий из взаимно ориентированных наборных магнитных пакетов из 28 шт., выполненных из редкоземельных металлов самарий-кобальт. Между пакетами установлены подшипники из немагнитного чугуна «нирезист» с запрессованными бронзографитовыми втулками, закрепленными стопорными кольцами от проворота в расточке статора. Вал ротора имеет отверстие в центре для циркуляции масла по длине вала, в нижней части ротора расположен фильтр для очистки масла от механических примесей. Верхняя часть статора соединена с узлами опорного подшипника и токоввода – элемента электрического разъема для подсоединения кабеля, обратными клапанами для закачки масла, гидрозащитой для защиты внутренней полости двигателя от попадания пластовой жидкости, герметичности ЭД и термоиндикатором для контроля перегрева двигателя.

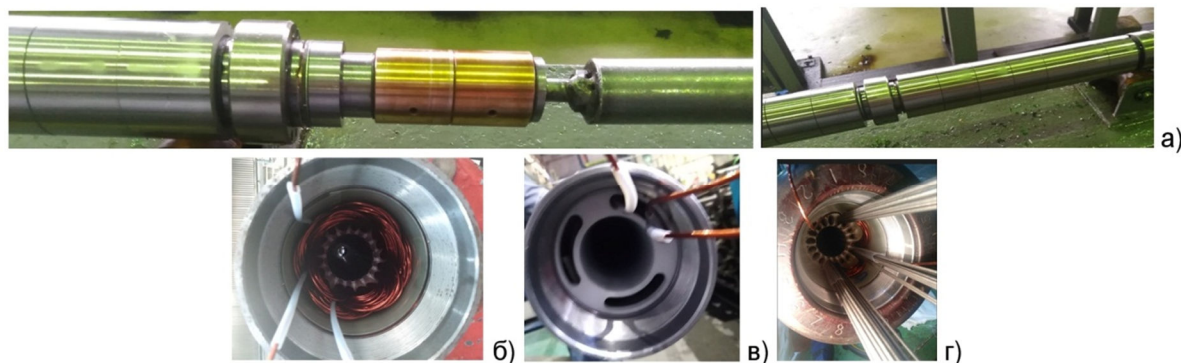


Рисунок 1 – Вентильный погружной односекционный электродвигатель производства ООО «Ремера-Алнас»: а) общий вид; б) статор с запрессованным магнитопроводом; в), г) пазы статора с пазовой гильзой из фторопластовой трубки и протяжной трехфазной обмоткой

Цель исследований: определение технических и энергетических показателей вентильного электродвигателя после ремонта и повышение надежности вентильного привода при эксплуатации в составе погружного центробежного насоса.

Объект испытаний: вентильный электродвигатель ВЭДТ1-32-117М-3000Э производства ООО «Римера-Алнас» после ремонта ротора, замены кабельных линий и обмотки предприятием ООО «РИМЕРА-Сервис» г. Нижневартовск.

Опытные испытания соответствовали ГОСТ 11828-86, ГОСТ Р 56830-2015, ГОСТ IEC 60034-1-2014, ТУ 27.11.2-107-20340362-2020.

Определение показателей ВЭД после ремонта проводились на стенде СИ ЭППА ООО «ЭПУ-ИТЦ» (рис. 2 [1]), аттестованного ВНИИМС. Двигатель подвешен вертикально, заполнен электроизоляционным маслом МДПН, электроснабжение от вентильной станции управления СИСУ ВД-125А с шести пульсной системой управления через повышающий трансформатор ТМПНГ-125/3 УХЛ1.

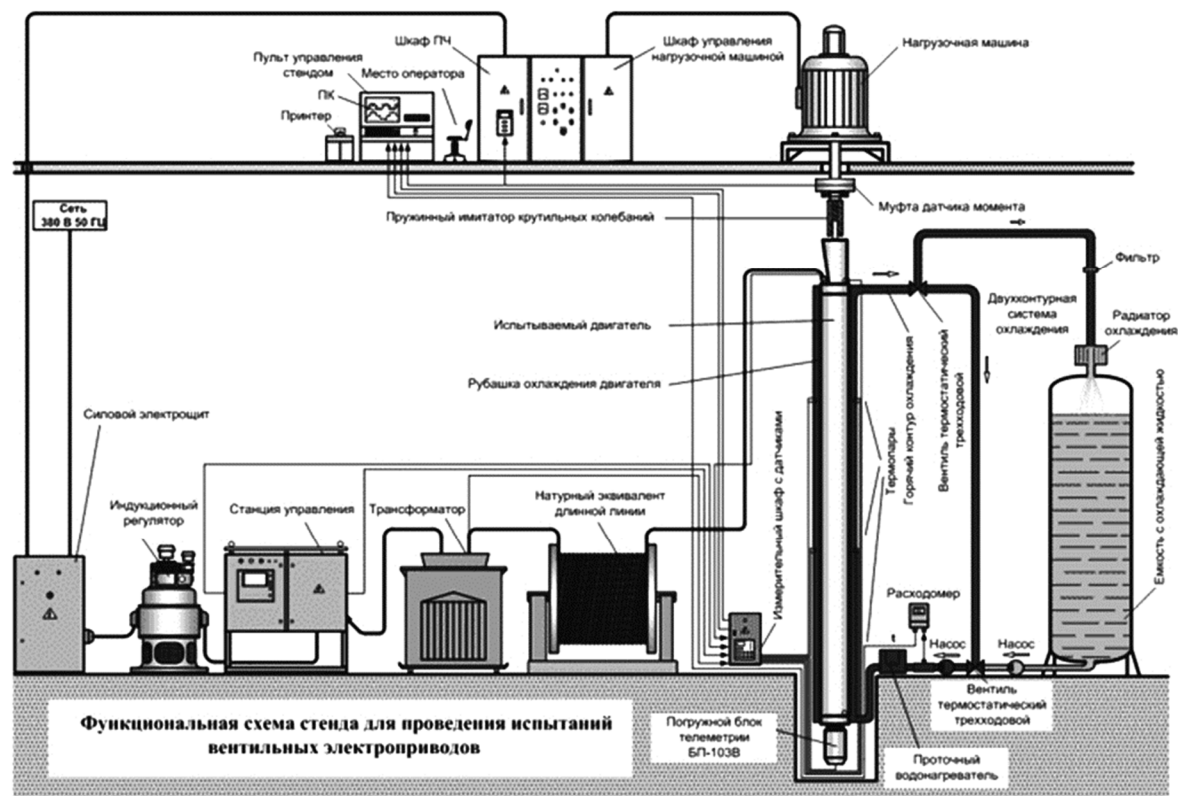


Рисунок 2 – Структурная схема стенда для проведения исследований вентильных электроприводов

Измерение сопротивления изоляции обмотки статора относительно корпуса ЭД проводилось мегомметром MI 3200 при температуре корпуса + 23,6 °С. Сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса ЭД составило 36312 МОм, что соответствует техническим условиям ТУ 27.11.2-



107-20340362-2020 по показателю > 2000 МОм. Индекс поляризации составил 2,23 при норме в технических условиях > 2,0. Омическое сопротивление обмотки по фазам 2,540/2,551/2,548 Ом – норма.

Сопротивление фаз обмотки статора в холодном состоянии, измеренные микроомметром С.А6250 и приведенные к 20 °С: междофазные сопротивления измеренные непосредственно на клеммах ЭД 1,503/1,506/1,484 Ом; сопротивления фаз на клеммах двигателя 1,325/1,324/1,320 Ом. Сопротивления фаз обмотки статора при постоянном токе в холодном состоянии должно быть в диапазоне 1,283 ± 0,064 Ом. Установлено, чем больше частота вращения, тем выше межфазное ЭДС.

Для определения сопротивления обмотки статора ЭД в нагретом состоянии использовалось устройство УПСО-1, позволяющее измерять сопротивление обмотки в момент остановки двигателя. Сопротивление фаз обмоток статора при постоянном токе в холодном состоянии соответствует диапазону ТУ.

Проведение экспериментов холостого хода состояло из определения характеристик ЭД при работе на холостом ходу в диапазоне частот вращения 1000 – 3500 об/мин. Движение холостого хода проводилось с воздушным естественным охлаждением при величине отпайки трансформатора 1240 В, при этом измерялись: фазное значение напряжения и междофазное напряжение на клеммах двигателя, ток двигателя I_{хх}, потери холостого хода Р_{хх} и S_{хх}. Результаты даны в таблице 1, на рисунке 3.

Таблица 1 – Экспериментальные характеристики ВЭД при работе на холостом ходу

n, об/мин	1000	1500	2000	2500	3000	3500
U _ф , В	225	350	450	580	670	800
U _{мф} , В	390	600	800	1000	1200	1350
I, А	0,55	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
ΣP, Вт	260	480	720	1000	1400	1800
ΣS, ВА	330	570	850	1200	1600	2000
km	0,78	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
Тобм, °С	75	82	83	84	85	86



Рисунок 3 – Зависимость потребляемой мощности двигателя на холостом ходу от изменения частоты вращения

Определение рабочих характеристик вентильного двигателя проводилось в нагретом состоянии (температура обмотки ЭД 72–78 °С) в диапазоне нагрузок на валу ЭД от 28–120 % от номинальной мощности, при величине отпайки трансформатора 1420–1600 В. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальные характеристики ВЭДТ1-32-177М-3000Э

Частота вращения ротора двигателя n, об/мин	2990	3000	3002	3016
Крутящий момент на валу двигателя M, Нм	48,5	91,5	96,2	98,7
Активная потребляемая мощность двигателя P ₁ , кВт	31,28	31,688	33,68	34,73
Коэффициент полезного действия КПД	0,866	0,907	0,898	0,905

Измеренные величины U_n, I_n, КПД, km ВЭДТ1-32-177М-3000Э соответствуют заявленным техническим и энергетическим параметрам ТУ 27.11.2-107-20340362-2020 и вентильный двигатель годен к внедрению на скважины.

Опытно-промышленные исследования ВЭД на месторождениях Сибири позволили установить показатели надёжности: средняя наработка на отказ 22000 ч, средний ресурс до капитального ремонта 25000 ч, средний срок службы до списания 5,5 лет.

Список литературы / List of references:

1. <https://lukoil-epu.ru/businesses/sieppa>



УДК 62-523.2

ТРАНСФОРМАТОРНО-ТРАНЗИСТОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПОРШНЕВЫМ НЕФТЯНЫМ НАСОСОМ

TRANSFORMER-TRANSISTOR VOLTAGE REGULATOR FOR CONTROL OF HYDRO-PISTON OIL PUMP

Старостина Ярослава Константиновна

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Электропривод и АПУ»
Ульяновский Государственный технический университет
yaroslava.starostina@bk.ru

Поснов Данила Дмитриевич

Ульяновский Государственный технический университет
danila_posnov@mail.ru

Токарев Андрей Дмитриевич

Ульяновский Государственный технический университет
andreyka_tokarev_96@mail.ru

Аннотация. В данной статье будут рассмотрены: структура гидропоршневого насоса, устройство трансформаторно-транзисторного регулятора напряжения, способ управления асинхронным двигателем.

Ключевые слова: трансформаторно-тиристорных регуляторов напряжения, гидропоршневой насос, электропривод, система управления АД, транзисторный преобразователь, вольтодобавочный трансформатор, погружной электродвигатель, электроцентробежный насос.

Starostina Yaroslava Konstantinovna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Electric Drive and APU,
Ulyanovsk State Technical University
yaroslava.starostina@bk.ru

Posnov Danila Dmitrievich

Ulyanovsk State Technical University
danila_posnov@mail.ru

Tokarev Andrey Dmitrievich

Ulyanovsk State Technical University
andreyka_tokarev_96@mail.ru

Annotation. This article will consider: the structure of a hydraulic piston pump, the device of a transformer-transistor voltage regulator, the method of controlling an asynchronous motor.

Keywords: transformer-thyristor voltage regulators, hydraulic piston pump, electric drive, AM control system, transistor converter, booster transformer, submersible electric motor, electric centrifugal pump.

Гидропоршневой насос состоит из двух основных частей, которые в свою очередь подразделяются на следующие основные компоненты: наземного оборудования (станции управления, трансформатора) и скважинного оборудования (погружного асинхронного электродвигателя, погружного электроцентробежного насоса и погружного трансформатора).

Погружные электродвигатели (ПЭД), работают в связке с силовым насосом, т.е. являются приводом погружного электроцентробежного насоса, предназначенного для подачи рабочей жидкости в гидродвигатель насоса. При этом питание погружных электродвигателей обеспечивается при помощи, погружного масляного трансформатора, а также наземного воздушного трансформатора.

Структура погружного асинхронного электродвигателя включает в себя следующие компоненты: электродвигатель и гидрозащита.

Электродвигатель может использоваться только при условии соблюдения герметичности корпуса. Для защиты внутренних компонентов от попадания пластовой жидкости используется гидрозащита, состоящая из двух компонентов: компенсатора и протектора.

Компенсатор используется для стабилизации давления в электродвигателе, расположенного внутри эксплуатируемой скважины, а также для пополнения объемов масла в электродвигателе.

Протектор защищает электродвигатель от попадания жидкости, получаемой вместе с добываемой нефтью, а также устраняет потери рабочей жидкости при ее движении к насосу и устанавливается над двигателем.

Статор ПЭД выполнен из трубы с расположенным внутри магнитопроводом, собранным из листов электротехнической стали, содержащий пазы, в которые уложена трехфазная обмотка.

Ротор двигателя представлен набором пакетов, которые набраны из листов электротехнической стали, при этом между пакетами расположены промежуточные подшипники, последовательно зафиксированные на валу электродвигателя [1].

Система управления для погружного насоса должна выполнять следующие функции: производить плавный пуск двигателя, переводить его в тормозной режим и иметь определенный диапазон регулирования, быть надежной и энергоэффективной.

Применение малоэлементного диодно-транзисторного модуля в системах управления гидропоршневым насосом на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором является удачным решением.

Схема управления изображена на рисунке 1, ее применение позволит нам получить значительный прирост в энергоэффективности в системах позиционирования.

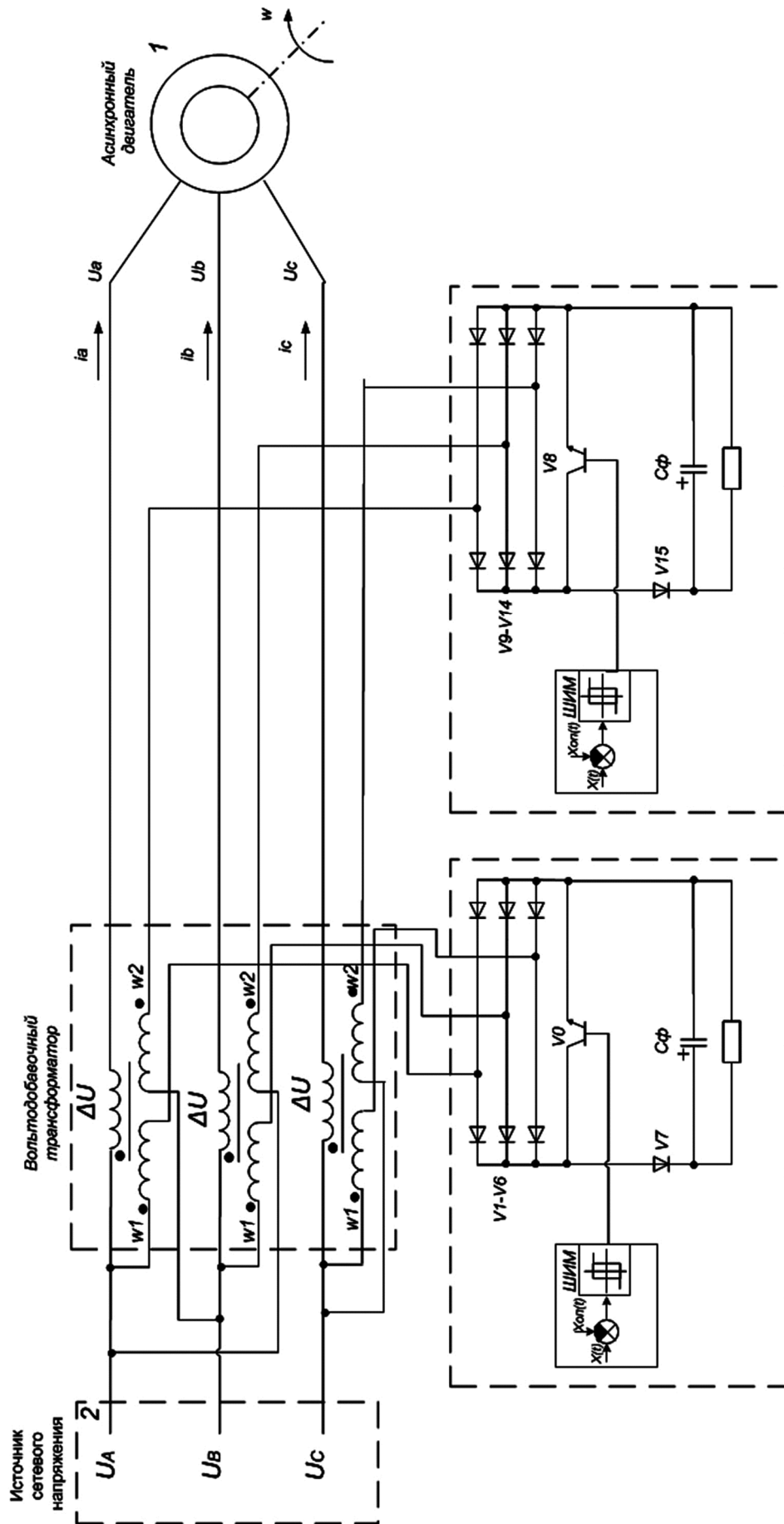


Рисунок 1 – Схема управления асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором



Малоэлементность выражена в виде двух силовых транзисторов V0, V8, расположенных в общей цепи фаз вольтодобавочного трансформатора.

Первичные обмотки соединены по схеме звезда, в таком случае нулевой точкой является точка звезды, функции которой выполняют силовые транзисторы V0 и V8.

В первом режиме работы с ШИМ контроллера поступают сигналы на затвор транзистора V0, вследствие чего происходит запитывание вторичных обмоток (w_1) вольтодобавочного трансформатора сонаправленной фазе по отношению к основным фазам напряжения сети, это приводит к повышению сетевого фазного напряжения на величину ЭДС, проходящих через вторичные обмотки.

Во втором режиме при поступлении с ШИМ контроллера отпирающих импульсов на затвор транзистора V8, происходит запитывание вторичных обмоток (w_2) и возникшее ЭДС будет находиться в противоположной фазе по отношению к основным фазам напряжения сети, это приводит к снижению фазного сетевого напряжения на величину ЭДС, проходящих через вторичные обмотки.

Также коммутации транзисторов в схеме приводят к одновременному регулированию напряжения вольтодобавки во всех трёх статорных обмотках двигателя. Данный процесс происходит без прерываний и искажений формы токов на выходе и в статорных обмотках двигателя. Защитой от перенапряжений в момент запитывания транзистора является конденсатор Сф, параллельно подключенный к транзистору [2].

В результате компьютерного моделирования позиционной разомкнутой схемы на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с использованием системы управления на основе малоэлементного диодно-транзисторного модуля были получены графики мгновенной потребляемой мощности из сети по фазе А за время пуска и торможения асинхронного двигателя. Сравнение полученных графиков с графиками мгновенной потребляемой мощности из сети по фазе А при прямой работе двигателя от сети без использования регулирующих систем показано на рисунке 2

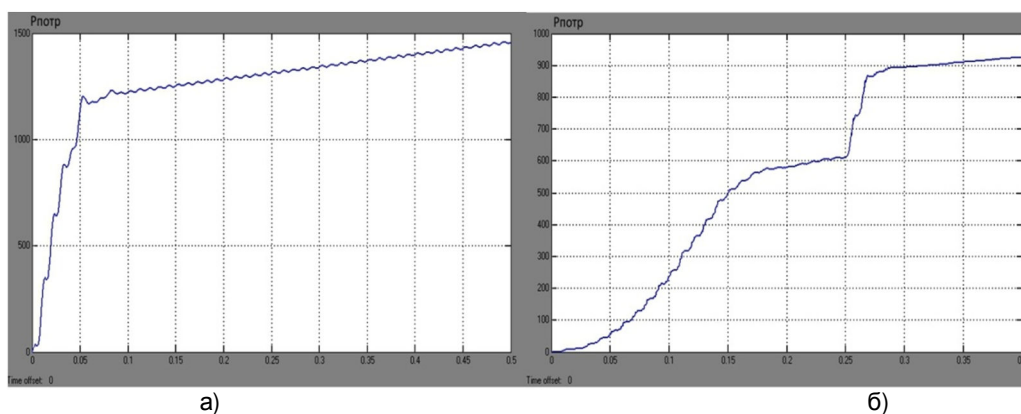


Рисунок 2 – Графики мгновенной потребляемой мощности из сети по фазе А за время пуска и торможения асинхронного двигателя в позиционных разомкнутых системах: а) не используя регулирующие устройства; б) с использованием предлагаемого регулирующего устройства

На основании всего вышеперечисленного можно сделать выводы:

1. Система управления малоэлементного диодно-транзисторного модуля в системах управления асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором является компактным и простым решением, в отличие от конкурентов, которые используют большое количество полупроводниковых приборов.
2. Также данная система имеет предпосылки к оптимизации энергопотребления при различных режимах работы.

Список литературы:

1. Студопедия. Погружной электродвигатель. [Электронный ресурс]. – URL : https://studopedia.ru/1_80459_pogruznoy-elektrodvigatel.html
2. Патент № 2660187 С1 Российская Федерация, МПК H02P 1/26, H02P 1/22, H02P 3/20. Мало-вентильный четырёхквadrантный электропривод переменного тока и способ управления им : № 2017111355 : заявл. 04.04.2017 : опубли. 05.07.2018 / С. Н. Сидоров, Я. К. Старостина ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет».

List of references:

1. Studopedia. Submersible electric motor. [Electronic resource]. – URL : https://studopedia.ru/1_80459_pogruznoy-elektrodvigatel.html
2. Patent No. 2660187 C1 Russian Federation, IPC H02P 1/26, H02P 1/22, H02P 3/20. Small-valve four-quadrant AC electric drive and its control method : No. 2017111355 : application. 04.04.2017 : publ. 05.07.2018 / S. N. Sidorov, Y. K. Starostina ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ulianovsk State Technical University».

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

HUMANITIES



ИСТОРИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

HISTORY OF THE OIL AND GAS INDUSTRY

УДК 37:622.276

СОВЕТСКИЙ ОПЫТ РЕШЕНИЯ КАДРОВЫХ ПРОБЛЕМ ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН В 1950-е гг.)

SOVIET EXPERIENCE IN SOLVING STAFF PROBLEMS OF PRODUCTION (BY THE EXAMPLE OF TATARSTAN REPUBLIC OIL INDUSTRY IN 1950-s)

Минкин Марат Риналович

кандидат исторических наук, доцент,
доцент кафедры гуманитарного образования и социологии,
Альметьевский государственный нефтяной институт
marat73mr@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности формирования трудового коллектива объединения «Татнефть» на этапе его становления. Запуск в эксплуатацию месторождений нефти происходил в трудные послевоенные годы в аграрном регионе Татарстана. Комплектование предприятий рабочим персоналом сопровождалось применением имевшегося в стране опыта подготовки кадров и поиском собственных, уникальных методов и технологий обучения нефтяным профессиям, в том числе без отрыва от производства.

Ключевые слова: рабочие, нефтяная промышленность, подготовка кадров, внутрипроизводственное обучение, профессиональные учебные заведения, Республика Татарстан.

Minkin Marat Rinalovich

PhD, Assistant Professor
of Liberal Art Education and Social Science,
Department, Almet'yevsk State Oil Institute
marat73mr@mail.ru

Annotation. The article discusses the features of the formation of the «Tatneft» labor team at the beginning of its activity. Oil fields were put into operation in difficult post-war years in the agrarian region of Tatarstan. The recruitment of enterprises by working personnel was accompanied by the use of training personnel available experience in the country and the search for their own, unique methods and technologies for teaching oil professions, including on-the-job training.

Keywords: workers, oil industry, personnel training, in-house training, vocational schools, Republic of Tatarstan.

В настоящее время одной из наиболее острых проблем экономики России является дефицит «серых воротничков» – рабочих массовых профессий. Вопрос приобрел особую значимость в связи с необходимостью индустриальной модернизации, в том числе, в рамках программ импортозамещения и наращивания потенциала военно-промышленного комплекса. К сожалению, в предыдущие десятилетия в России наблюдался устойчивый спад популярности рабочих профессий. Опытные кадры советского и раннего постсоветского периодов достигли предельного возраста трудоспособности. Молодежь с 1990-х гг. переориентировалась на гуманитарную сферу, а позже – сферу услуг. Положение усугублялось не вполне благоприятной демографической ситуацией и сокращением количества профессиональных образовательных учреждений. Таким образом, по оценкам специалистов к 2022 г. промышленная сфера испытывала потребность более чем в 3 млн «рабочих рук» [1].

Очевидно, что существует необходимость разрешения данной проблемы, причем в самые короткие сроки. В этой связи, определенный интерес представляет опыт решения подобных проблем в СССР. Советский период изобилует примерами индустриальных «рывков» и формирования масштабных промышленных узлов. Среди прочего, отдельного внимания заслуживает организация разработки и эксплуатации месторождений нефти на Средней Волге в 1950-е гг. Создание одного из крупнейших нефтедобывающих комплексов страны на территории современного Татарстана также сопровождалось решением сложных задач, связанных с комплектованием производства рабочим персоналом. Данному процессу были присущи оперативность принятия решений, использование отечественного опыта предыдущих лет и внедрение собственных, уникальных методов кадровой работы.

Промышленные залежи углеводородного сырья на юго-востоке Татарстана были впервые обнаружены в начале 1940-х гг. В 1948 г. геологи открыли одну из крупнейших в мире месторождений нефти – Ромашкинское. Страна в послевоенные годы весьма нуждалась в этом сырье. Поэтому, уже в 1949 г. на уровне высшего союзного руководства было принято решение – в кратчайшие сроки создать в Татарии нефтедобывающий комплекс, способный обеспечивать добычу на уровне 70–100 млн тонн нефти в год. На тот момент времени (речь шла о первых послевоенных пятилетках) это была весьма сложная задача.



Помимо значительных материальных ресурсов нужно было изыскать и сосредоточить в новом нефтяном районе многочисленный контингент квалифицированных нефтяников всех профессий и уровней подготовки. Всего в течение нескольких лет требовалось довести количество работающих во всех сферах производства и обслуживания до 90–100 тыс. человек.

Юго-восток Татарстана располагал людскими ресурсами. Однако практически все взрослое население было занято в сельском хозяйстве. Промышленное производство отсутствовало совершенно. Единственным городом была железнодорожная станция Бугульма, с населением не более 25 тыс. человек. Поэтому, немедленный набор из местных жителей, не имеющих ни малейшего представления о нефтедобыче, был попросту невозможен.

При поиске наиболее оптимального решения кадровой проблемы рассматривались различные варианты. Так, предлагался вахтово-экспедиционный метод разработки недр, в том числе с использованием труда заключенных. Расчеты, однако, быстро показали несостоятельность этого подхода. Остановились на перемещении специалистов и рабочих из других нефтедобывающих районов страны с перспективой их закрепления в Татарии [2, с. 13].

С 1950 г., согласно Постановлению Совмина СССР «О мерах по ускорению развития добычи нефти в Татарской АССР», началась переброска целых бригад с техникой из Краснодарского края, Азербайджана, Дагестана, Куйбышевской области. Всего в течение года новообразованное объединение «Татнефть» приняло 24 подразделения буровиков и вышкомонтажников, общей численностью до 4 тыс. человек [3, с. 388]. Одновременно проводился организованный набор из местных жителей, которыми на первых порах комплектовались вспомогательные службы [4].

Следует отметить нелегкие бытовые условия, с которыми столкнулись прикомандированные. Лишь малая часть работников была подселена в дома местных крестьян. Большинству приходилось жить в палаточных городках в условиях отсутствия элементарных удобств. Трудности, связанные с задержками планов строительства объектов жилья, стали причиной задержки набора рабочей силы из других регионов страны [5]. Таким образом, в вопросах комплектования предприятий рабочими массовых профессий рассчитывать пришлось в основном на местных жителей. Именно тогда было принято решение об организации обучения рабочим профессиям непосредственно в действующих подразделениях. В качестве инструкторов должны были выступить нефтяники, прикомандированные из южных регионов.

В 1951 г. развернулась кампания по привлечению крестьян на нефтедобывающие предприятия. Соответствующие указания были разосланы в районные комитеты ВКП(б), первичные партийные организации и хозяйственные органы. Кроме директивных методов широкое распространение получила агитационная работа. Издавались клишированные плакаты на русском и татарском языках, фотогазеты, объявления и листовки, изображавшие условия труда, бытовое и культурное обслуживание рабочих на предприятиях нефтяной промышленности, которые распространялись в районах набора рабочих [6]. В течение первых трех месяцев в «Татнефть» из числа местных жителей трудоустроились более 1 тыс. человек [7]. В дальнейшем приток людей только увеличивался.

В начале 1950-х гг. промыслы «Татнефти» отличались низкой механизацией, малыми энергозатратами и простотой работ. Основные мероприятия были связаны с бурением скважин и подводкой коммуникаций. Нефть на поверхность поступала самостоятельно под действием естественного пластового давления. Ввиду этого, на данном этапе, от рабочих не требовался высокий уровень профессионализма, и необходимая подготовка действительно могла быть организована непосредственно на рабочем месте. В объединении «Татнефть» получили распространение практики внутрипроизводственного обучения, ранее уже использовавшиеся в СССР. Вместе с тем, появились и собственные наработки, показавшие свою эффективность и в последующие годы применявшиеся при освоении сибирских месторождений. Так, широко распространился метод проведения инструкторских вахт. Специально подобранные группы передовиков производства вставляли на рабочие места и демонстрировали дежурившим рабочим новаторские приемы и новую технику. Только в 1951 г. таким образом было обучено 35 вахт буровых бригад трестов «Татбурнефть» и «Альметьевбурнефть» [8, с. 378]. Часть новых работников профессию осваивали путем индивидуального и бригадного обучения. Некоторая часть из них проходили обучение даже с коротким отрывом от производства. Практиковались стахановские школы, курсы освоения второй профессии, производственно-технические курсы целевого назначения. С 1954 г. в конторах бурения, на промыслах, подсобных цехах и строительных подразделениях были организованы школы передового метода труда на постоянной основе. Для передачи передового опыта на производственных площадках регулярно проводились конференции нефтяников.

С целью замещения вспомогательных кадровых позиций было организовано движение по массовому освоению вторых профессий. Слесари-ремонтники обучались на водителей и трактористов, операторы по добыче нефти и газа и их помощники осваивали профессии мотористов, электромонтеров и машинистов подъемников. Слесари по ремонту котлов осваивали специальность кочегара, электросварщики получали навыки работы газовой сваркой. Благодаря этому удалось ликвидировать простой, эффективнее использовать оборудование, повысить производительность труда и сэкономить финансовые средства.



Ряд подразделений объединения «Татнефть» пошли по пути открытия учебно-курсовых комбинатов (УКК). Первый из них появился в тресте «Альметьевбурнефть» в 1954 г. Комбинат был оборудован классами, мастерскими, библиотекой. Ежегодно в нем проходили обучение буровому делу до 250 человек. В том же году УКК открылся при тресте «Альметьевнефтьстрой». Здесь своими силами готовили каменщиков, крановщиков, экскаваторщиков. В качестве преподавателей привлекались инженерно-технические работники треста. Практические навыки курсанты получали на рабочих местах методом индивидуально-бригадного обучения [9, с. 2].

Операторов по добыче нефти и газа готовили комбинат нефтепромыслового управления «Альметьевнефть» и «Дом технического обучения» «Бавлынефти». С 1955 г. в них ежегодно обучались до 500 работников. Управления также практиковали такие формы повышения квалификации, как, школа передового метода труда, курсы целевого назначения, производственно-технические курсы [3, с. 141].

Внутрипроизводственная подготовка рабочих массовых профессий позволила сформировать ядро коллектива и «запустить» производство. Тем временем, назрел вопрос открытия базовых профессионально-технических учебных заведений, способных обеспечить поточную подготовку кадров на более высоком теоретическом и практическом уровнях. На первых порах использовались уже имеющиеся в республике технические образовательные учреждения. Так, небольшую лепту вносили фабрично-заводские училища Казани. Правда их специализация была весьма ограничена. Маляры, строители, лаборанты – работники исключительно для вспомогательных служб. С 1950 г. небольшое количество трактористов, бульдозеристов, крановщиков и бурильщиков ежегодно готовило Бугульминское училище механизации сельского хозяйства № 7.

В 1951 г., приказом Министерства нефтяной промышленности СССР, из города Пугачев Саратовской области в Бугульму была переведена Школа буровых мастеров, бурильщиков и дизелистов, ранее находившаяся в ведении объединения «Саратовнефть» [10]. В Татарию переехали не только преподаватели с учебным оборудованием, но и проходившие обучение курсанты. В августе 1952 г. школа перебазировалась в рабочий поселок Альметьево, постепенно становившийся центром нефтедобычи. Переименованное в Школу буровых кадров (ШБК), учреждение приступило к подготовке по наиболее востребованным рабочим профессиям: буровой мастер, бурильщик, помощник бурильщика и верховой. Деятельность ШБК курировалась учебно-методическими советами управлений объединения «Татнефть». На основе всестороннего анализа потребностей производства, УМС планировали перспективы кадровой политики и заблаговременно выдавали заказ ШБК на конкретные номенклатуры специальностей. В условиях всесторонней поддержки нефтяников, потенциал школы неуклонно рос. К 1960 г. здесь велась подготовка по 34 профессиям. Характерной чертой являлось широкое вовлечение в образовательный процесс инженерно-технических работников «Татнефти». Это положительно сказывалось на уровне подготовки и объеме практических компетенций курсантов. Школа стала основным поставщиком квалифицированных кадров массовых профессий из местных жителей: в течение первых десяти лет своей деятельности в этом учебном заведении получили специальность и повысили квалификацию 9688 человек [8, с. 377].

В октябре 1954 г., по инициативе начальника объединения «Татнефть» А.Т. Шмарева, в Бугульме открылось техническое училище – впоследствии профессиональное училище № 12. Госпрофобр РСФСР закрепил его за базовыми предприятиями – объединением «Татнефть» и трестом «Татнефтегеофизика». Подготовка велась по специальностям нормировщик, помощник бурильщика, машинист. В том же году в новообразованных городах Альметьевск и Лениногорск открылись филиалы Октябрьского нефтяного техникума, которые с 1957 г. обрели самостоятельность. В них велась подготовка техников по специальностям «Оборудование нефтяных и газовых промыслов» и «Электрооборудование промышленных предприятий и установок». Практиковалась вечерняя форма обучения. Общий контингент учащихся насчитывал до 1 тыс. человек [11].

Во вновь открытых профессиональных учебных заведениях в 1950-е гг. обучался преимущественно взрослый контингент. В большинстве случаев это были работники «Татнефти», как уже отмечалось выше, сельские жители – бывшие колхозники. Многие из них имели лишь несколько классов начального образования. Принимая во внимание многонациональность населения нефтяного юго-востока Татарстана (здесь компактно проживали татары, чуваша, удмурты, марийцы, мордва, нередко плохо владевшие русским языком), неизбежно возникали определенные трудности в образовательном процессе. Ввиду этого было принято решение об открытии вечерних школ рабочей молодежи, основной задачей которых было доведение уровня образования до полного среднего. Одной из первых такая школа открылась в Альметьевске в 1953 г. В ней без отрыва от производства обучались рабочие с предприятий объединения «Татнефть». Если в год открытия школа приняла 87 человек, то уже в 1955/1956 учебный год количество учащихся достигло 306 человек [12]. Нефтедобывающие предприятия, следуя Приказу Министра нефтяной промышленности «О создании учащимся необходимых условий посещения занятий в школе рабочей молодежи, об оказании систематической помощи школе рабочей молодежи, в деле дальнейшего улучшения работы школы», оказывали всестороннюю помощь учебному заведению [13]. Кроме того, на промыслах создавались условия для подготовки к



занятиям во время внутрисменных перерывов. Для этого культбудки оснащались библиотеками с технической литературой.

В целом, только в годы V пятилетки (1950–1955 гг.) различные виды технического обучения прошли 31,6 тыс. рабочих, ИТР и служащих ПО «Татнефть». В том числе подготовлено новых кадров для предприятий бурения, добычи и строительства 9,6 тыс. человек [14]. Благодаря этой деятельности к середине 1950-х гг. план Министерства нефтяной промышленности СССР по подготовке и переподготовке кадров для ПО «Татнефть» был перевыполнен на 20 %. В то же время значительно увеличилось качество и производительность труда. Если в 1950 г. в натуральном выражении на одного работника добывалось 1,2 тыс. тонны нефти, то в 1955 г. этот показатель достиг 3,1 тонны (прирост на 144,4 %) [3, с. 143].

Таким образом, партийное и хозяйственное руководство, ответственное за «пуск» новой, столь необходимой для страны нефтяной базы, на начальном, наиболее сложном этапе, использовало две стратегии: привлечения опытных рабочих-нефтяников из других регионов страны и мобилизации внутренних ресурсов с использованием различных методов внутрипроизводственного и базового обучения. Стоит отметить, что наибольшую эффективность в данных условиях показала подготовка специалистов без отрыва от производства. Практика в сочетании с теорией дали безусловный положительный результат. Сформированное в этот период ядро коллектива объединения «Татнефть» сделало возможным дальнейшее успешное развитие нефтедобывающего комплекса. Данный опыт с учетом новых реалий может быть в определенной мере использован и в современных условиях. Активная мобильность трудовых ресурсов в пределах страны, организация начальной профессиональной подготовки непосредственно в районах деятельности промышленных центров, интеграция производства и образования во многом могут способствовать решению кадровых проблем.

Список литературы:

1. Манукиян Е. Почему в России не хватает «рабочих рук» // Российская газета. 5 марта 2022 г. – URL : <https://rg.ru/2022/03/05/pochemu-v-rossii-ne-hvataet-rabochih-ruk.html>
2. Князев С. Нефть, газ и нефтехимия Татарии. – Казань : Татарское книжное издательство, 1979.
3. Гиниатуллин М. Развитие «Татнефти». Статистика и комментарии. – М. : Радио-Софт, 2000.
4. Постановление Совета Министров СССР № 1771-690 от 28.04.1950 г. // ЦГА ИПД РТ. – Ф. 15. – Оп. 6. – Д. 2090. – Л. 38.
5. Из докладной записки Секретаря Татарского обкома ВКП(б) Муратова З.И. Секретарю ЦК ВКП(б) Маленкову Г.М. от 15.09.1950 г. // ЦГА ИПД РТ. – Ф. 15. – Оп. 6. – Д. 2090. – Л. 134–136.
6. Из плана мероприятий по выполнению Постановления Совета Министров СССР от 19.07.1952 г. и распоряжения Совета Министров ТАССР от 16.06.1952 г. № 649-р об организованном наборе рабочих для предприятий нефтяной промышленности ТАССР // ЦГА ИПД РТ. – Ф. 15. – Оп. 6. – Д. 3123. – Л. 191–192.
7. Из сообщения Заместителя председателя исполкома Шугуровского районного совета Хайрутдинова и Секретаря Шугуровского районного комитета ВКП(б) Гайнутдинова Председателю Совета Министров ТАССР Азизову от 27.07.1950 г. // ЦГА ИПД РТ. – Ф. 15. – Оп. 6. – Д. 2090. – Л. 101.
8. Уразманова Р.К. Формирование кадров нефтяников в 1950–1960-х гг. – Альметьевск-Казань : «Идел-Пресс», 2003.
9. Протазов Т. Готовить квалифицированные кадры // Знамя труда. – 1955. – 11 марта. – № 30.
10. Приказ Министерства нефтяной промышленности о переводе школы буровых кадров объединения «Саратовнефть» из г. Пугачев в г. Бугульма с подчинением объединению «Татнефть» от 27.07.1951 г. // ГА РТ. – Ф. 3437. – Оп. 1. – Д. 9. – Л. 37–38.
11. Отчеты по основной деятельности Альметьевского филиала Лениногорского нефтяного техникума // ГА РТ. – Ф. 3686. – Оп. 1. – Д. 1. – Л. 3.
12. Протокол № 28 заседания исполнительного комитета Альметьевского городского совета депутатов трудящихся ТАССР от 02.12.1955 г. // Архив исполкома АМР. – Ф. 29. – Оп. 1. – Д. 32. – Л. 150.
13. Протокол № 11 заседания исполнительного комитета Альметьевского городского совета депутатов трудящихся ТАССР от 08.10.1954 г. // Архив исполкома АМР. – Ф. 29. – Оп. 1. – Д. 5. – Л. 38–40.
14. Из справки объединения «Татнефть» о состоянии технического обучения рабочих на предприятиях объединения за 1950–1955 гг. // ЦГА ИПД РТ. – Ф. 15. – Оп. 6. – Д. 4412. – Л. 125–167.

List of references:

1. Manukiyan E. Why Russia lacks «working hands» // Rossiyskaya Gazeta. March 5, 2022 – URL : <https://rg.ru/2022/03/05/pochemu-v-rossii-ne-hvataet-rabochih-ruk.html>
2. Knyazev S. Oil, Gas and Petrochemistry of Tatarstan. – Kazan : Tatar Book Publishing House, 1979.



3. Giniatullin M. Development of Tatneft. Statistics and comments. – M. : Radio-Soft, 2000.
4. The Resolution of the Council of Ministers of the USSR № 1771–690 of 28.04.1950 // Central State Archive of the Republic of Tatarstan. – F. 15. – Op. 6. – D. 2090. – L. 38.
5. From the report of Secretary of the Tatar Regional Committee of the All–Union Communist Party of Bolsheviks, Z.I. Muratov to the Secretary of the Central Committee of the All–Union Communist Party of Bolsheviks Malenkov G.M. dated 15.09.1950 // CTGA IPD RT. – F. 15. – Op. 6. – D. 2090. – L. 134–136.
6. From the action plan to implement the Resolution of the USSR Council of Ministers of 19.07.1952 and the TASSR Council of Ministers of 16.06.1952 № 649–r on organized recruitment of workers for the oil industry in TASSR // Tatarstan State Archive of the Republic of Tatarstan. – F. 15. – Op. 6. – D. 3123. – L. 191–192.
7. From the message of Deputy Chairman of Shugurovsky Rayon Council Khayrutdinov and Secretary of Shugurovsky Rayon Committee of the CPSU (b) Gainutdinov to the Chairman of the TASSR Council of Ministers Azizov dated 27.07.1950 // TDSI IPD RT. – F. 15. – Op. 6. – D. 2090. – L. 101.
8. Urazmanova R.K. The formation of staff of oil workers in 1950–1960-ies. – Almetyevsk-Kazan: «Idel–Press», 2003.
9. Protazov T. To prepare qualified personnel // Znamya truda. – 1955. – March 11. – № 30.
10. Order of the Ministry of Oil Industry about the transfer of the school drilling personnel association «Saratovneft» from Pugachev in Bugulma, and subordinate to the Association «Tatneft» dated 27.07.1951 // GA RT. – F. 3437. – Op. 1. – D. 9 – L. 37–38.
11. Reports on the main activities of the Almetyevsk branch of the Leninogorsk Oil Technical School // GA RT. – F. 3686. – Op. 1. – D. 1. – L. 3.
12. Protokol № 28 of the Executive Committee of Almetyevsk City Council of People's Deputies TASSR dated 02.12.1955 // Archive of the Executive Committee of the Azerbaijan Republic. – F. 29. – Op. 1. – D. 32. – L. 150.
13. Protokol № 11 of the Executive Committee of Almetyevsk City Council of Workers' Deputies of TASSR dated 08.10.1954 // Archive of the Executive Committee of the Azerbaijan Republic. – F. 29. – Op. 1. – D. 5. – L. 38–40.
14. From the certificate of the Association «Tatneft» on the state of technical training of workers in the enterprises of the association for 1950–1955 years // Central State Archive of the Republic of Tatarstan. – F. 15. – Op. 6. – D. 4412. – L. 125–167.



УДК 622.1

ПРИЕМСТВЕННОСТЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В ОСНОВАХ ДЕКОЛЬМАТАЦИИ СКВАЖИН

CONTINUITY OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL KNOWLEDGE IN THE BASICS OF WELL DECOLLIMATION

Цымбалов Александр Алексеевич

кандидат технических наук,
генеральный директор,
ООО Группа компаний «Архимед»
arhimed64@mail.ru

Аннотация. В статье приведена информация о значении и роли идей, разработок, Анатолия Ивановича Булатова, оказавших влияние на формирование основ декольматации скважин. Изложенные факты о ученом относятся к периоду его деятельности в СССР и новой России.

Ключевые слова: Булатов Анатолий Иванович, Булатовские чтения, скважина, кольматация, декольматация.

Tsymbalov Alexander Alekseevich

Ph.D, General Director,
LLC Group of companies «Archimedes»
arhimed64@mail.ru

Annotation. The article provides information about the significance and role of the ideas, developments, Anatoly Ivanovich Bulatov, which influenced the formation of the foundations of well decolimation. The stated facts about the scientist relate to the period of his activity in the USSR and new Russia.

Keywords: Bulatov Anatoly Ivanovich, Bulatov readings, borehole, colmatation, decolimation.

Целью данной работы является ретроспектива выстраивания событий о Булатове А.И. как о ученом, идеи которого оказали влияние на формирование основ декольматации скважин. Объектом исследований явилась книга Анатолия Ивановича Булатова «Формирование и работа цементного камня в скважине».

Предметом исследований стали знания ученого А.И. Булатова выстроенные в виде символов (букв русского алфавита, математических обозначений, формул) текстовых высказываний, «осмысленных» высказываний сделанных посредством рисунков, графиков, блок-схем и других знаков, позволяющих сформировать цепь множества смысловых (мыслей) нагрузок и новых текстов в различных областях знаний.

В 2007 году мне довелось руководить разработкой Программы НИР ООО ГК «Архимед» Arh. № ТЭР-R 642012-0001.000 по теме «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водозаборных скважин». Данная научная тематика предполагала цикл работ в научном фонде Зональной научной библиотеки имени В.А. Артисевич Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского (ЗНБ СГУ). Изучение литературных источников было направлено на модельное описание генезиса отложений твердых осадков на шероховатых коррозионных поверхностях пристенного слоя околоскважинных сред.

Зарубежным и российским научным сообществом признано считать период научного развития СССР как время крупных мировых прорывных открытий во многих отраслях знаний. Среди перечня ученых, работы которых подлежали тематическому просмотру находилась фамилия Булатова Михаила Анатольевича – однофамильца Анатолия Ивановича Булатова.

Работа [3] Михаила Анатольевича позволила мне изучить эволюцию перехода дисперсной фазы осадка малорастворимых веществ в отложения слоя твердой фазы (рис. 1). На базе этого материала мне в дальнейшем удалось разработать классификацию структуры кольматанта по прочности. Фрагменты классификации презентовались в ИПРЭК СО РАН [14] и ГИН СО РАН [10].

На рисунке 1 показан фрагмент состояния перемещения твердых частиц под действием волновых флуктуаций ядра потока раствора жидкости в пристенном слое. Согласно концепции осаждения твердых частиц из турбулентного потока отметим два механизма: диффузионный и турбулентно-диффузионный.

Основываясь на физическую картину образования осадка в дисперсной среде представленной М.А. Булатовым, где твердые частицы осадка жидкости под действием вихревой диффузии перемещаются из ядра потока к пристенной зоне, мной предложены физические методы декольматации осадка с использованием акустического воздействия. Булатов М.А. обратил внимание на то, что пульсационные движения волновых флуктуаций ядра потока раствора жидкости в пристенном слое имеют стохастический характер. Это наблюдение используется мной в разработке программного обеспечения управления процессом декольматации околоскважинных поровых водонасыщенных сред.

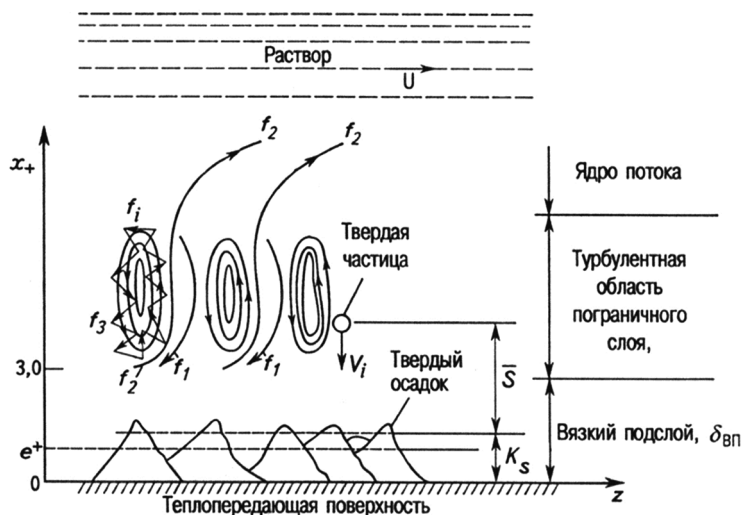


Рисунок 1 – Структура пограничного слоя дисперсной фазы водной среды пристенного слоя:

$\delta_{вп}$ – толщина вязкого подслоя, K_s – эффективная высота шероховатости осадка; \bar{S} – путь торможения твердых частиц; \bar{U} – скорость движения потока жидкости; f_1 – частота поперечного перемещения дисперсной фазы водной среды, направленной к вязкому подслою; f_2 – частота поперечного перемещения дисперсной фазы водной среды, направленной к ядру потока; f_3 – высокочастотная составляющая спектра; f_i – частот; V_i – скорость переноса частиц в поперечном сечении канала слоя

Воздействие акустического поля позволяло возбуждать в дисперсной среде технологического раствора и в пристенном слое осадка различной прочности колебания, позволяющие удалять осадок со стенок контактной поверхности. Данный процесс соответствовал современным научным воззрениям ряду исследований [2, 4, 15, 16], в которых отражено: турбулентные импульсы около граничного вязкого подслоя не затухают, а достигают контактной поверхности, разрушая находившейся на ней твердый осадок.

Последующие события по очередному (второму) ознакомлению с работами Анатолия Ивановича Булатова носило случайный характер. Первое знакомство с А.И. Булатовым состоялось в конце 80-х годов в СССР, когда в составе научной группы Саратовского политехнического института мне пришлось вести испытания разработанных нами трех опытных образцов буровых долот для бурения геологических скважин в вечномёрзлых породах ЯНАО [6–9, 11–13].

Встреча с книгой А.И. Булатова «Формирование и работа цементного камня в скважине» происходила следующим образом. Просматриваемые читателями книги в читальном зале ЗНБ СГУ решалось откладывать на неделю для последующей работы. Эти книги не сдавать в книжное хранилище. По определенным обстоятельствам книгу Михаила Анатольевича Булатова «Комплексная переработка многокомпонентных жидких систем. Теория и техника управления образованием осадков», с которой я ранее работал, научный сотрудник ЗНБ СГУ сдал в фонд хранения. Поэтому для новой выдачи книги мне требовались ее регистрационные данные. Они у меня отсутствовали, и сотрудник библиотеки предложил помочь быстро оформить формуляр бланка листа требования в зале каталогов. В каталоге на букву «Б» располагалось много авторов. Фамилия «Булатов» в нем была выделена отдельно. Не четко запомнив имя и отчество Михаила Анатольевича Булатов, сотрудник открывает мне карточку, в которой указана книга Анатолия Ивановича Булатова «Формирование и работа цементного камня в скважине» (рис. 2). Эта карточка меня заинтересовала больше, чем которую мне искали (рис. 3). В этот день я изучал работы двух Булатовых. Со временем я понял, что данная книга Анатолия Ивановича Булатова должна стать настольной.

В определенные дни я приходил в читальный зал ЗНБ СГУ и начинал штудировать книгу. Погружаясь в текст страниц книги, я все больше понимал, что мне нужна каждая строчка с первой до последней страницы. Поэтому пришлось снять ксерокопии страниц книги и заказать у сотрудников отдела редких книг СГУ жесткий переплет.

Беглое знакомство книги показало, что мои поиски в познании особенностей поведения околоскважинных зон могут приоткрыться уже выполненными исследованиями скважин под руководством А.И. Булатова.

Сейчас, когда я смотрю на работу Булатова с позиции изученности материала его книги, можно выделить определенные разделы по которым его исследования были поучительны для НИР ООО ГК «Архимед» Arh. № ТЭР-R 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств» [5]. Хаотично впитанная информация со временем алгоритмизировалась в отдельные файлы как руководство к действию по следующим разделам:



1. Информация по вопросу исследования.
2. Делать так.
3. Практика показала.
4. Наши исследования.
5. Рекомендации.
6. Новый взгляд.

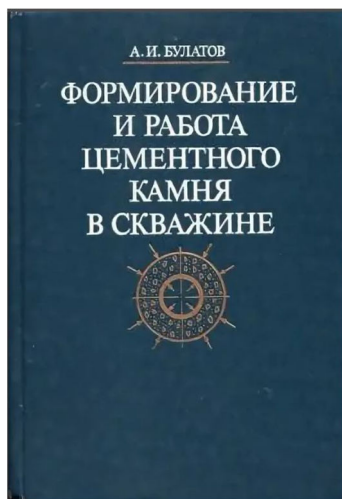
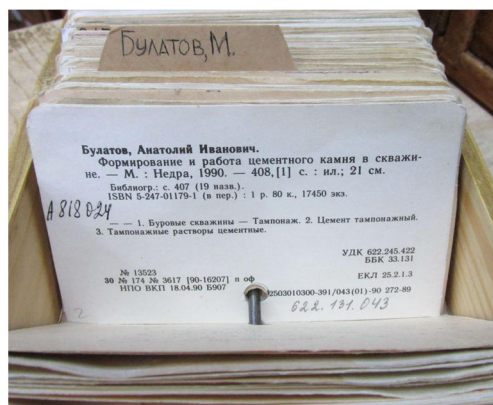


Рисунок 2 – Обложка книги Анатолия Ивановича Булатова «Формирование и работа цементного камня в скважине»



а



б

Рисунок 3 – Зал каталогов научного фонда Зональной научной библиотекой имени В.А. Артисевич Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского. Поиск книги Анатолия Ивановича Булатова «Формирование и работа цементного камня в скважине»: а – каталожный ящик № 116; б – аннотированная карточка централизованной каталогизации (инвентарный номер книга А 818024)

Выделенные файлы усовершенствовали тему НИР Arh. № ТЭР-R 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водо-пропускных устройств», дали ей новый виток развития, отразившийся в экспериментальных и теоретических работах.

Размышляя о творческом процессе ученого, следует обратить внимание на следующее. Информационный источник оставленный ученым в электронном или бумажном носителе это структура изложенных им мыслей, идей, умозаключений. Эти идеи в обществе обрастают новыми техническими решениями на более высоком уровне, возвращаясь в общественное сознание в виде инновационного продукта или услуги.

В современном обществе процесс подготовки формирования научной идеи алгоритмизирован и доступен для понимания ее воспроизводства. На определенных площадках идет инкубация, акселе-



рация, инжиниринг научных идей. Ядро идеи это мысль – сгусток информационной энергии, которая наряду с веществом и волновым полем является частью материи.

В любом случае первые шаги к новому познанию становятся источником познания, которым является книга в электронном или бумажном формате. Для меня таким источником в изучении проблемы декольматации стала книга Булатова А.И. «Формирование и работа цементного камня в скважине». В познании декольматации скважин требовалось иметь дополнительные сопутствующие знания, помогающие вскрыть тему НИР Арх. № ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств». Такими знаниями являлись бурение скважин, физико-механические процессы, происходящие при вскрытии продуктивных пластов, гидрогеологические особенности пласта, техника бурения в осложненных условиях, освоение пласта после бурения и многие другие технические «мелочи». Все перечисленное находилось в книге Булатова.

Описанное выше о А.И. Булатове подтверждает то, что мысль (или множество смыслов) это сгусток энергии, рожденный мозгом человека, обработанный, алгоритмизированный и выпущенный далее в «оборот» материи для усовершенствования и нового преобразования с целью эволюционного наращивания. Академик В.И. Вернадский называл это состояние преемственностью знаний, присущее ученым классикам.

Выводы:

1. Идеи ученого А.И. Булатова продолжают приносить пользу через изучение его наследия, оставленное в виде научных работ, авторских свидетельств и патентов, монографий, популярных книг.

2. Книга Булатова А.И. «Формирование и работа цементного камня в скважине» повлияла на развитие темы НИР Арх. № ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств» и дала ей новый виток развития.

Работа выполнена по Программе НИР ООО ГК «Архимед» Арх. № ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств» [19].

Список литературы:

1. Булатов А.И. Формирование и работа цементного камня в скважине. – М. : Недра, 1990. – 409 с.
2. Взаимодействие скользящей ударной волны со слоем отложений / М.А. Булатов [и др.] // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 1989. – Вып. 3. – С. 108–111.
3. Булатов М.А. Комплексная переработка многокомпонентных жидких систем. Теория и техника управления образованием осадков. – М. : Мир, 2004. – 304 с.
4. Бунин Л.В. Ультразвуковой способ предотвращения отложений на поверхностях нагрева теплообменной аппаратуры // Научн.-тех. рефер. сб. Эксплуатация, модернизация и ремонт оборудования в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. – № 2. – М. : Изд-во ЦНИИТЭнефтехим, 1983. – С. 26–29.
5. Цымбалов А.А. Приоритетные НИР: Темы инновационных направлений научно-исследовательских работ ООО ГК «Архимед» [Электронный ресурс]. – М., 2023. – URL : <https://xn--80adhkkgcgyanb0ab0a3l.xn--p1ai/index.php/prioritetnye-nir>
6. Цымбалов А.А. Авторское свидетельство на изобретение № 1710689 (СССР), МКИ³ E21 B7/24,10/44. Рабочий орган для разработки грунтов / И.Г. Мартюченко, А.А. Цымбалов, М.И. Стрелюхин // Б.И. – 1992. – № 5.
7. Цымбалов А.А. Булатовские идеи в отражении времён // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 5. – С. 128–132.
8. Мартюченко И.Г., Цымбалов А.А., Стрелюхин М.И. Буровое долото // Информ. лист. № 209-90. – Саратов : Сарат. ЦНТИ, 1990. – С. 1–2.
9. Мартюченко И.Г., Цымбалов А.А., Стрелюхин М.И. Буровой инструмент для проходки скважин в мерзлых грунтах [Депонированная рукопись]. – М. : ЦНИИТЭстроймаш. – Деп. 03.08.90. – № 62-сд90, 1990. – 7 с.
10. Цымбалов А.А. Особенности кольматационного осадкообразования в околоскважинной водонасыщенной среде // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: сб. науч. тр. СО РАН, ГИН СО РАН, ИПРЭК СО РАН, ИНГГ СО РАН по материалам IV всерос. науч. конф. (г. Улан-Удэ, 17–20 августа 2020г.). – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2020. – С. 278–281.
11. Цымбалов А.А. Разработка нового типа бурового инструмента для проходки скважин в мерзлых грунтах: Отчет о НИР, Сарат. политехн. ин-т, № ГР 01890024098 / Сост. И.Г. Мартюченко, А.А. Цымбалов, М.И. Стрелюхин; рук. темы И.Г. Мартюченко. – Саратов, 1989. – 41 с.
12. Цымбалов А.А. Разработка нового типа бурового инструмента для проходки скважин в мерзлых грунтах: Отчет о НИР (заключ.), Сарат. политехн. ин-т, № ГР 01900042101 / Сост. И.Г. Мартюченко, А.А. Цымбалов, М.И. Стрелюхин; рук. темы И.Г. Мартюченко. – Саратов, 1990. – 41 с.



13. Мартюченко И.Г., Цымбалов А.А., Стрелюхин М.И. Способ бурения скважин в мерзлых грунтах [Депонированная рукопись]. – М. : ЦНИИТЭстроймаш. – Деп.03.08.90. – № 66-сд90, 1990. – 5 с.
14. Цымбалов А.А. Формирование закольматированных зон в околоскважинной водонасыщенной среде [Электронный ресурс] // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: сб. науч. тр. СО РАН, ИПРЭК СО РАН, ИНГГ СО РАН по материалам III всерос. науч. конф. с межд. уч. (г. Чита, 20–25 августа 2018 г.). – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2018. – С. 198–200.
15. Чепурной М.И. Влияние ультразвука на снижение накипеобразования при выпаривании сахарных растворов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1990. – Вып. 197. – № 4. – С. 68–70.
16. Susuki Y. e.a. Anti fouling of Sea Water circulating pipe using ultrasonic irradiation // Trans. Inst. Electr. Engrn of Japan ser. C. – 1987. – V. 5. – P. 477–484.

List of references:

1. Bulatov A.I. Formation and operation of the cement stone in the well. – М. : Nedra, 1990. – 409 p.
2. Interaction of a sliding shock wave with a layer of deposits / M.A. Bulatov [et al.] // Izvestiya vuzov. Chemistry and Chemical Technology. – 1989. – Is. 3. – P. 108–111.
3. Bulatov M.A. Complex Processing of Multicomponent Liquid Systems. Theory and Techniques of Sedimentation Control. – М. : Mir, 2004. – 304 p.
4. Bunin L.V. Ultrasonic method of preventing deposits on the heating surfaces of the heat-exchange equipment // Scientific-technical reference collection «Operation, modernization and repair of equipment in oil-refining and petrochemical industry». – № 2. – М. : Publishing house of Central Research Institute of Petrochemical Technology, 1983. – P. 26–29.
5. Tsymbalov A.A. Priority R&D: Topics of innovative directions of research works of LLC GK Archimedes [Electronic resource]. – М., 2023. – URL : <https://xn--80adhhkgcgyanb0ab0a3l.xn--p1ai/index.php/prioritetnye-nir>
6. Tsymbalov A.A. Invention certificate № 1710689 (USSR), MKI³ E21 B7/24,10/44. Working body for the development of soil / I.G. Martyuchenko, A.A. Tsymbalov, M.I. Strelukhin // B.I. – 1992. – № 5.
7. Tsymbalov A.A. Bulatov's ideas in the reflection of the times // Bulatov readings. – 2019. – V. 5. – P. 128–132.
8. Martyuchenko I.G., Tsymbalov A.A., Strelukhin M.I. Drill bit // Informational sheet. № 209–90. – Saratov : Saratov. CSTI, 1990. – P. 1–2.
9. Martyuchenko I.G., Tsymbalov A.A., Strelukhin M.I. Drilling tool for sinking wells in frozen ground [Deposited manuscript]. – М. : CNIITEstroy mash. – Departure 03.08.90. – № 62-сд90, 1990. – 7 p.
10. Tsymbalov A.A. Features of colmatation sedimentation in near-well water-saturated environments // Geological evolution of interaction between water and rocks: Proceedings of IV All-Russian Scientific Conf. – Ulan-Ude : Publishing House of BSC SB RAS, 2020. – P. 278–281.
11. Tsymbalov A.A. Development of new type of drilling tools for sinking wells in frozen ground: Research Report, Saratov Polytechnic Institute, No. GR 01890024098 / Comp. I.G. Martyuchenko, A.A. Tsymbalov, M.I. Strelukhin; Project Manager: I.G. Martyuchenko. – Saratov. 1989. – 41 p.
12. Tsymbalov A.A. Development of New Type of Drilling Tools for Drilling in Permafrost Soils: Research Report (Conclusion), Saratov Polytechnic Institute, ¹ GR 01900042101 / Compiled by I.G. Martyuchenko. I.G. Martyuchenko, A.A. Tsymbalov, M.I. Strelukhin; Project Manager: I.G. Martyuchenko. – Saratov. 1990. – 41 p.
13. Martyuchenko I.G., Tsymbalov A.A., Strelukhin M.I. Method of drilling wells in frozen ground [Deposited manuscript]. – М. : Central Research Institute of Building Engineering. – Dep.03.08.90. – № 66-сд90, 1990. – 5 p.
14. Tsymbalov A.A. Zolmatized zones formation in near-well water-saturated medium [Electronic resource] // Geological evolution of interaction between water and rocks: Proceedings of III All-Russian Scientific Conference with international participation (Chita, August 20–25, 2018). – Ulan-Ude : Publishing house of BSC SB RAS, 2018. – P. 198–200.
15. Chepurnoy M.I. Influence of ultrasound on the reduction of scale formation during evaporation of sa-gar solutions // Proceedings of Higher Educational Institutions. Food technology. – 1990. – Is. 197. – № 4. – P. 68–70.
16. Susuki Y. e.a. Anti fouling of Sea Water circulating pipe using ultrasonic irradiation // Trans. Inst. Electr. Engrn. of Japan ser. C. – 1987. – V. 5. – P. 477–484.



ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

PEDAGOGICAL SCIENCES

УДК 37.047:37.032

ОТРАСЛЕВЫЕ ОЛИМПИАДЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ В УНИВЕРСИТЕТЕ

INDUSTRY OLYMPIADS AS A TOOL FOR CAREER GUIDANCE AT THE UNIVERSITY

Бакеева Лариса Викторовна

кандидат педагогических наук, доцент,
доцент кафедры высшей математики,
Санкт-Петербургский горный университет
Bakeeva_LV@pers.spmi.ru

Дмитриева Марина Леонардовна

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры высшей математики,
Санкт-Петербургский горный университет
Dmitrieva_ML@pers.spmi.ru

Аннотация. В статье рассматриваются различные аспекты организации профориентационной работы в университетах, проводимых в рамках работы со школами. Особое внимание уделено организации отраслевых олимпиад (на примере предмета «Математика»), которые являются одной из форм распространения научно-технических знаний, а также выполняют функции профессионального развития и социализации обучающихся. Приведены примеры олимпиадных заданий.

Ключевые слова: олимпиада, конкурс, состязания, одаренный, интеллектуальный, творческий потенциал, профориентационная работа.

Bakeeva Larisa Viktorovna

PhD in Pedagogy, assistant professor,
Assistant ProfessorChair
of Higher Mathematics,
Saint Petersburg Mining University
Bakeeva_LV@pers.spmi.ru

Dmitrieva Marina Leonardovna

PhD in Economics, assistant professor,
Assistant ProfessorChair
of Higher Mathematics,
Saint Petersburg Mining University
Dmitrieva_ML@pers.spmi.ru

Annotation. The article discusses various aspects of the organization of career guidance at universities, carried out as part of the work with schools. Particular attention is paid to the organization of branch Olympiads (on the example of the subject «Mathematics»), which are one of the forms of dissemination of scientific and technical knowledge, and also perform the functions of professional development and socialization of students. Examples of Olympiad tasks are given.

Keywords: olympiad, competition, competitions, gifted, intellectual, creative potential, career guidance work.

Развитие информационного общества, высокотехнологичного и наукоёмкого производства выдвигает на первый план заинтересованность работодателей в высококвалифицированных кадрах, обладающих необходимыми знаниями, навыками и компетенциями, способных в современном коммуникационном пространстве импровизировать и быть гибким в рабочих ситуациях, быстро реагировать на возникающие профессиональные проблемы. Знания сегодня на рынке труда рассматриваются как человеческий капитал, накопление которых базируется на принципах качества и надёжности [1]. Основой становления человеческого капитала является образование. Но базовые знания, ключевые навыки и компетенции, необходимые для будущей профессиональной деятельности, приобретаются в процессе обучения, начиная со школы [2]. Важнейшим компонентом для подготовки активных, творческих и компетентных выпускников является привлечение обучающихся, к участию в научных и состязательных мероприятиях: конференциях, профессиональных конкурсах, олимпиадах и других соревнованиях. Работу по подготовке учащихся 9–11 классов к участию в таких мероприятиях можно рассматривать как инструмент профориентационной подготовки обучающихся, содержание которой строится на идеях организации неформального образования обучающихся на базе университета, в том числе и в качестве элемента системы непрерывного образования.

История становления оценки профессиональных качеств уходит к III тысячелетию до н.э. В Древнем Вавилоне проводили испытания для писцов. Именно они обладали обширными по тем временам знаниями в измерениях, качествах и свойствах различных материалов, разбирались в растениях и умели выполнять арифметические действия. В Древнем Египте жрецом могли стать только те кандидаты, которые были образованы, умели вести беседу, трудиться, слушать, молчать, участвовать в различных испытаниях. В Китае примерно в этот же период профессиональный отбор в виде государственного экзамена проходили молодые люди на должности правительственного чиновника.



Началом профориентационной работы вообще считают 1908 год – год открытия первого профконсультационного бюро в Бостоне, в задачи которого входило выявление способностей школьников необходимых для различных профессий.

В России первая служба по «приисканию» появилась в 1897 году, но государственный статус подобные службы стали приобретать только в 1914–1918 годах. Позже, в 1921–1933 годах, при Центральном институте труда и других институтах страны создавались лаборатории или бюро по исследованию вопросов профориентации и выбору подростками профессий. Но в 1937 году произошло резкое свертывание профориентационной работы, которая постепенно стала возобновляться только в конце 1950-х начале 1960-х годах. Профориентацию не запрещали, но и научных работ в этом направлении почти не было. И профориентационных пунктов для работы с молодежью тоже было мало. Лишь в 1980-е годы было создано более 60 региональных центров профессиональной ориентации молодежи, в школах ввели курс «Основы производства. Выбор профессии», открывались учебно-производственные комбинаты для школьников. В 1990-х годах все было вновь разрушено. Профориентация, приятым в 1991 года законом «О занятости населения», из школы фактически переводилась в службы занятости, что привело к ее примитивизации, замене профконсультацией, что в принципе исключает практическую составляющую профессионального и личного самоопределения молодежи. Постепенно профориентация как практика реализовалась в междисциплинарном научном знании. Что послужило толчком к организации различных междисциплинарных конкурсов, соревнований и олимпиад.

Олимпиады по естественнонаучным и общетехническим дисциплинам являются одной из форм распространения научных и технических знаний, проводятся с целью пробуждения более глубокого интереса к решению творческих, оригинальных и нестандартных задач и ситуаций, улучшения качества усвоения учебного материала и формирования навыков самостоятельной работы и активной жизненной позиции. Их подготовка и проведение выполняют функции профессионального развития и социализации. Участие в олимпиаде способствует формированию таких компетенций (общекультурных или общепрофессиональных), как: способность (готовность) работать в коллективе (руководить коллективом) в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия; или, способность (готовность) действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения; и др. [3, 4].

Преподаватели кафедры высшей математики тесно сотрудничают с Центром довузовских и специальных программ Университета, участвуя в реализации различных образовательных программ, подготовки и проведения олимпиад с целью привлечения наиболее талантливых и одаренных, целеустремленных, профессионально подготовленных абитуриентов. С 2016 года Университет является партнером и организатором Отраслевой олимпиады школьников «Газпром» (предмет «Математика»), основными целями и задачами которой является выявление одаренных обучающихся, способных к техническому творчеству и инновационному мышлению и планирующих свою профессиональную деятельность в нефтегазовой отрасли. Целью олимпиады, в контексте математического образования, является выявление математических способностей и мышления обучающихся, которые выражаются в способности находить математическую сторону в любом явлении, замечать пространственные и количественные отношения, функциональные зависимости, т.е. в математизации явлений окружающего мира [5].

В контексте организации и проведения предметных олимпиад профориентационная деятельность рассматривается как научно обоснованная система подготовки потенциальных абитуриентов к свободному и самостоятельному выбору профессии, призванная учитывать индивидуальные особенности личности, способствует освоению обучающимися нового опыта деятельности, социальных ролей, коммуникации, профессионального поведения, качеств, формированию интереса и увлеченности к профессии. Интерес к профессии – это интерес к конкретному виду трудовой деятельности [6]. Олимпиады являются инструментом формирования интереса к профессии, так как обычно от 30 % до 50 % задач, заключительного тура должны быть и являются оригинальными, творческими и отражают отраслевую суть олимпиады. Хорошо продуманное содержание олимпиадных заданий и организация способствует появлению у учащихся мотивации к участию в подобного рода соревнованиях. А.И. Савенков классифицирует мотивы, возникающие у учащихся как «мотивация содержанием», «мотивация процессом», «широкие социальные мотивы». Как составителей олимпиадных заданий нас интересует «мотивация содержанием», чтобы во время подготовки и участия обучающиеся узнавали новые факты, овладевали новыми знаниями и способами их применения, постигали суть процессов.

Рассмотрим несколько заданий заключительного тура отраслевой олимпиады ГАЗПРОМ, которые были включены в 2019–2022 гг. Задания имеют разный уровень сложности и балловую стоимость. Содержание заданий должно выполнять обучающую (развитие интереса к учебной, научной и практической деятельности), развивающую (активизация научного потенциала и формирование личностно профессиональной позиции), воспитывающую (формирование гуманистических ценностей, воспитание активных и ответственных членов профессионального сообщества [7, 8]) и коммуникационную (участие в олимпиадах, конкурсах, конференциях, семинарах, проводимых вузами, обратная связь) функции, а также соответствовать современному уровню развития науки, техники, технологии, основным педагогическим принципам: системности, научности, доступности, наглядности и др.



Пример 1. В лабораторию НИИ научному сотруднику Татьяне Васильевне привезли на исследование объект объемом около 150 проб нефти (контейнер, рассчитанный на 150 проб, который был заполнен почти весь). Каждая проба имеет определенные характеристики по содержанию серы – малосернистые, либо высокосернистые, и плотности – легкие, либо тяжелые. Относительная частота (статистическая вероятность), того что случайно выбранная проба окажется пробой тяжелой нефти, равна $\frac{2}{11}$. При этом относительная частота, что случайно выбранная проба окажется легкой мало-

сернистой нефтью составляет $\frac{7}{13}$. Сколько всего проб высокосернистой нефти содержит объект, если среди проб тяжелой нефти не оказалось малосернистой? (Ответ. 66).

Проверяемые требования (умения): уметь анализировать простейшие математические модели, выполнять вычисления и преобразования.

Формулировка задачи предполагает наличие этапа формализации решения: необходимо знать формулу вычисления статистической вероятности; решение задачи сводится к последовательным расчетам, опираясь на определение понятия «относительная частота». Несмотря на то, что задача имеет прикладной смысл легенды, она не требует от участника специальных знаний для ее решения. Наоборот, легенда задачи имеет просветительский характер: из условия задачи участник получает новые знания, в частности, о классификации нефти по содержанию серы и по плотности, соответствующие современному уровню развития науки и технологий.

Пример 2. В первый год разработки месторождения было добыто 600 тыс. т нефти. В течение ряда последующих лет объем добычи увеличивался ежегодно на 50 %, а затем в течение 9 лет не менялся. Общий объем добытой нефти составил 35 млн 250 тыс. т. Определить, сколько всего лет разрабатывалось месторождение. (Ответ. 14.)

Проверяемые требования (умения): уметь строить и исследовать простейшие математические модели, составлять и решать уравнения.

Формулировка задачи предполагает наличие этапа формализации решения задачи: из условия понятно, что для решения задачи необходимо составить уравнения с использованием формул геометрической прогрессии. Эта задача имеет прикладной характер легенды, но не требует от участника для решения специальных знаний. Также легенда задачи имеет просветительский характер: составив математическую модель задачи и решив ее, участник получит реальные значения, соответствующие современному уровню развития технологий разработки некоторых месторождений.

Пример 3. Для охраны нефтяной платформы, расположенной в море, необходимо распределить вокруг нее 7 радаров, покрытие каждого из которых составляет круг радиуса $r = 26$ км. Определить, на каком максимальном расстоянии от центра платформы их нужно расположить, чтобы обеспечить вокруг платформы покрытие радарными кольцами шириной 20 км. Вычислить площадь этого кольца покрытия.

Проверяемые требования (умения): уметь выполнять геометрические построения на плоскости, составлять и исследовать математические модели, выполнять вычисления и преобразования.

Формулировка задачи предполагает наличие этапа формализации решения: построение геометрической модели задачи; выделение из общего частного, что позволяет свести решение к использованию формул планиметрии и быстрому получению ответа (рис. 1). Эта задача имеет прикладной смысл легенды и не требует от участника для решения специальных знаний. Легенда задачи также имеет просветительский характер: составив математическую модель задачи и решив ее, участник получит актуальные результаты, соответствующие современному уровню развития техники и технологий.

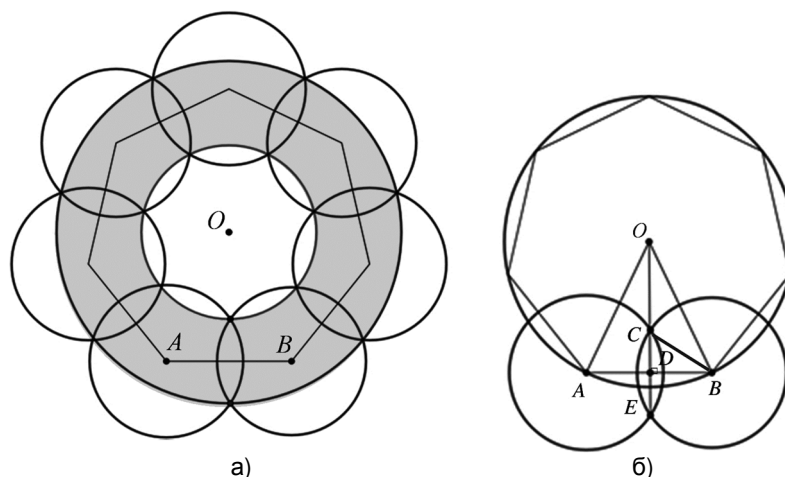


Рисунок 1 – Геометрическая модель к задаче из примера 3.



Эта задача имеет прикладной смысл легенды и не требует от участника для решения специальных знаний. Легенда задачи также имеет просветительский характер: составив математическую модель задачи и решив ее, участник получит реальные значения, соответствующие современному уровню развития техники и технологий.

Выявление, поддержка и развитие одаренных детей, а также распространение и популяризация научных знаний и математических основ решения прикладных задач является одной из приоритетных задач современного образования, которая успешно решается преподавателями кафедры в совместной работе с Центром довузовских и специальных программ по подготовке олимпиад и других образовательных программ. Любые соревнования, конкурсы или олимпиады – импульс к самосовершенствованию, саморазвитию, непрерывному творческому поиску, самореализации и профессиональному самоопределению [4, 7, 8]. Участие в них формирует у обучающихся способности преодолевать психологические нагрузки, свойственные работе в незнакомой обстановке, оперативно находить оптимальный выход в нестандартных ситуациях, а организаторам позволяет выявить не только уровень знаний по предмету, но и умение эффективно применять их обучающимися в новых условиях, требующих исследовательских навыков, смекалки и творческого мышления.

Таким образом, олимпиады и участие в них на любом образовательном этапе и уровне являются важным фактором непрерывной подготовки и профессионального определения обучающихся, а так же перспективным направлением для взаимодействия школ, Университета и, в последствии, работодателей.

Список литературы:

1. Пивоваров В.И. К вопросу о человеческом капитале // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 4 (49). – С. 172–176.
2. Четыркина Н.Ю. Управление человеческим капиталом – основа инновационного развития экономики // Вестник Российской академии естественных наук. – 2012. – № 16. – С. 38–40.
3. Беспалова О.Е., Бондарева О.Н. Методические аспекты развития творческих способностей студентов технических специальностей в рамках дисциплин гуманитарного цикла // Записки Горного института. – 2010. – Т. 187. – С. 312.
4. Жилевская Л.В. Риторический турнир как форма внеклассной работы // Записки Горного института. – 2005. – Т. 160. – № 2. – С. 166.
5. Тестов В.А. Математическая одаренность и ее развитие // Perspectives of Science and Education. – 2014. – № 6(12). – С. 89.
6. Титова С.В. Эффективный метод профориентационной деятельности вуза // Мир современной науки. – 2011. – № 6. – С. 3–18.
7. Терентьева Е.В. Использование информационных технологий при проведении лингвистических олимпиад в техническом вузе // Записки Горного института. – 2010. – Т. 187. – С. 344.
8. Грахов В.П., Кислякова Ю.Г., Симакова У.Ф. Формирование и развитие творческого потенциала личности студентов технических вузов // Записки Горного института. – 2015. – Т. 213. – С. 110.

List of references:

1. Pivovarov V.I. To the question of human capital // Proceedings of Southwestern State University. – 2013. – № 4 (49). – P. 172–176.
2. Chetyrkina N.Y. Management of human capital – the basis of innovation development of the economy // Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences. – 2012. – № 16. – P. 38–40.
3. Bepalova O.E., Bondareva O.N. Methodological aspects of the development of creative abilities of students of technical specialties in the disciplines of the humanities cycle // Proceedings of the Mining Institute. – 2010. – V. 187. – P. 312.
4. Zhilevskaya L.V. Rhetorical tournament as a form of extracurricular work // Notes of the Mining Institute. – 2005. – V. 160. – № 2. – P. 166.
5. Testov V.A. Mathematical giftedness and its development // Perspectives of Science and Education. – 2014. – № 6(12). – P. 89.
6. Titova S.V. Effective method of career guidance activities of universities // The World of Modern Science. – 2011. – № 6. – P. 3–18.
7. Terentyeva E.V. The use of information technologies in linguistic olympiads in a technical university // Notes of the Mining Institute. – 2010. – V. 187. – P. 344.
8. Grakhov V.P., Kislyakova Y.G., Simakova U.F. Formation and development of the creative potential of personality of students of technical universities // Proceedings of the Mining Institute. – 2015. – V. 213. – P. 110.



УДК 377.121.427

СИНХРОНИЗАЦИЯ ПРЕДМЕТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ С КОМПЕТЕНЦИЯМИ В РАМКАХ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА ДЛЯ СПО

SYNCHRONIZATION OF SUBJECT RESULTS WITH COMPETENCIES WITHIN THE SUBJECT FOR SVE

Григорьева Ольга Сергеевна

кандидат педагогических наук,
преподаватель,
Альметьевский торгово-экономический техникум
olshab@rambler.ru

Мохова Ольга Михайловна

преподаватель,
Альметьевский медицинский колледж
Nice.mohova@bk.ru

Grigoreva Olga Sergeevna

PhD on Pedagogy, lecture,
Almetievsk Trade and Economic College
olshab@rambler.ru

Mokhova Olga Mikhailovna

Lecture,
Almetievsk Medical College
Nice.mohova@bk.ru

Аннотация. Данная статья посвящена процессу синхронизации предметных результатов с общими и профессиональными компетенциями, формируемыми при изучении предметов программы среднего профессионального образования.

Annotation. This article is devoted to the process of synchronization of subject results with general and professional competencies formed in the study of subjects in the program of secondary vocational education.

Ключевые слова: предметные результаты обучения, профессиональные компетенции, среднее профессиональное образование.

Keywords: subject learning outcomes, professional competencies, secondary vocational education.

О снову подходов к разработке примерной рабочей программы среднего общего образования по различным дисциплинам, к определению общей стратегии обучения, воспитания и развития обучающихся средствами любого учебного предмета для старших классов на базовом уровне составили концептуальные положения ФГОС СОО о взаимообусловленности целей, содержания, результатов обучения и требований к уровню подготовки выпускников [1, с. 317].

В соответствии с данными положениями примерная рабочая программа дисциплины для среднего профессионального образования (СПО): устанавливает обязательное (инвариантное) предметное содержание, рекомендует примерную последовательность изучения отдельных тем курса с учётом межпредметных и внутрипредметных связей, даёт методическую интерпретацию целей изучения предмета (личностных, метапредметных, предметных), основных видов учебно-познавательной деятельности обучающегося по освоению содержания предмета [2, с. 698].

Разработанная нами синхронизация предметных результатов с общими и профессиональными компетенциями в рамках изучения одного предмета для СПО является ориентиром для составления рабочих программ, авторы которых могут предложить свой подход к структурированию и последовательности изучения учебного материала [3, с. 315]. Рассмотрим процесс сопоставления на примере дисциплины «Химия» для будущих поваров-кондитеров (табл. 1).

Таблица 1 – Синхронизация предметных результатов с общими и профессиональными компетенциями в рамках учебного предмета

Наименование ОК согласно ФГОС СПО	Наименование предметных результатов согласно ФГОС СОО	Наименование ПК согласно ФГОС СПО
1	2	3
ОК 1. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам.	П3 сформированность умений выявлять характерные признаки понятий, устанавливать их взаимосвязь, использовать соответствующие понятия при описании состава, строения и превращений органических соединений;	ПК 1.1. Организовывать подготовку «рабочих мест, оборудования, сырья, материалов для приготовления полуфабрикатов в соответствии с инструкциями и регламентами.
ОК 2. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.	П1 сформированность представлений: о химической составляющей естественно-научной картины мира, роли химии в познании явлений природы, в формировании мышления и культуры личности, её функциональной грамотности, необходимой для решения практических задач и экологически обоснованного отношения к своему здоровью и природной среде.	ПК 1.3. Проводить приготовление и подготовку к реализации полуфабрикатов для блюд, кулинарных изделий сложного ассортимента.



Окончание таблицы 1

1	2	3
ОК 4. Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.	П11 сформированность умений владеть системой знаний об основных методах научного познания, используемых в химии при изучении веществ и химических явлений (наблюдение, измерение, эксперимент, моделирование), использовать системные химические знания для принятия решений в конкретных жизненных ситуациях, связанных с веществами и их применением.	ПК 5.6. Осуществлять разработку, адаптацию рецептур хлебо-булочных, мучных кондитерских изделий, в том числе авторских, брендовых, региональных с учетом потребностей различных категорий потребителей.

В зависимости от специфики преподаваемого предмета существует возможность проектирования рабочей программы в части корреляции предметных результатов освоения ФГОС СОО с общими и профессиональными компетенциями ФГОС СПО, что способствует повышению качества обучения каждой конкретной дисциплины.

В итоге, при использовании в своей практике рабочих программ, разработанных с учетом синхронизации предметных результатов с общими и профессиональными компетенциями, можно достичь более глубокого понимания содержательной части предмета, а также отметить повышенный уровень сформированности компетенций у будущих специалистов среднего звена при изучении различных дисциплин, согласно учебного плана специальности или получаемой профессии.

Список литературы:

1. «Концепция преподавания учебного предмета «Химия» в образовательных организациях Российской Федерации, реализующих основные общеобразовательные программы» (утв. решением Коллегии Минпросвещения России, протокол от 03.12.2019 № ПК-4вн).
2. Амиров Д.Ф., Мкртчян В.С., Мохова О.М. Проектирование электронной ресурсной базы виртуальной образовательной среды вуза // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2014. – Т. 1. – № 1 (9). – С. 692–702.
3. Григорьева О.С., Будкевич Р.Л., Вдовина С.В. Формирование требований к результатам освоения основной образовательной программы по направлению «Нефтегазовое дело» // Всероссийская научно-практическая конференция «Нефтегазовый комплекс: образование, наука и производство». Часть I. – Альметьевск : АГНИ, 2015. – С. 316–321.

List of references:

1. «The concept of teaching the subject "Chemistry" in educational organizations of the Russian Federation that implement basic general education programs» (approved by the decision of the Board of the Ministry of Education of Russia, protocol from 03.12.2019 № PK-4vn).
2. Amirov D.F., Mkrтчyan V.S., Mokhova O.M. Designing electronic resource base of virtual educational environment of a university // Modern Information Technologies and IT-education. – 2014. – V. 1. – № 1 (9). – P. 692–702.
3. Grigoryeva O.S., Budkevich R.L., Vdovina S.V. Formation of requirements to the results of mastering the basic educational program in «Oil and Gas Business» direction // All-Russian scientific-practical conference «Oil and Gas Complex: Education, Science and Production». Part I. – Almet'yevsk : AGNI, 2015. – P. 316–321.



УДК 81'27

ОБ УПОТРЕБЛЕНИИ БИБЛЕИЗМОВ В СОВРЕМЕННОМ РУССКОМ ЯЗЫКЕ

ABOUT THE USE OF BIBLEISMS IN MODERN RUSSIAN SPEECH

Зими́на Наталья Юрьевна

старший преподаватель кафедры русского языка,
Кубанский государственный технологический университет
zimina_nata@mail.ru

Милейко Елена Владимировна

Кандидат филологических наук,
доцент кафедры русского языка,
Кубанский государственный технологический университет
vladlena_mil@mail.ru

Туманов Кирилл Андреевич

студент,
Кубанский государственный технологический университет
kirilltumanoff18082004@gmail.com

Аннотация. В данной статье предпринята попытка проанализировать происхождение некоторых библеизмов для ясности и понимания при использовании их в современной русской речи.

Ключевые слова: библеизмы, речь, Библия, этимология, фразеологизмы.

Zimina Natalia Yurievna

Senior Lecturer Departments
of the Russian language,
Kuban State Technological University
zimina_nata@mail.ru

Mileyko Elena Vladimirovna

Candidate of Philological Sciences,
Associate Professor
of the Russian Language Department,
Kuban State Technological University
vladlena_mil@mail.ru

Tumanov Kirill Andreevich

Student,
Kuban State Technological University
kirilltumanoff18082004@gmail.com

Annotation. This article attempts to analyze the origin of some biblical expressions for clarity and understanding when using them in modern Russian speech.

Keywords: bibleisms, speech, Bible, etymology, phraseological units.

В современной русской речи лингвисты отмечают нередкие случаи изменения этимологии некоторых библейских выражений. То есть со временем некоторые фразеологические обороты потеряли то значение и тот посыл, которые они несли в оригинале. Филологи также делят подобные фразеологические единицы на следующие группы:

1. Фразеологизмы, которые были переосмыслены читателями Библии и использованы в значении, ином от того, что употреблялось в Новом Завете. Примером могут послужить библеизм «крошечная тьма», что в оригинале был своего рода синонимом к слову «ад», а в современном русском языке означает очень сильную тьму, то есть стал трактоваться буквально [1].

Примером может послужить и фразеологизм «манна небесная». Изначально слово «манна» употреблялось в ветхом завете, когда сыны Израилевы увидели на поверхности пустыни нечто, что напоминало иней на земле. Моисей ответил им, что это есть хлеб, который Господь дал им в пищу. И сам дом Израилев назвал этот хлеб «манной». Изначально слово «манна» использовалось в качестве хлеба, но со временем приобрела значение чего-либо желанного и необходимого.

Слово «лепта» в русском языке появилось из Библии. В библейском тексте рассказывается про бедную вдову, что пожертвовала две лепты. Однако, несмотря на то, что это было всего две лепты, это было все ее пропитание, ибо жила она бедно и скудно. Слово «лепта» обозначает мелкую медную монету маленького номинала. Внеся свою лепту, человек принимает посильное ему участие в чем-либо [1].

2. Обороты, употребленные в священном писании уже как фразеологизмы. «Левая рука не знает, что делает правая» – фразеологизм, используемый Иисусом в Нагорной проповеди как символ тайной милостыни. Однако в современном языке пропал посыл про милостыню, и теперь фразеологизм отмечает чью-либо нелогичность в действиях. Из прирчи Христа появился фразеологизм «строить дом на песке». Иисус говорил, что те, кто слушает слова его и не исполняет их, подобен человеку, что строит свой дом на песке. Пойдет дождь, разольются реки, и упадет дом, и будет его падение велико. Таким образом, тот, кто строит дом на песке, является человеком, который занимается необоснованным и необдуманым делом.

«От а до я» своими корнями также уходит в Библию. Фразеологизм «от а до я» по сути означает буквально от самого начала и до самого конца. Корни этого фразеологизма можно заметить в словах Господа «Я есмь Альфа и Омега, начало и конец». Альфа и омега – первая и последняя буквы греческого алфавита. Господь говорит, что он является тем самым началом, до которого никого не было, и является концом, после которого никого и ничего не будет.

Причина изменения смысла у библеизмов кроется в том, что русский язык, как и любой язык в принципе, развивается и видоизменяется с течением времени. В истории нашей страны произошло множество



церковных реформ, две революции, смутное время, частые смены правителей, что не могло не затронуть язык и культуру. От этого и происходили все изменения в трактовке Библии и Нового Завета.

Некоторые старославянские фразеологизмы имеют либо устаревшие слова, либо устаревшую грамматику. В книге «Фразеологические единицы современного русского литературного языка с историческими и лексическими архаизмами» [2] приводятся следующие обороты:

1. Историзмы в именных компонентах – внести лепту, зарыть талант в землю, за тридцать серебряников;

2. С лексическими архаизмами в именных и глагольных компонентах фразеологических единиц – избивание младенцев, камень преткновения, возопиют камни, минует нас чаша сия, не хлебом единым, власть имущие.

3. С архаичными служебными словами в компонентах – и иже с ним, ничтоже сумняшеся.

Однако нельзя отрицать и пословицы, которые имели библейские корни. Многие из них изменили старую грамматику, как, например, «друг познается в беде», который появился из «друг не познается в счастье, и враг не скроется в несчастье», «старый друг лучше новых двух», появившийся из «не оставляй старого друга, ибо новый не может сравниться с ним».

Есть множество пословиц в русском языке, которые изменились в плане написания в связи с измененной грамматикой. «Кто не работает, тот не ест» – произошел из библейского «Если кто не хочет трудиться, тот и не ешь». «От умного научись, от глупого разучись» – происходит, в свою очередь, от библейского «Обращающийся с мудрыми будет мудр, а кто дружит с глупыми, развратится».

Список литературы:

1. Библия. Книги священного писания Ветхого и Нового завета / Российское библейское общество. – М., 1994.

2. Попов Р.Н. Фразеологические единицы современного русского литературного языка с историческими и лексическими архаизмами / М-во просвещения РСФСР. Череповецкий гос. пед. ин-т. Вологод. гос. пед. ин-т. – Вологда : Сев.-Зап. кн. изд-во, 1967. – 168 с.

3. Зими́на Н.Ю. Орнаментальный стиль современного постмодернистского художественного текста // Вестник Университета Российской академии образования. – М., 2007. – № 4 (38). – С. 92–94.

4. Стаценко А.С., Зими́на Н.Ю. Сложное синтаксическое целое в текстах религиозного стиля / Гуманитарные и социальные науки. – 2021. – № 1. – С. 94–102.

5. Богатырева Ж.В., Зими́на Н.Ю., Пахомов Р.А. Концепты «женщина» и «мужчина» в белорусских и русских пословицах и поговорках // Мир науки, культуры, образования. – 2018. – № 3 (70). – С. 423–425.

6. Научный стиль: технический профиль : Учебное пособие с мультимедийным приложением по развитию устной и письменной речи для студентов-иностранцев нефилологических специальностей 1 курса технических вузов / В.Е. Зинковская [и др.]. – Краснодар, 2014.

7. Зими́на Н.Ю., Милейко Е.В. Осмысление концепта «любовь» в языковой картине мира носителей русского языка // Этнос и культура в эпоху глобализации. Сборник материалов IV Международной научной очно-заочной конференции. – КубГТУ, 2021. – С. 301–305.

List of references:

1. Bible. Books of the Holy Scriptures of the Old and New Testament / Russian Bible Society. – M., 1994.

2. Popov R.N. Phraseological units of the modern Russian literary language with historical and lexical archaisms / Ministry of Education of the RSFSR. Cherepovets State Pedagogical Institute. Vologda. gos. ped. inst. – Vologda : North-West Publishing House, 1967. – 168 p.

3. Zimina N. Ornamental Style of Modern Postmodern Art Text // Herald of the University of the Russian Academy of Education. – M., 2007. – № 4 (38). – P. 92–94.

4. Statsenko A.S., Zimina N.Y. The complex syntactic whole in the texts of the religious style / Humanities and Social Sciences. – 2021. – № 1. – P. 94–102.

5. Bogatyreva Zh.V., Zimina N.Y., Pakhomov R.A. Concepts «woman» and «man» in Belarusian and Russian proverbs and sayings // The World of Science, Culture, Education. – 2018. – № 3 (70). – P. 423–425.

6. Scientific style: technical profile : Textbook with multimedia application for the development of oral and written speech for foreign students of non-philological specialties of the 1st year of technical universities / V. E. Zinkovskaya [et al.]. – Krasnodar, 2014.

7. Zimina N.Y., Mileyko E.V. Comprehension of the concept «love» in the linguistic picture of the world of the Russian speakers // Ethnos and culture in the era of globalization. Proceedings of the IV International scientific part-time conference. – KubGTU, 2021. – P. 301–305.



УДК 37

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИНТЕРАКТИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ИНОСТРАННЫХ КУРСАНТОВ

DEVELOPMENT OF METHODS OF INTERACTIVE EDUCATION OF FOREIGN CADETS

Энсис Е.И.

кандидат психологических наук,
Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков
kvvaul@mil.ru

Колесников В.П.

кандидат технических наук, доцент,
Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков

Терехов В.В.

кандидат технических наук, доцент,
Краснодарское высшее военное авиационное училище лётчиков

Аннотация. Работа посвящена актуальной проблеме – восприятию, познанию и пониманию иностранными курсантами с восточным менталитетом учебного материала по дисциплине: «Механика». В результате исследования ментальных и нейрофизиологических языковых особенностей иностранных курсантов предложена программа-версия для ускоренного образования на основе трехступенчатого алгоритма. Использование трехступенчатого алгоритма позволит исключить внутренний перевод с национального языка на русский язык и повысить эффективность использования учебного времени.

Ключевые слова: интерактивное образование, восприятие, познание, понимание, синтез знаний, интуиция.

Ensis E.I.

PhD in Psychological Sciences,
Krasnodar Higher Military Flight School
kvvaul@mil.ru

Kolesnikov V.P.

PhD in Technical Sciences,
Associate Professor,
Krasnodar Higher Military Flight School

Terekhov V.V.

PhD in Technical Sciences,
Associate Professor,
Krasnodar Higher Military Flight School

Annotation. The work is devoted to an urgent problem – the perception, cognition and understanding of foreign cadets with an oriental mentality of educational material in the discipline: «Mechanics». As a result of study of mental and neurophysiological language features of foreign cadets, a program version for accelerated education based on a three-step algorithm is proposed. The use of three-step algorithm will eliminate internal translation from the national language into Russian and increase the efficiency of the use of study time.

Keywords: interactive education, perception, cognition, understanding, synthesis of knowledge, intuition.

Раскрытие интеллектуальных потенциалов и особенностей восприятия иностранных курсантов с учетом восточного менталитета на основе мультимедийной культуры образования и «подготовительного алгоритма».

В связи с трудностями перехода образования иностранных курсантов юго-восточной Азии с родного языка на русский язык, было проведено исследование для изучения этой проблемы.

При совершенствовании учебного процесса преподаватель должен учитывать противоречие в восприятии учебной темы на русском языке и их родной речи [1]. Так как речь является национальным феноменом и носителем культуры, то преподаватель, осознавая «работу слова» в контексте дисциплины, должен уметь использовать не только профессиональные знания, но и в процессе коммуникации с аудиторией учитывать особенности восприятия темы иностранными курсантами [2].

На первом этапе обучения предлагается использовать современный аудиовизуальный метод, как средство аудиторной коммуникации. Этот метод позволяет преподавателю предложить мультимедийное обучение в виде: диа-, кино-, телефильмы, доступные для их начального восприятия [3].

Для этого преподаватель активно вовлекает курсантов в учебный процесс в соответствии с их уровнем знаний, и помогает им не только понять особенности русского языка, но и быстрее овладеть им. Чтобы постичь иноязычную особенность русской речи и ее смысл был выявлен нейрофизиологический механизм внутреннего перевода текста с русского языка на родной. Этот метод позволяет преподавателю (табл. 1).

Таблица 1

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ВНУТРЕННЕГО ПЕРЕВОДА ТЕКСТА			
создать на занятии коммуникативную среду	увеличить и закрепить вербальные возможности иностранных курсантов	адаптировать курсантов к использованию профессиональной лексики	совершенствовать построение многосложного ответа и постигать диалог речи



Но иностранному курсанту для понимания смысла воспринятой речи преподавателя ещё необходимо время и для внутреннего перевода речи с родного языка на русский. Поэтому, постигая смысл услышанного, курсант формирует ответ и затрачивает дополнительное время на это. Особенность такого ментального конструирования в сознании иностранного курсанта составляет для него трудность в вербализации ответа, и медленное речевое поведение при ответах приводит к неэффективному использованию учебного времени.

В начале обучения для преодоления этих препятствий нами предлагается использовать экранные средства с речевым текстом и наглядную учебную доску для подачи графической информации в виде диаграмм, схем и формул.

Введение в учебный процесс предлагаемой аудиовизуальной культуры дает возможность сделать иностранному курсанту первый шаг к овладению понятийностью на русском языке. Мы считаем, что использование этого приема даст ориентир для второго шага – развитию понимания темы на русском языке с овладением её смысла. Такое содержание обучения является основой для разработки методики по организации взаимодействия преподаватель-курсант, что позволит преподавателю сформировать «подготовительный алгоритм» для обучения иностранных курсантов [4]. «Подготовительный алгоритм» состоит из следующих шагов (табл. № 2).

Таблица 2

«ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ»				
познание принципа понятийности	понимание значения восприятия	ментальное конструирование мысли	внутренний перевод	вербализация ответа

Методологический принцип применения «переходного алгоритма» для ускорения образования курсантов и развития навыков ментального инжиниринга и вербализации русской речи

Так как восприятие и структурирование мышления происходит на основе нейрофизиологических связей аксонов в нейросети головного мозга, то следует учитывать, что в процессе взросления и становления иностранных курсантов как личностей, формируется сознание и мышление на родном языке по восточному генотипу. За это отвечают «зеркальные» нейроны как основные нейромедиаторы восприятия, отвечающие за следующие реакции: подражание, копирование, понимание и развитие речи.

Динамический переход с родной речи на русский язык вызывает переформатирование аксоновых связей и перестройку физиологических особенностей артикуляции для вербализации посредством русской речи.

Учитывая нейрофизиологические особенности иностранных курсантов и понимая принцип их мышления, мы предлагаем новый методологический принцип для составления комплексного трехступенчатого алгоритма, что позволит сформировать динамическую систему образования личности в интерактивном пространстве аудитории. Что бы поэтапно направить образовательный процесс от понятийного до творческого – для развития интуитивного мышления.

Это важное направление в образовании будет представлять собой совокупность аудиовизуальных средств, информативной графики и теоретических положений для ментального конструирования мысли на родном языке и вербализации ее русским языком. Теоретические знания будут закреплены на практических занятиях при помощи краткого словаря с прямым и обратным языковым переводом. Этот материал готовит преподаватель в соответствии с темой учебного занятия. Он закрепляет тему при помощи этого словаря, согласно ранее разработанной методике: блиц-вопрос и блиц-ответ. Далее он, признавая способность курсанта к выражению материала на русском языке, оценивает его ответ с учетом понимания смысла, что является важным условием для восприятия предмета и возникновения в нем потребности к речевому высказыванию.

Актуальность работы с иностранными курсантами обусловлена также применением метода синтеза знаний, на базе междисциплинарных знаний, что позволит считать данное исследование инновационным [5–7].

Предложенная методическая модель для совершенствования восприятия синтеза знаний иностранными курсантами позволит преподавателю сделать специфический отбор видео- и аудио материалов, средств трансляции при помощи словаря, а также приема использования блиц-вопроса и блиц-ответа уже без внутреннего языкового перевода на основе интуитивного мышления [8].

Такая комплексная система динамического перехода от обучения с использованием перечисленных механизмов обучения позволит иностранному курсанту образованию без использования внутреннего перевода применить следующий метод формирования восприятия (табл. 3).

Формирование нового восприятия у иностранных курсантов на основе совершенствования нейрофизиологических связей позволит преподавателю не только реализовать их профессиональные знания фундаментальных основ, но и решить для своей педагогической компетентности следующие научно-исследовательские задачи (табл. № 4).



Таблица 3

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ВОСПРИЯТИЯ			
приобщение иностранных курсантов к аудиовизуальной культуре образования через разработанный курс по дисциплине с применением подготовительного алгоритма	реализация синтеза наук через аудио- и видео- средств междисциплинарных связей	отбор материалов, стимулирующих у курсантов потребность в создании речевого ответа и ментального конструирования на основе творческого процесса	создание условий для разных видов речевой деятельности: чтение, повторение, написание формул, графические модели, использование тематического словаря для речевого закрепления

Таблица 4

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЗАДАЧИ			
умение применить «начальный алгоритм» обучения для усвоения понятий	умение использовать «переходной алгоритм» обучения для детализации восприятия на русском языке	умение закрепить знания посредством использования «завершающего алгоритма» чтобы сформировать образное мышление на основе интуиции	помочь осмыслить и вербализовать тематический материал

На основе изучения и применения «начального алгоритма» мы предлагаем для формирования нового восприятия «переходной алгоритм».

«Переходной алгоритм» необходим для перехода обучаемого от пассивного восприятия к активному восприятию.

Основными шагами для внедрения переходного алгоритма в процесс обучения являются (табл. 5).

Таблица 5

ШАГИ ВНЕДРЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО АЛГОРИТМА В ПРОЦЕСС ОБУЧЕНИЯ				
осознание преподавателем необходимости концепции формирования нового восприятия	моделирование процесса обучения при помощи графических приемов и образного представления об изучаемом предмете	поиск языковых средств для вербализации при помощи словаря	анализ и поиск смыслов, не имеющих переводов	интуитивное постижение темы

Предложенная программа-версии «переходного алгоритма» представляет собой пять шагов динамического восприятия, которое будет способствовать творческому объединению родного языка с русскими языковыми средствами, что будет стимулировать и мотивировать речевую деятельность. А применение метода синтез знаний в «переходном алгоритме» применяется как специфическое средство обучения русскому языку для того, чтобы стать базовым средством для приобщения иностранных курсантов к научно-исследовательской работе [9].

При этом преподаватель должен сформировать не только тематический словарь перевода, но и предложить сценарий учебного занятия с учетом индивидуального восприятия материала курсантами в соответствии с уровнем их интеллектуальной восприимчивости.

Формирование «завершающего алгоритма» с учетом интеллектуальной восприимчивости и природных данных иностранных курсантов для совершенствования русского языка

Учитывая природную способность курсантов к восприятию языка и наработку активного восприятия согласно «переходному алгоритму» предлагается внедрить «завершающий алгоритм» для углубленного понимания русского языка и его свободным владением [10].

На основе изучения восточного менталитета и его восприятия знаний общего к частному мы определили препятствия в понимании ими русской речи, а также формирования мышления русского человека от частного к общему. На основе этого была разработана программа-версия «завершающего алгоритма». Если программная модель версии учитывала эффективность использования времени на обрат ментальной конструкции и трудностей вербализации иностранного курсанта, то переходной алгоритм составлялся с учетом понимания смысла заданной учебной темы на основе творческих начал с желанием вербализовать освоенный материал. Посредством переходного алгоритма преподаватель воспитал активное восприятие и мотивацию для осмысленной вербализации, где затрачивается время на частичный перевод. Использование тематического словаря при переходном алгоритме расширяет словарный запас слов и способствует развитию образного мышления.

Эти базисные основы алгоритмов позволяют смоделировать «завершающий алгоритм», состоящий из следующих этапов (табл. 6).

Таблица 6

«ЗАВЕРШАЮЩИЙ АЛГОРИТМ»				
осознание русского менталитета и национальной культуры	фонетическое осмысление русского языка и его транслитирование	познание языка, как души народа	сравнительный фонетический анализ для формирования ассоциативного мышления как дополнительного механизма для вербализации	использование творческого метода интуиции для эффективного использования учебного времени



Вывод

Введение в учебный процесс предлагаемой аудиовизуальной культуры даст возможность осуществить иностранному курсанту первый шаг к овладению понятийностью на русском языке, что приведет к развитию понимания изучаемой темы

На основе исследования ментальных и нейрофизиологических языковых особенностей иностранных студентов предложена программа-версия для ускоренного образования на основе трехступенчатого алгоритма

Использование трехступенчатого алгоритма позволит внедрить предложенную методику в учебный процесс для исключения внутреннего перевода с национального языка на русский язык, что повысит эффективность использования учебного времени.

Список литературы:

1. Азимов Э.Г. Теория и практика использования компьютерных программ преподавания русского языка как иностранного. – М. : ИУЦ ГИРЯз им. А.С. Пушкина, 2000. – 149 с.
2. Бриченкова Е.С. Прецедентное высказывание как объект лингвокультуроведческого комментария на уроках РКИ // Русский язык за рубежом. – 2007. – № 3. – С. 72–75.
3. Ковшиков В.А., Пухов В.П. Психолингвистика, теория речевой деятельности. – Изд. Электронной библиотеки FictionBookLib, ЛитРес, 2009.
4. Энсис Э.И., Колесников В.П., Терехов В.В. Разработка методов повышения качества культуры образования на основе синтеза знаний: монография. – Краснодар : КВВАУЛ, 2020. – 194 с.
5. Колесников В.П., Энсис Е.И., Терехов В.В. Синтез знаний как основа для культуры образования // Матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, посвященной 57-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос / КВВАУЛ. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2018. – 503 с.
6. Колесников В.П., Энсис Е.И., Терехов В.В. Синтетический метод развития восприятия в процессе обучения // Материалы XI Межд. науч.-практ. конф. молодых ученых, посвящ. 60-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос / КВВАУЛ. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – С. 385.
7. Колесников В.П., Энсис Е.И., Терехов В.В. Синтез знаний как метод воспитания стратегического мышления // Материалы XI Межд. науч.-практ. конф. «Научные чтения им. проф. Н.Е. Жуковского» / КВВАУЛ. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2021. – 588 с.
8. Колесников В.П., Энсис Е.И., Терехов В.В. Исследование инновационных образовательных технологий подготовки военных специалистов, основанных на методах получения информационных, механических и синтетических знаний : монография. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019. – С. 190.
9. Неведовский В.А., Савицкий Ю.А., Терехов В.В. Исследования в области развития пространственного мышления будущего военного летчика // Гуманитарные и социальные науки. – Ростов-на-Дону, 2021. – № 2. – С. 226–237.

List of references:

1. Azimov E.G. Theory and practice of using computer programs for teaching Russian as a foreign language. – M. : A.S. Pushkin Institute of Russian Language and Literature, 2000. – 149 p.
2. Brichenkova E.S. Precedent utterance as an object of linguocultural commentary on the lessons of RLI // Russian language abroad. – 2007. – № 3. – P. 72–75.
3. Kovshikov V.A., Puhov V.P. Psycholinguistics, theory of speech activity. – Ed. by FictionBookLib, LitRes, 2009.
4. Ensis E.I., Kolesnikov V.P., Terekhov V.V. Development of methods to improve the quality of education culture on the basis of knowledge synthesis: a monograph. – Krasnodar : KVVAUL, 2020. – 194 p.
5. Kolesnikov V.P., Ensis E.I., Terekhov V.V. Synthesis of Knowledge as the Basis for the Culture of Education // Mater. Proc. of VIII Intern. nau. conf. of young researchers, devoted. Gagarin's space flight 57-th anniversary / KVVAUL. – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2018. – 503 p.
6. Kolesnikov V.P., Ensis E.I., Terekhov V.V. Synthetic method of perception development in process training // Materials of XI Int. nau.-prakt. conf. of young scientists, devoted to the 60th anniversary of the flight of Y.A. Gagarin into space / KVVAUL. – Krasnodar : Publishing House – Yug. – P. 385.
7. Kolesnikov V.P., Ensis E.I., Terekhov V.V. Synthesis of Knowledge as a Method of Training Strategic Thinking // Materials of XI Int. sci. conf. «Scientific Readings in the name of Prof. N.E. Zhukovsky» / KVVAUL. – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2021. – 588 p.
8. Kolesnikov V.P., Ensis E.I., Terekhov V.V. Research of innovative educational technologies of military specialists' training based on methods of information, mechanical and synthetic knowledge acquisition : monograph. – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2019. – P. 190.
9. Nefedovsky V.A., Savitsky Yu.A., Terekhov V.V. Studies in the development of pro-spatial thinking of the future military pilot // Humanities and Social Sciences. – Rotov-on-Don, 2021. – № 2. – P. 226–237.



ФИЛОСОФСКИЕ НАУКИ

PHILOSOPHICAL SCIENCES

УДК 101.9

ФИЛОСОФСКИЕ ИДЕИ ФАРАБИ В ПРОЕКЦИИ НА XXI ВЕК

PHILOSOPHICAL IDEAS OF FARABI IN THE PROJECTION FOR THE XXI CENTURY

Намазова Шоира Абдузакировна
кандидат философских наук,
доцент кафедры «Социально-гуманитарные дисциплины»,
Филиал Российского государственного университета нефти
и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Ташкенте
sh.namazova@gubkin.uz

Аннотация. Данная статья обращена к феномену философского гения Фараби (873-950), представителю эпохи Первого Восточного Ренессанса, светящиеся лучи разума которого освещают гуманистические направления передовой науки мыслительной деятельности человека XXI века, его неодолимую потребность преобразования жизни. Автор статьи сосредотачивает внимание на всемирно известной «Большой книге о музыке» Фараби как неисчерпаемом источнике философских идей, исключительно актуальных в наше время, характеризующееся огромным интересом к духовному миру личности в аспекте современной гармонии мира, возвращения ценностных основ философских идей Фараби, прогресса глобализации, необходимых эпохе Третьего Восточного Ренессанса.

Ключевые слова: Фараби, философская идея, духовность, музыка, стиль научного мышления, глобализация.

Namazova Shoira Abduzakirovna
Candidate of Philosophy,
Associate Professor of the Department
of «Social and Humanitarian Disciplines»,
Branch of the Russian State University of Oil
and Gas (NRU) named after I.M. Gubkin
in Tashkent
sh.namazova@gubkin.uz

Annotation. This article is addressed to the phenomenon of the philosophical genius Farabi (873-950), a representative of the era of the First Eastern Renaissance, whose luminous rays of reason illuminate the humanistic directions of the advanced science of human mental activity of the 21st century, his irresistible need to transform life. The author of the article focuses on the world-famous «Big Book of Music» by Farabi as an inexhaustible source of philosophical ideas that are extremely relevant in our time, characterized by great interest in the spiritual world of the individual in the aspect of modern harmony of the world, the return of the value foundations of Farabi's philosophical ideas, the progress of globalization, the necessary era of the Third Eastern Renaissance.

Keywords: Farabi, philosophical idea, spirituality, music, style of scientific thinking, globalization.

В XXI веке важнейшей тенденцией Третьего Ренессанса в Узбекистане является актуализация нематериального наследия в жизни современного общества, осознание его как уникального компонента всемирного наследия.

«...Сегодня, когда в полную силу реализуется мощный потенциал нашего народа, в Узбекистане закладывается фундамент новой эпохи Возрождения – третьего Ренессанса. Ведь сегодняшний Узбекистан – это не вчерашний Узбекистан. И наш народ – уже не тот, каким был вчера». Эти мысли озвучены Президентом Шавкатом Мирзиёевым на торжественной церемонии, посвященной 29-й годовщине независимости Республики Узбекистан [5]. При этом упоминание словосочетания «Новый Узбекистан» в мировом масштабе свидетельствует о признании того, что мы за последние годы вступили в совершенно новый этап развития – этап огромных преобразований и достижений.

Наше время, являющееся эпохой Третьего Ренессанса, ознаменовано интенсивным возрождением национальных духовных ценностей. Не случайно одной из целей Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы определена «Государственная поддержка бережного сохранения, широкой популяризации и развития национальных ценностей и духовного наследия узбекского народа» [7].

Глобализация, расширение информационно-коммуникационного пространства во всех отраслях науки, искусства, образования требуют изучения происходящих сегодня процессов. Особенно интересно и плодотворно происходят процессы национального возрождения в сфере музыкальной культуры, имеющую важное значение в духовно-нравственном становлении и развитии личности, формировании высших эстетических идеалов молодого поколения.

Великие предки узбекского народа, много веков назад заложив основы современной науки, оставили неизгладимый след в истории мировой цивилизации своими энциклопедическими трудами и изобретениями в области математики, астрономии, геодезии, географии, истории, арифметики, фар-



макологии, медицины, философии и лингвистики. Не случайно на Западе появилась фраза «С Востока исходит свет». Научное и духовное наследие Мухаммада аль-Хорезми, Ахмада Фергани, Ал ХакимаТ-Термизи, Абу Али ибн Сина, Абу Наср Фараби, Мирзо Улугбека, Алишера Навои, Захириддина Мухаммада Бабура справедливо признано шедевром восточного Ренессанса. В частности, в мировой науке подтвержден тот факт, что Центральная Азия как один из средневековых научных и культурных центров оказала положительное влияние на процессы Возрождения в других регионах.

Следует отметить, что наследие великих восточных мыслителей Фараби, Ибн Сины, Хорезми, Навои, Фергани, Джамии стало могучей философско-эстетической платформой, идейным фундаментом нематериального наследия узбекской нации.

Более десяти столетий отделяют нас от эпохи Фараби и обращая взгляд на этого гения из XXI века, невозможно не поражаться его масштабности научного мышления, великих его философских идей. Фараби был сведущим во всех областях научных знаний, которые оказались удивительным образом, поистине непостижимым, увязанным в единый узел в его трактате «Большая книга о музыке». В сущности этот научный труд можно назвать «Большой книгой о жизни», поскольку в ней музыка в философской концепции Фараби является универсальной категорией, парадигмой жизненной траектории человеческой жизни. Такие категории философии как время, пространство, ритм, цикличность, гармония раскрываются Фараби через призму музыки, отражающей философию, эстетику, психологию, социологию, формирующих художественный вкус и, шире, – мировосприятие своей эпохи. Именно эти параметры философского гения Фараби особенно притягательны сегодня в цифровую эру человеческой цивилизации, эпоху бурного развития инновационно-коммуникационных технологий, отображающих аспекты самовыражения и самореализации личности в потоке разнообразных франшиз, коллабораций, поисках самореализации человек XXI века испытывает духовную потребность в новом возрождении ценностей, накопленных человечеством, созвучных современному мировосприятию и мироощущению. «Третий Ренессанс – подчеркивает узбекский учёный Содик Сафоев, – это не вопрос долгосрочной перспективы. Это реальность, которая сегодня, в настоящий момент существует и растёт в каждой клетке, в каждой части нашего общества» [6, с. 7]. Третий Ренессанс охватывает все сферы жизнедеятельности общества, особенно образование и воспитание, от качественного уровня которых зависит прочность фундамента государства, его компетентности и авторитета в мировом сообществе. Поэтому обращение к наследию великого Фараби, титана эпохи Первого Восточного Ренессанса способствует философскому осмыслению реалий современной жизни и её неотъемлемой составляющей – музыкального искусства.

Для своего времени, а именно, Первого Восточного Ренессанса «Большая книга о музыке» Фараби была подлинно инновационным научным трудом. «Наука и инновация – фундамент каждого Ренессанса» [6, с. 7]. В полной мере эти слова можно отнести к «Большой книге о музыке», каждая строка которой является отражением новаторских воззрений Фараби на философию искусства. Следует отметить также и принцип историзма, свидетельствующих о глубоком проникновении в сущность музыки на основе осмысления её истоков и критического анализа современных взглядов учёных. Так, во Введении Фараби писал: «Древние сформировали некоторые принципы, которые мы находим в их работах, но они не разъясняли сути; те из наших современников, которые пошли по их стопам, не уточняли их дальше» [1, с. 77].

В «Большой книге о музыке» важное место занимает категория мелодии, которая рассматривается Фараби с широких философско-эстетических, психологических и социокультурных позиций: «Мелодии, и все, что к ним относятся, являются такими вещами, которые достигаются благодаря человеческим чувствам, воображению, размышлению и становятся совершенными и привлекательными» [1, с. 81]. Теоретический анализ восприятия музыки, осуществленный Фараби, весьма актуален сегодня. Воспитание художественного вкуса, формирующее в сущности философию жизни человека, его культуру, интеллект, мировоззрение, мироощущение и мировосприятие волновало научный ум и мышление Фараби не случайно. Великий мыслитель акцентировал своё внимание на вопросах восприятия музыки, понимания её содержания, указывая путь будущего музыкального искусства как важнейшего средства образования и воспитания духовных ценностей личности.

Последовательно и логично переходя от рассмотрения восприятия музыки к определению понятия знания и его критериев, Фараби устремлял свою научную мысль в область философии, как бы предугадывая аспекты философского содержания музыкального искусства последующих эпох, вплоть до нашего времени. Эта поистине пророческая сущность научного мышления Фараби поразительна в своем глобальном измерении. Поразительны и теоретические воззрения Фараби, предвосхищающие процессы эволюции музыкального мышления композиторов нашей современности, открывающие в своих сочинениях различные ритмические и числовые структуры – Оливье Мессиаана, Софии Губайдулиной.

Суждения Фараби о музыке характеризуются глубокой философской обоснованностью теоретической мысли. Таково, в частности следующее рассуждение великого мыслителя: «В музыке звук и свойственные ему качества не рассматриваются вообще, и лишь постольку, поскольку они являются для нас естественными или нет» [1, с. 225].



Фараби излагал свои мысли о музыке ясно, чётко и определённно. Ему был присущ неповторимый оригинальный научный стиль литературной речи. «Особый интерес представляют ценности, определяющие основные черты стиля мышления» [2, с. 250]. Фараби обладал индивидуальным стилем мышления, который можно обозначить как стиль философского мышления, логически системным, тяготеющим к классификации изучаемых явлений.

Стиль философского научного мышления имеет важное значение в изучении сложных противоречивых процессов в современном музыкальном искусстве. Поэтому научная методология Фараби, выработанная на основе практики, созвучна современным методическим подходам в исследовании искусства. «Музыкально-теоретические воззрения Фараби дают ключ к пониманию многих сторон современной музыкальной практики народов Востока, особенно её классического наследия – макмата, понимаемого в данном случае довольно широко, как олицетворение профессиональной музыки традиции народов Среднего и Ближнего Востока, как олицетворение следующего после фольклора более сложного этапа музыкального мышления» [4, с. 82].

Труды Фараби имеют огромное значение в современном образовании и воспитании. «Глубокие знания в естественных и гуманитарных науках, тонкое ощущение и понимание особенностей восприятия музыки слушателями и практические занятия музыкой формировали также и музыкально-педагогические взгляды Фараби, которые нашли отражение в его произведениях» [3, с. 151]. Поистине удивительно, что чем больше по времени отдалается от нас уникальный облик Фараби, тем полноценнее раскрывается сущность его инновационной деятельности. В этом заключается сила философского гения Фараби, притягивающего к нему людей на протяжении многовековой истории человеческой цивилизации.

Список литературы:

1. Аль-Фараби. Трактаты о музыке и поэзии / Пер.с арабского. – Алматы : Гылым, 1993. – 456 с.
2. Ивин А. Ценности в научном познании // Логика научного познания. Актуальные проблемы. – М. : Наука, 1987. – С. 230–258.
3. Кадыров Р. Музыкальная педагогика. – Ташкент : Musiq, 2009 – 504 с.
4. Матякубов О. Фараби об основах музыки Востока. – Ташкент : Фан, 1986. – 88 с.
5. Мирзиёев Ш.М. Выступление Президента Республики Узбекистан Ш.М. Мирзиёева на торжественном собрании, посвященном 29-й годовщине независимости Республики Узбекистан [Электронный ресурс]. – 2020. – URL : <https://uza.uz/ru/posts/vystuplenie-prezidenta-respubliki-uzbekistan-shavkata-mirziye-31-08-2020>
6. Сафоев С. Новый Ренессанс уроки истории и императивы времени // O'zbekiston. – 2021. – № 1. – С. 5–7.
7. Стратегия развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы [Электронный ресурс]. – 2022. – URL : <https://lex.uz/ru/docs/5841077#5843472>

List of references:

1. Al-Farabi. Treatises on music and poetry / Translated from Arabic. – Almaty : Gylym, 1993. – 456 с.
2. Ivin A. The Values in Scientific Cognition // The Logic of Scientific Cognition. A Critical Problem. – M. : Nauka, 1987. – P. 230–258.
3. Kadyrov R. Music Pedagogy. – Tashkent : Musiq, 2009 – 504 p.
4. Matyakubov O. Farabi on the bases of eastern music. – Tashkent : Fan, 1986. – 88 p.
5. Mirziyoyev Sh.M. The speech of the President of the Republic of Uzbekistan Mirziyoyev at the ceremonial meeting dedicated to the 29th anniversary of the independence of the Republic of Uzbekistan [Electronic resource]. – 2020. – URL : <https://uza.uz/ru/posts/vystuplenie-prezidenta-respubliki-uzbekistan-shavkata-mirziye-31-08-2020>
6. Safoev S. New Renaissance lessons of history and imperatives of time // O'zbekiston. – 2021. – № 1. – P. 5–7.
7. Development Strategy of New Uzbekistan for 2022–2026 years [Electronic resource]. – 2022. – URL : <https://lex.uz/ru/docs/5841077#5843472>



ЭКОНОМИКА

ECONOMICS

УДК 658.5

ОБ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**ABOUT ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC ASPECTS OF THE INTRODUCTION OF QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS AT MANUFACTURING ENTERPRISES****Кабакова Мария Юрьевна**

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры инжиниринга транспортно-технологических
средств и оборудования,
Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.И. Ломоносова
m.kabakova@narfu.ru

Kabakova Maria Yurievna

PhD of Sci. Tech., Associate Professor,
Northern (Arctic) Federal University named
after M.V. Lomonosov
m.kabakova@narfu.ru

Аннотация. В данной статье описаны организационные и экономические аспекты, которые следует принимать во внимание при внедрении систем управления качеством на производственных предприятиях.

Annotation. This article describes the organizational and economic aspects that should be taken into account when implementing quality management systems at manufacturing enterprises.

Ключевые слова: система управления качеством, организационная культура, затраты на качество, экономическая эффективность.

Keywords: quality management system, organizational culture, quality costs, economic efficiency.

Для любого производственного предприятия важно обеспечить устойчивое экономическое развитие и поддержание конкурентоспособности. Одним из условий, позволяющих организациям функционировать эффективно, является наличие действующей системы управления качеством. Работа такой системы позволяет постоянно совершенствовать процессы, как производственные, так и непроизводственные, поскольку для этого будут иметься соответствующий инструментарий и методика. Наряду с системами управления качеством на промышленных предприятиях повсеместно внедряются системы бережливого производства, принципы и подходы которых являются схожими и предполагают по сути достижение одних и тех же целей.

Проектирование и внедрение системы менеджмента качества – сложный процесс, результат которого и успешность работы этой системы будут зависеть от того, как верно понимаются и реализуются на практике принципы и подходы используемых стандартов.

Для начала работы системы управления качеством промышленное предприятие должно быть организационно подготовлено, преобразования осуществляются путем целенаправленной управленческой деятельности, а также путем самоорганизации. Для внедрения системы управления качеством на предприятии следует использовать комбинацию этих способов. Существует стандарт оценки уровня зрелости организации к внедрению проектного управления OPM3 (Organizational Project Management Maturity Model) [1]. Он может быть использован также для оценки уровня зрелости предприятия к внедрению системы управления качеством и к внедрению системы бережливого производства. Уровень зрелости [2, с. 26–27] для внедрения таких систем должен быть не ниже 3, а для успешного функционирования необходимо достижение 4 и 5 уровня.

Организационная культура предприятия играет особо важную роль. В работе [3] приводится сравнительная характеристика традиционного предприятия и бизнес – системы. Не все производственные предприятия соответствуют понятию бизнес – системы в силу специфики производства, проще всего это соответствие достигается на предприятиях небольшого масштаба, клиентоориентированных. Некоторые черты такой системы следует принять во внимание и использовать при организационных преобразованиях, внедрении систем управления качеством, внедрении систем бережливого производства – такие приведены на рисунке 1.

Количественное выражение целевых установок промышленного предприятия, которое внедряет систему управления качеством, должно касаться экономики качества. Предприятие должно сплани-



ровать, какие затраты оно понесет при внедрении системы, при обучении сотрудников, при поведении экспертизы для получения сертификата соответствия.

В конечном итоге издержки покрываются, и экономические эффекты от повышения качества реализуются в виде реальной прибыли предприятия.



Рисунок 1 – Черты организации как бизнес-системы

Одним их экономических эффектов от изменения качества является изменение потребительской стоимости продукции. Для продукции производственных предприятий экономические эффекты будут достигаться за счет сокращения числа отклонений (дефектов), за счет сокращения потерь от рекламаций, за счет снижения расходов на подготовку и освоение производства, за счет снижения материальных и трудовых затрат, за счет повышения надёжности оборудования.

Коэффициент экономической эффективности от внедрения системы управления качеством можно в общем случае можно вычислить как [4, с. 218–219]:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{\varepsilon^{\Sigma}}{K_{\Pi}}, \tag{1}$$

где ε^{Σ} – суммарный годовой экономический эффект для предприятия; K_{Π} – единовременные затраты на разработку и внедрение системы управления качеством на предприятии.

Нормативный коэффициент экономической эффективности ε_H для капитальных вложений зависит от отрасли экономики, для промышленных предприятий он может быть принят 0,16. Если $\varepsilon_{\Sigma} \geq \varepsilon_H$, то внедряемую систему следует считать достаточно эффективной.

При изучении различных подходов к оценке затрат на качество, выявлена следующая тенденция изменения составляющих расходов на качество: затраты на контроль, затраты на коррекцию и исправле-



ния будут снижаться, затраты на профилактику будут расти. При этом получены данные [4, 5], показывающие, что общий объем затрат на качество уменьшается примерно на одну треть за три года.

Список литературы:

1. Портал для профессионалов в управлении проектами и бизнесом в целом. Модель зрелости организационного управления проектами (ОПМЗ). – URL : <https://pmjournal.ru/articles/obzory/organizatsionnoe-upravlenie-proektami-i-model-zrelosti/>
2. Управление проектами: учебник / А.И. Балашов [и др.]; под ред. Е.М. Роговой. – М. : Издательство Юрайт, 2013. – 383 с.
3. Веснин В.Р. Теория организации и организационного поведения: учебник. – М. : Проспект, 2014. – 470 с.
4. Аристов О.В. Управление качеством: учеб. пособие для вузов. – М. : ИНФРА-М, 2006. – 240 с.
5. Управление качеством: учебник для вузов / О.П. Глудкин [и др.]; под. ред. О.П. Глудкина. – М. : Радио и связь, 1999. – 600 с.

List of references:

1. A portal for professionals in project and business management in general. Organizational Project Management Maturity Model (OPM3). – URL : <https://pmjournal.ru/articles/obzory/organizatsionnoe-upravlenie-proektami-i-model-zrelosti/>
2. Project Management: textbook / A.I. Balashov [et al.]; ed. by E.M. Rogova. – M. : Publishing house Yurait, 2013. – 383 p.
3. Vesnin V.R. Theory of organization and organizational behavior: textbook. – M. : Prospect, 2014. – 470 p.
4. Aristov O.V. Quality management: textbook for universities. – M. : INFRA-M, 2006. – 240 p.
5. Quality Management: textbook for universities / O.P. Gludkin [et al.]; ed. by O.P. Gludkin. – M. : Radio and communications, 1999. – 600 p.



УДК 550.8:553.98

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ПРОЕКТОВ МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

GEOLOGICAL RISK AND ECONOMIC EFFICIENCY OF OFFSHORE HYDROCARBON EXPLORATION PROJECTS

Прокофьева Людмила Михайловна

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры экономики минерально-сырьевого комплекса,
Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе
prokofieva-mila@mail.ru

Кузовлева Нина Федоровна

кандидат экономических наук,
профессор кафедры экономической экспертизы
и финансового мониторинга,
Российский технологический университет
nina-kuzovleva@yandex.ru

Аннотация. Не только освоение морских месторождений углеводородного сырья, но и геологоразведочные проекты по поиску месторождений углеводородов на слабо изученных территориях шельфа требуют значительных финансовых вложений. Понятия «риск», «неопределенность» сопровождают все этапы геологоразведочного процесса и играют в нем важную роль, что необходимо учитывать при планировании геологоразведочных работ и оценке их эффективности. Однако трактовка риска в различных документах неоднозначна. Одним из важнейших факторов, влияющих на итоговую оценку экономической эффективности геологоразведочного проекта, является вероятность геологической успешности – величина обратная геологическому риску. Оценка геологической успешности российскими компаниями часто оценивается по четырехфакторной модели. В итоге осуществляется оценка NPV месторождения и расчет EMV проекта с учетом затрат на геологоразведочные работы.

Ключевые слова: ресурсы углеводородов, месторождение, управленческие решения, геологический риск, оценка риска, геологическая успешность.

Prokofieva Liudmila Mikhailovna

Candidate of Geology,
Associated Professor of Economics
of Mineral Resources Complex Department,
Russian state geological prospecting
University named after S. Ordzhonikidze
prokofieva-mila@mail.ru

Kuzovleva Nina Fedorovna

Candidate of Economic,
Professor of the Department of economic
expertise and financial monitoring,
Russian Technology University
nina-kuzovleva@yandex.ru

Annotation. Not only the development of offshore hydrocarbon deposits, but also geological exploration projects to search for hydrocarbon deposits in poorly studied areas of the shelf require significant financial investments. The concepts of «risk» and «uncertainty» accompany all stages of the exploration process and play an important role in it, which must be taken into account when planning exploration and evaluating their effectiveness. However, the interpretation of risk in various documents is ambiguous. One of the most important factors influencing the final assessment of the economic efficiency of an exploration project is the probability of geological success – the inverse of the geological risk. The assessment of geological success by Russian companies is often assessed using a four-factor model. As a result, the NPV of the full cycle of field discovery is evaluated and the EMV of the project is calculated taking into account the costs of exploration.

Keywords: hydrocarbon resources, deposit, management decisions, geological risk, risk assessment, geological success.

Для экономики России проблема освоения углеводородных ресурсов континентального шельфа имеет важное значение. Площадь континентального шельфа России составляет 6,2 млн км², не менее 4 млн км² являются перспективными на нефть и газ. По данным Министерства природных ресурсов России, на Баренцево и Карское моря приходится около 80 % начальных потенциальных ресурсов углеводородов всего континентального шельфа России. Начальные извлекаемые ресурсы углеводородов (УВ) на шельфе России оцениваются в 90–100 млрд т условного топлива, в т.ч. 15,5 млрд т нефти и 84,5 трлн. м³ газа. Это соответствует 20–25 % общего объема мировых ресурсов углеводородного сырья [3, 5].

Предприятия нефтегазовой отрасли относятся к объектам повышенной опасности. Риски, которые возникают при освоении, обустройстве, добыче и транспортировке нефти и газа, эксплуатации нефтеперерабатывающих заводов, могут привести к крупным авариям и даже катастрофам. Осуществление геологоразведочных работ и освоение морских месторождений, особенно арктических, связаны с высокой капиталоемкостью, тяжелыми климатическими условиями, неразвитостью инженерно-технической и транспортной инфраструктур, что делает реализацию морских нефтегазовых



проектов высокорискованной. Поэтому анализ основных рисков является одной из основных задач нефтегазовой отрасли.

Не только освоение морских месторождений углеводородного сырья, но и геологоразведочные проекты по поиску месторождений углеводородов на слабо изученных территориях шельфа требуют значительных финансовых вложений (стоимость бурения одной скважины обычно составляет 200–500 млн долларов, а в экстремальных условиях севера может достигать 700 млн долларов и более). Поисковые проекты сопряжены с большими рисками потери средств, обусловленными прежде всего геологическими причинами. В то же время с развитием научно-технического прогресса появляются новые технологии поисков, разведки и освоения месторождений нефти и природного газа, что, естественно, ведет к снижению влияния геологических рисков на полный цикл реализации проекта (поиски, разведка и освоение) [3].

Понятия «риск», «неопределенность» сопровождают все этапы геологоразведочного процесса и играют в нем важную роль, что необходимо учитывать при планировании геологоразведочных работ и оценке их эффективности, оценке минерально-сырьевых объектов (месторождений, участков недр).

Неопределенность означает недостаток информации о вероятных будущих событиях, тогда как риск означает ситуацию, в которой точно не известно, что случится, но можно оценить вероятность каждого из возможных исходов. Таким образом, в отличие от неопределенности риск является измеримой величиной, его количественной мерой может служить вероятность благоприятного и неблагоприятного исхода. Риск – численно измеримая возможность неблагоприятных ситуаций и связанных с ними последствий в виде потерь, ущерба, убытков.

«Вероятность успеха» и «риск» означают возможность наступления или ненаступления каких-либо событий. Эти величины являются взаимобратными и измеряются в долях единицы:

$$\text{Риск} = 1 - \text{Вероятность успеха.}$$

В книге «Риск, неопределенность и прибыль», вышедшей в свет в 1921 году, американский экономист Ф.Н. Найт впервые обратил внимание на проблему риска в экономике, сформулировав следующее положение: «Вся подлинная прибыль связана с неопределенностью».

Хозяйствующим субъектам в изучении рисков и управлении ими призваны оказать помощь стандарты ГОСТ Р ИСО 31000-2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство», ГОСТ Р 51897-2011 «Менеджмент риска. Словарь. Руководящие принципы для использования в стандартах», ГОСТ Р ИСО/МЭК-2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска», ГОСТ Р 51901.22-2012 «Менеджмент риска. Реестр риска» идентичные стандартам Международной организации по стандартизации – ИСО (International Organization for Standardization – ISO). В стандартах даются определение риска, руководящие принципы и методы оценки рисков.

Существует множество различных определений риска в литературе и документах. В Гражданском кодексе Российской Федерации слово «риск» употребляется неоднократно, однако формулировка риска не приводится. В таблице 1 даны определения риска согласно Федеральному закону о техническом регулировании и стандарту ГОСТ Р 51897-2011.

Таблица 1 – Определения риска

Определение	Источник
Риск это – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.	Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 02.07.2021)
Риск – следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей». Примечание 1 – Под следствием влияния неопределенности необходимо понимать отклонение от ожидаемого результата или события (позитивное и/или негативное). Примечание 2 – Цели могут быть различными по содержанию (в области экономики, здоровья, экологии и т.п.) и назначению (стратегические, общеорганизационные, относящиеся к разработке проекта, конкретной продукции и процессу). Примечание 3 – Риск часто характеризуют путем описания возможного события и его последствий или их сочетания. Примечание 4 – Риск часто представляют в виде последствий возможного события (включая изменения обстоятельств) и соответствующей вероятности. Примечание 5 – Неопределенность это – состояние полного или частичного отсутствия информации, необходимой для понимания события, его последствий и их вероятностей.	ГОСТ Р 51897-2011



ГОСТ Р 51897-2011 определяет риск как «следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей». Такое определение является довольно расплывчатым, поэтому приводятся разъяснения в виде примечаний. Важно отметить, что риск определяется как следствие влияния неопределенности на конечную цель, причем это влияние может быть, как положительным, так и отрицательным, то есть риск – любой результат, отличный от ожидаемого. Это определение отличается от понимания риска как сугубо отрицательного явления.

Однако в Федеральном законе «О техническом регулировании» дается отличная от стандарта формулировка риска. Здесь риск однозначно ассоциируется с вероятностью вреда, но не с позитивными изменениями.

Так или иначе большинство управленческих решений при пользовании недрами принимаются в условиях неполноты информации об изучаемом месторождении (участке недр), поэтому осуществление проектов по поискам, разведке и добыче полезных ископаемых происходит в среде вероятностной неопределенности – риска. В результате поставленные цели часто не могут быть реализованы в полной мере или вообще не достигаются. Поэтому компании заинтересованы в том, чтобы снизить вероятность принятия неудачного решения и избежать убытков, которые могут оказаться весьма значительными, особенно при поисках, разведке и добыче углеводородного сырья. Однако кроме рисков, характерных практически для всех хозяйствующих субъектов (экономический, технологический, экологический) организациям, осуществляющим геологоразведочные работы и добычу полезных ископаемых присущ особый специфический риск, который можно охарактеризовать как геологический [1, 2, 4].

Геологический риск это – риск, связанный с геологией, то есть со структурными характеристиками земной коры. Можно сказать также, что это вероятность потерь, вызванных процессами, происходящими в приповерхностной части литосферы. Он определяется для каждого объекта отдельно на определенный период.

Под геологическим риском часто понимают все возможные негативные проявления опасности и ущерб населению, биоте, экономике и окружающей среде, обусловленные геологической составляющей (структурными особенностями земной коры и процессами, происходящими в приповерхностной части литосферы).

Оценка риска заключается в выявлении теоретически возможных нежелательных факторов и ситуаций (качественный анализ) и количественной оценке ущерба, причиненного их возникновением (количественный анализ).

Первым элементом геологического риска, является низкая вероятность того, что усилия и затраты, связанные с поисками и разведкой, действительно приведут к открытию коммерчески значимого месторождения полезных ископаемых. Когда месторождение разрабатывается, его характеристики (геологические, технико-технологические и т.д.) могут отличаться от ожидаемых. В этом случае риск проявляется в снижении доходности проекта.

Система оценки вероятности геологического успеха при реализации поисковых проектов на углеводородное сырье основана на пятифакторной модели, предложенной П. Роузом. Пятифакторная модель П. Роуза включает оценку вероятности образования материнской породы (P1), генерации и путей миграции нефти (P2), коллектора (P3), ловушки (P4), а также флюидоупора и сохранности (P5). Окончательная геологическая успешность прогнозируемого месторождения оценивается как произведение этих пяти независимых факторов. В то же время у некоторых факторов есть отдельные независимые друг от друга составляющие (субфакторы), которые также умножаются для получения общего значения, описывающего общий фактор [4].

Следует отметить, что геологические углеводородные системы, открытые в последние годы, становятся все более сложными и что реальный риск не всегда интегрируется в упрощенные модели. Почти все геологические неопределенности, за исключением материнских пород, могут быть как региональными, так и локальными.

Описанная система оценки геологического риска (геологической успешности) полностью охватывает формирование скопления углеводородов, но не включает некоторые внешние условия и риски более высокого порядка, которые могут существенно повлиять на проект. Поскольку эксперты часто не имеют точной информации при оценке участков поиска, они вынуждены полагаться на определенные предположения о тектоническом строении региона, условиях осадконакопления, времени образования и миграции углеводородов. Однако, если принятая «геологическая концепция» окажется неверной, риски могут быть намного выше. Избежать этого нежелательного эффекта можно, рассматривая крупные проекты в больших экспертных группах со смежными подразделениями компании. Оценка геологического риска требует опыта, высоких навыков, умения систематизировать большой объем информации и умения понимать ответственность за принятые решения и достигнутые результаты. Полученный в результате рассмотрения индекс геологической успешности может существенно повлиять на расчеты экономической эффективности геологоразведочного проекта.

Планированию разработки морских нефтяных и газовых месторождений в последние годы уделялось значительное внимание, учитывая открытия крупных запасов нефти и газа во всем мире за послед-



ние десятилетия. Этому способствовали и новые технологии, доступные для поисков, разведки и добычи месторождений углеводородов в удаленных местах, которые часто находятся в сотнях км от берега.

Специалисты отмечают, что планирование разработки морских нефтегазовых месторождений представляет собой очень сложную задачу и требует многомиллиардных инвестиций [1, 2, 4], которые потенциально могут привести не только к большой прибыли, но и к убыткам из-за неверной оценки геологического риска.

Таким образом одним из важнейших факторов, влияющих на итоговую оценку экономической эффективности геологоразведочного проекта, является вероятность геологической успешности (P_g) – величина обратная геологическому риску.

Оценка геологической успешности (P_g) российскими компаниями часто оценивается по четырехфакторной модели: вероятность существования резервуара, вероятность существования ловушки углеводородов (УВ), вероятность заполнения ловушки УВ, вероятность сохранности залежи [2]. Вероятность геологической успешности (P_g) основана на последовательном анализе независимых элементов углеводородных систем:

$$P_g = P_1 * P_2 * P_3 * P_4, \quad (1)$$

где P_1 – вероятность существования резервуара, P_2 – вероятность существования ловушки УВ, P_3 – вероятность заполнения ловушки УВ, P_4 – вероятность сохранности залежи.

Можно сказать, что компании, занимающиеся поисками и разведкой месторождений нефти и газа, создают или наоборот «разрушают» свою капитализацию путем бурения и испытания скважин на геологических объектах. Решениям по осуществлению бурения предшествуют многочисленные мероприятия, которые зависят от результатов геолого-геофизических исследований и экономических оценок, а также от стратегии развития компании, политических факторов и желания рисковать (толерантности к риску). Исследования недр завершаются составлением списка перспективных объектов, в котором каждый перспективный объект характеризуется предполагаемыми ресурсами в случае открытия (случай успеха) и вероятностью открытия (вероятность успеха или P_g). В итоге осуществляется оценка чистой приведенной стоимости (NPV – Net Present Value) полного цикла эксплуатации месторождения и расчет ожидаемой денежной стоимости (EMV – Expected Monetary Value) проекта с учетом затрат на геологоразведочные работы (ГРП):

$$EMV = NPV \times P_g - (\text{Затраты на ГРП}) \times (1 - P_g). \quad (2)$$

При выборе наиболее перспективного объекта для осуществления бурения компания выбирает объекты с наибольшим EMV с целью максимизации прибыли при осуществлении инвестиций. При этом с учетом геологического риска вероятностные оценки перспективных ресурсов и запасов для расчетов показателей NPV и EMV предпочтительнее детерминированных оценок.

Список литературы:

1. Буш Дж., Джонстон Д. Управление финансами в международной нефтяной компании. – М. : ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. – 432 с.
2. Дымочкина М.Г., Лежнева В.А. Влияние оценки вероятности геологического успеха на принятие инвест-решения // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2019. – № 4(14). – С. 14–19.
3. Россия отложит разработку арктических проектов минимум на 15 лет. – URL : <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/04/11/865485-rossiya-otlozhit>
4. Роуз П.Р. Анализ рисков и управление нефтегазопроисковыми проектами. – М.-Ижевск : НИЦ «РХД», Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. – 304 с.
5. Территория богатств. – URL : https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2019/11/681/

List of references:

1. Busch J., Johnston D. Financial Management in an International Oil Company. – М. : ЗАО Olimp-Business, 2003. – 432 p.
2. Dymochkina M.G., Lezhneva V.A. Influence of assessment of probability of geological success on making investment decisions // PRONEFT. Professionally about oil. – 2019. – № 4(14). – P. 14–19.
3. Russia will postpone the development of Arctic projects for at least 15 years. – URL : <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/04/11/865485-rossiya-otlozhit>
4. Rose P.R. Risk analysis and management of oil and gas exploration projects. – М.-Izhevsk : RCD Research Center, Izhevsk Institute for Computer Research, 2011. – 304 p.
5. Territory of riches. – URL : https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2019/11/681/



УДК 330.341

ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ И ЕЁ РЕЗУЛЬТАТОВ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ РОССИИ

ASSESSMENT OF INNOVATION ACTIVITY AND ITS RESULTS IN THE OIL PRODUCING INDUSTRY OF RUSSIA

Сафиуллина Елена Улубековна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра разработки и эксплуатации нефтяных
и газовых месторождений,
Санкт-Петербургский горный университет
Safiullinaeu@yandex.ru

Шаройко Максим Дмитриевич

студент,
Санкт-Петербургский горный университет
maksim635@yandex.ru

Аннотация. Целью данной статьи является изучение внедрения инновационных технологий в нефтедобычу в России и оценка их влияния на отрасль. В статье представлена информация о текущем состоянии добычи нефти в России, рассмотрены инновационные технологии, используемые в отрасли, и факторы, способствующие внедрению этих технологий. Кроме того, в статье описаны проблемы, с которыми сталкиваются нефтяные компании при внедрении новых технологий, приведены примеры успешного внедрения. В конце статьи представлено краткое изложение ключевых выводов, последствий для будущего нефтедобычи в России и рекомендаций по дальнейшим исследованиям.

Ключевые слова: инновационные технологии, цифровизация, искусственный интеллект, машинное обучение.

Safiullina Elena Ulubekovna

Candidate of technical sciences,
associate professor of the department
of development and operation
of oil and gas fields,
Saint Petersburg Mining University
Safiullinaeu@yandex.ru

Sharoiko Maxim Dmitrievich

Student,
Saint-Petersburg Mining University
maksim635@yandex.ru

Annotation. The purpose of this article is to study the introduction of innovative technologies in oil production in Russia and assess their impact on the industry. The article presents information about the current state of oil production in Russia, considers innovative technologies used in the industry, and factors contributing to the introduction of these technologies. In addition, the article describes the problems faced by oil companies when introducing new technologies, and provides examples of successful implementation. At the end of the article, a summary of key findings, implications for the future of oil production in Russia and recommendations for further research are presented.

Keywords: innovative technologies, digitalization, artificial intelligence, machine learning.

Введение

Инновационные технологии – это новшества, нововведения в промышленных, институциональных, финансовых, научно технических и других областях [1]. Они могут использоваться для решения различных проблем, производства товаров или услуг, а также улучшения существующих систем. Инновационные технологии могут базироваться на IT-решениях, разработках программного обеспечения, разработках аппаратных средств, автоматизациях, и т.д.

Инновационные технологии оказывают положительное воздействие на российскую нефтяную промышленность. Во-первых, их применение может увеличить эффективность добычи, уменьшив расходы и увеличив доходы. Во-вторых, они позволяют снизить риски, связанные с надлежащим управлением и обслуживанием. Также инновационные технологии помогут улучшить безопасность производства, уменьшая вероятность допущения разливов, аварийных ситуаций.

Нефтяные компании за последние несколько лет поменяли своё отношение к инновациям в секторе в положительную сторону. Сырьевая база истощается, что ведет науку к росту. С ростом интереса к данной области растет и конкуренция между ведущими компаниями отрасли, но не для новых участников – вход на рынок все ещё имеет и будет в ближайшее время иметь высокие барьеры.

Последние несколько лет акцент делается на технологии, позволяющие увеличить отдачу месторождений и решить проблему трудно извлекаемой нефти, так как большинство известных месторождений уже являются разработанными.

Искусственный интеллект и машинное обучение в нефтедобыче

Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (ML) быстро трансформируют различные отрасли, включая нефтегазовую промышленность. ИИ и ML представляют собой системы и алгоритмы, способные анализировать огромные массивы данных и делать на их основе выводы, прогнозы, предлагать решения. Потенциал их применения в нефтегазовой отрасли огромен, поскольку техноло-



гии могут использовать на любом этапе производства нефтепродуктов: от разведки до переработки и распределения.

Важно понимать, что технология машинного обучения служит основой для многих других технологий, используемых в нефтедобыче. Алгоритмы для больших данных в сочетании с датчиками, детекторами и сетями формируют цифровую нефтяную экономику, позволяя создавать визуализации месторождений и станций, моделировать логистические цепочки поставок и многое другое [2]. Например, искусственный интеллект может использоваться для оптимизации маршрута нефтяных танкеров, улучшения доставки, прогнозирования спроса и оптимизации управления запасами.

Также ИИ и ML получили широкое применение в области переработки нефти, где они способны анализировать режим работы нефтеперерабатывающего завода и предлагать варианты для уменьшения энергопотребления, повышения выхода нефтепродуктов, сокращения отходов, а также спрогнозировать и предотвратить отказ оборудования [2].

Сейсмическая визуализация

Одним из ключевых применений ИИ и ML в нефтяной промышленности является оптимизация процессов разведки и добычи. Например, ИИ может использоваться для анализа больших объемов геологических данных для выявления областей с высоким потенциалом залежей нефти и газа.

Компания «Роснефть» успешно внедрила сейсмическую интерпретацию в уникальный программный комплекс геологического моделирования «РН-ГЕОСИМ». Модуль отображает результаты сейсморазведки, определяет границы пластов и использует их для 3D-геомоделирования залежей, чтобы создавать более точные и обновленные модели на основе данных, полученных с новых скважин. Разработанные на хакатоне Rosneft Seismic Challenge решения на основе искусственного интеллекта были также включены в программный модуль [3].

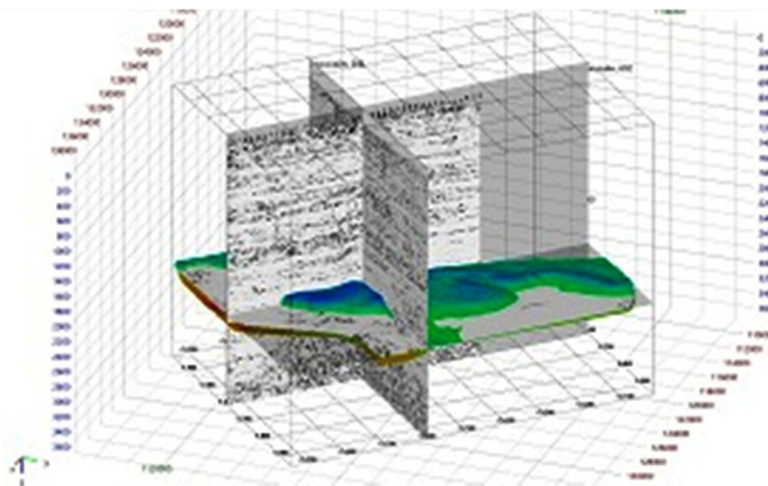


Рисунок 1 – сейсмическая визуализация месторождения [3]

Цифровые двойники

Цифровой двойник – виртуальная копия физического объекта, например нефтяной скважины. Копия может быть использована как для моделирования различных ситуаций, так и для анализа реальных процессов. Технология значительно снижает риски принятия неверного решения, так как перед какими либо действиями на реальном объекте можно спрогнозировать их влияние на цифровом двойнике без последствий в случае, если решение окажется неудачным.

Главным плюсом такого подхода является то, что математические модели, основанные на Ньютонской физике, в составе гибридного цифрового двойника дают больше данных о техническом состоянии объекта, чем штатные системы диагностики и прогноза.

Контроль отклонений производится по динамическим уровням с учётом данных последнего технического обслуживания. Это позволяет своевременно оповещать о негативных процессах. Благодаря этому персонал своевременно принимает меры для устранения возникающих проблем, не допуская их развития [4].

Технологии цифрового двойника на практике успешно применила компания «Роснефть» на Илишевском месторождении в Башкирии. Опыт, полученный в ходе реализации пилотного проекта на Илишевском месторождении, будет востребован на всех месторождениях «Роснефти». Масштабирование технологий только в рамках «Башнефти» позволит получить дополнительно порядка 1 млн тонн нефти за счёт оптимизации производства. Экономический эффект составит порядка 1 млрд рублей в год.



Председатель правления ПАО АНК «Башнефть» Андрей Шишкин объявил, что их результаты были весьма обнадеживающими и показали, что цифровые технологии являются одним из главных приоритетов отрасли. Они создают интегрированную цепочку нового типа, которая включает в себя «цифровое месторождение», «цифровой завод» и «цифровую заправочную станцию». В ближайшем будущем отсутствие цифровых решений станет существенным недостатком в конкурентном горнодобывающем секторе. Без координации поля не смогут эффективно функционировать. Эту координацию обеспечивает Интегрированный операционный центр, который служит мозгом цифрового предприятия [5].

Преимущества технологии цифровых двойников в нефтедобыче не ограничиваются только Роснефтью. Многие другие нефтяные компании в России также используют технологию цифровых двойников для улучшения своей деятельности. Эта технология становится все более популярной, поскольку компании ищут способы оптимизации производственных процессов, снижения затрат и повышения безопасности своих операций.

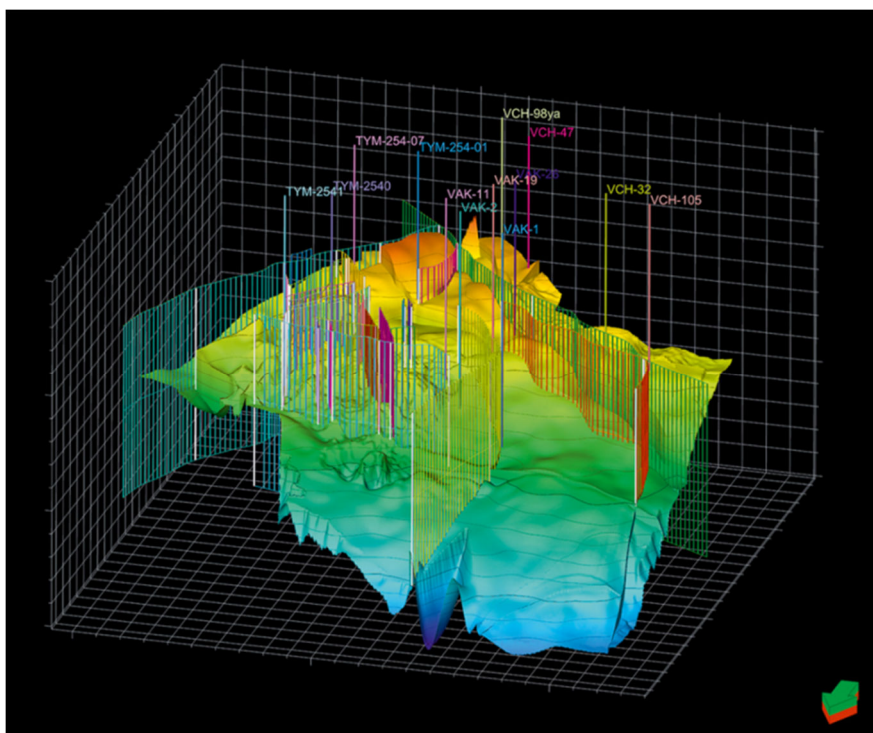


Рисунок 2 – цифровой двойник нефтяного месторождения [4]

Смарт-контракты

Смарт-контракт представляет собой контракт, который автоматически исполняет условия, записанные в коде, без необходимости участия посредников. С развитием технологий в последнее десятилетие стало возможным использование смарт-контрактов в качестве альтернативы традиционным способам транзакций, что позволяет участникам обходить банки, офлайн-реестры и, возможно, юристов [6].

В контексте нефтяной промышленности Роснефть внедрила смарт-контракты для различных целей, включая управление цепочками поставок, закупки и торговое финансирование. Например, смарт-контракты использовались для оптимизации процесса закупок, автоматизации процесса оплаты и повышения прозрачности в цепочке поставок. Использование смарт-контрактов позволило «Роснефти» повысить эффективность, снизить затраты и повысить безопасность своей деятельности.

В законодательстве Российской Федерации смарт-контракты пока специально не регулируются. В настоящее время в России нет конкретной правовой базы для смарт-контрактов, и они ещё не получили широкого распространения в стране. Тем не менее, российское правительство заявило о своей заинтересованности в изучении потенциала технологии блокчейн и смарт-контрактов и выдвинуло инициативы по изучению использования этих технологий в различных отраслях, включая нефтегазовую отрасль [7].

Ускоряющие и замедляющие внедрение инновационных технологий в России факторы

К факторам, способствующим развитию новых технологий, а значит и включению их в промышленное производство можно отнести:

– Технологические достижения: технологические достижения позволили разработать новые, более совершенные технологии, которые могут улучшить операции по добыче нефти. Компании внедряют эти технологии, чтобы получить конкурентное преимущество и оставаться на шаг впереди.



– Усиление конкуренции: нефтедобывающая отрасль отличается высокой конкурентоспособностью, и компании постоянно ищут способы получить преимущество над своими конкурентами. Использование инновационных технологий может помочь компаниям повысить свою эффективность, увеличить объём производства и снизить затраты, что может дать им конкурентное преимущество на рынке.

– Растущие затраты: стоимость добычи нефти в последние годы растёт из-за множества факторов, включая растущие затраты на сырьё, рабочую силу и транспортировку. Компании ищут способы снизить свои расходы, и внедрение инновационных технологий может помочь им достичь этой цели.

С другой стороны, существуют и факторы, которые замедляют развитие передовых технологий по тем или иным причинам. К ним можно отнести:

– Высокие затраты: внедрение новых технологий может быть дорогостоящим, и нефтяные компании могут столкнуться со значительными первоначальными затратами на их внедрение. Это может стать препятствием для внедрения, особенно для небольших компаний, у которых может не быть ресурсов для осуществления необходимых инвестиций.

– Проблемы интеграции: интеграция новых технологий в существующие системы может быть сложной задачей. Нефтяным компаниям может потребоваться внести существенные изменения в существующие процессы и инфраструктуру для полного внедрения новых технологий, что может занять много времени.

– Нехватка квалифицированного персонала: внедрение новых технологий часто требует специальных навыков и знаний. Нефтяные компании могут испытывать трудности с поиском персонала, необходимого им для внедрения новых технологий, особенно в регионах, где технология широко не используется.

– Риски кибербезопасности: использование новых технологий также может привести к возникновению новых рисков кибербезопасности. Нефтяным компаниям необходимо обеспечить безопасность своих систем и их защиту от кибератак, что может быть сложной задачей и потребовать значительных инвестиций в меры безопасности.

Чтобы преодолеть эти проблемы, нефтяным компаниям необходимо инвестировать в учебные и образовательные программы, работать над преодолением сопротивления переменам и применять упреждающий подход к управлению рисками кибербезопасности.

Выводы

Внедрение инновационных технологий в нефтедобыче в России может значительно повысить эффективность производства и увеличить общую добычу нефти. От использования искусственного интеллекта и машинного обучения для улучшения процессов принятия решений до создания цифровых двойников для мониторинга нефтяных скважин, внедрение новых технологий становится все более важным для нефтяной промышленности. Однако, несмотря на преимущества, есть несколько проблем, которые нефтяные компании должны преодолеть, чтобы полностью внедрить эти технологии. К ним относятся высокие затраты, сопротивление изменениям, проблемы интеграции, нехватка квалифицированного персонала и риски кибербезопасности. Тем не менее, поскольку нефтяная отрасль продолжает развиваться и меняться, вполне вероятно, что использование инновационных технологий будет приобретать все большее значение, и компании, которые смогут преодолеть эти проблемы и полностью использовать новые технологии, получат значительное конкурентное преимущество.

Список литературы:

1. Грищенко А.И., Дмитриева Е.А., Легченко М.А. Инновации – определение, классификация, стадии // Вестник БГУ. – 2014. – № 3. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsii-opredelenie-klassifikatsiya-stadii>
2. Нурисламов И.Ф., Хакимьянов И.И., Гареев А.И. Влияние цифровой трансформации на эффективность нефтяных компаний // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 5. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tsifrovoy-transformatsii-na-effektivnost-neftyanyh-kompaniy>
3. «Роснефть» развивает технологии сейсморазведки [электронный ресурс]. – URL : <https://www.rosneft.ru/press/news/item/209705>
4. Хитрых Д.А. О цифровой трансформации энергетической отрасли // ЭП. – 2021. – № 10 (164). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/o-tsifrovoy-transformatsii-energeticheskoy-otrasli>
5. «Роснефть» запустила проект «Цифровое месторождение» в Башкирии [электронный ресурс]. – URL : <https://www.rosneft.ru/press/news/item/195043>
6. Пономарченко А.Е. Смарт-контракт: функции и сфера применения // Вестник экспертного совета. – 2022. – № 1 (28). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/smart-kontrakt-funksii-i-sfera-primeneniya>
7. Горячева А.И. Смарт-контракты: применимое право // Право и государство: теория и практика. – 2020. – № 3 (183). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/smart-kontrakty-primenimoe-pravo>

**List of references:**

1. Grishchenkov A.I., Dmitrieva E.A., Legchenko M.A. Innovations – definition, classification, stages // Bulletin of Belarusian State University. – 2014. – № 3. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsii-opredelenie-klassifikatsiya-stadii>
2. Nurislamov I.F., Khakimyanov I.I., Gareev A.I. Influence of digital transformation on the efficiency of oil companies // Innovations and Investments. – 2021. – № 5. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanietsifrovoy-transformatsii-na-effektivnost-neftyanyh-kompaniy>
3. "Rosneft develops seismic exploration technologies [electronic resource]. – URL : <https://www.rosneft.ru/press/news/item/209705>
4. Khitrykh D.A. On digital transformation of the energy industry // EP. – 2021. – № 10 (164). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/o-tsifrovoy-transformatsii-energeticheskoy-otrasli>
5. "Rosneft launched the project «Digital field» in Bashkiria [electronic resource]. – URL : <https://www.rosneft.ru/press/news/item/195043>
6. Ponomarchenko A.E. Smart-contract: functions and sphere of application // Bulletin of the Council of experts. – 2022. – № 1 (28). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/smart-kontrakt-funktsii-i-sfera-primeneniya>
7. Goryacheva A.I. Smart contracts: applicable law // Law and state: theory and practice. – 2020. – № 3 (183). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/smart-kontrakty-primenimoe-pravo>

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Материалы VII Международной
научно-практической конференции
(31 марта 2023 г.)**

ТОМ 2:

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТА
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ, ГАЗА И ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ.**

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ
В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.**

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ.

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Сборник статей

Статьи публикуются в авторской редакции

Технический редактор – И.И. Фоменко
Оригинал-макет – М.Н. Гусева
Дизайн обложки – М.Б. Жаренко

Сдано в набор 01.04.2023
Подписано в печать 01.06.2023.
Формат 60 x 84¹/₈. Бумага офсетная. Печать riso.
Печ. л. 14,3
Изд. № 1312. Тираж 500 экз. Заказ № 2451

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