



**Общероссийская общественная организация
«Российская инженерная академия»**

**All-russian public organization
«Russian Engineering Academy»**

**НАУКА. ТЕХНИКА.
ТЕХНОЛОГИИ**
(политехнический вестник)

**SCIENCE. ENGINEERING.
TECHNOLOGY**
(polytechnical bulletin)

№ 1

2021



Общероссийская общественная организация
«Российская инженерная академия»

All-russian public organization
«Russian Engineering Academy»

НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ
(политехнический вестник)

2021, № 1

(печатная версия научного
мультидисциплинарного журнала
«Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник)»

www.id-yug.com

Основан в 2013 г.

ISSN 2309-3250 (print)

ISSN 2309-3269 (on-line)

Свидетельство о регистрации СМИ:
ПИ № ФС77-53093 от 07 марта 2013 г.
Эл № ФС77-53092 от 07 марта 2013 г.

Лицензионный договор Научная Электронная Библиотека (НЭБ)
(Российский индекс научного цитирования)
№ 446-07/2013 от 30 июля 2013 г.

SCIENCE. ENGINEERING. TECHNOLOGY
(polytechnical bulletin)

2021, № 1

(printing version of the scientific multidisciplinary magazine
«Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin)»

www.id-yug.com

It is founded in 2013.

ISSN 2309-3250 (print)

ISSN 2309-3269 (on-line)

Certificate on registration of mass media:
ПИ № ФС77-53093 of March 07, 2013.
Эл № ФС77-53092 of March 07, 2013.

License contract Scientific Electronic Library (SEL)
(Russian index of scientific citing)
№ 446-07/2013 of July 30, 2013.

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

БЕРЕЖНОЙ Сергей Борисович,

Академик Российской инженерной академии, доктор технических наук, профессор, директор, Краснодарский колледж управления, техники и технологий.

BEREZHNOY Sergey Borisovich,

Academician of the Russian Engineering Academy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director, Krasnodar College of Management, Engineering and Technology.

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: ----- DEPUTY CHIEF EDITORS:

КАСЬЯНОВ Геннадий Иванович,

Член Президиума Российской инженерной академии, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения», Кубанский государственный технологический университет.

KASYANOV Gennady Ivanovich,

Member of the Presidium of the Russian Engineering Academy, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Technology of food of animal origin», Kuban State Technological University.

ФОМЕНКО Олег Яковлевич,

кандидат технических наук, доцент,
директор, ООО «Издательский Дом – Юг».

FOMENKO Oleg Yakovlevich,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Director of JSC «Publishing House – South».

АНТОНИАДИ Дмитрий Георгиевич,

Академик Российской академии естественных наук, Заслуженный работник нефтяной и газовой промышленности РФ, доктор технических наук, профессор, директор института нефти, газа и энергетики, заведующий кафедрой нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна, Кубанский государственный технологический университет.

ANTONIADI Dmitry Georgiyevich,

Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Honored Worker of the Oil and Gas Industry of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute of Oil, Gas and Power Engineering, Head of the Professor G.T. Vartumyan Chair of Oil and Gas Engineering, Kuban State Technological University.

АТРОЩЕНКО Валерий Александрович,

Член-корреспондент Российской академии естествознания, Почетный энергетик Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики и вычислительной техники, Кубанский государственный технологический университет.

ATROSHCHENKO Valery Aleksandrovich,

Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Honorary Power Engineer of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Informatics and Computer Engineering, Kuban State Technological University.

АХМЕДОВ Магомед Эминович,

доктор технических наук, профессор кафедры пищевых производств общественного питания и товароведения, Дагестанский государственный технический университет.

AKHMEDOV Magomed Eminovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Production of Catering and Merchandising, Dagestan State Technical University.

БЛЕДНОВА Жесфина Михайловна,

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры систем управления и технологических комплексов, Кубанский государственный технологический университет».

BLEDNOVA Zhesfina Mikhaelovna,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Control Systems and Technological Complexes, Kuban State Technological University.

ВИКТОРОВА Елена Павловна,

Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов, Кубанский государственный технологический университет.

VIKTOROVA Elena Pavlovna,

Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Fats Technology, Cosmetics, Merchandising, Processes and Devices, Kuban State Technological University.

ГЛАДИЛИН Александр Васильевич,

Член-корреспондент Российской академии естественных наук, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и внешнеэкономической деятельности, Северо-Кавказский федеральный университет.

GLADILIN Alexander Vasilyevich,

Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of Economics and Foreign Economic Activity Department, North Caucasus Federal University.

ДОМБРОВСКИЙ Александр Николаевич,

Академик Российской академии транспорта, Почетный дорожник России, Заслуженный экономист Кубани, Действительный муниципальный советник 1 класса, научный редактор журнала «Бюджет»

DOMBROVSKY Alexander Nikolaevich,

Academician of the Russian Academy of Transport, Honorary Road Builder of Russia, Honored Economist of Kuban, Full Municipal Advisor 1st Class, Scientific editor of the journal «Budget».

ЗАПОРОЖСКИЙ Алексей Александрович,

Член-корреспондент Российской инженерной академии, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология продуктов питания животного происхождения», Кубанский государственный технологический университет.

ZAPOROZHSKY Alexey Alexandrovich,

Corresponding Member of the Russian Academy of Engineering, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department «Technology of food of animal origin», Kuban State Technological University.

ЗОЛОТОКОПОВА Светлана Васильевна,

доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технология товаров и товароведение», Астраханский государственный технический университет.

ZOLOTKOPOVA Svetlana Vasilyevna,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Technology of Goods and Merchandising», Astrakhan State Technical University.

КАЗЕЕВ Камиль Шагидуллович,

доктор географических наук, доктор биологических наук, профессор, директор Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет.

KAZEEV Kamil Shagidullovich,

Doctor of Geographical Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the Academy of Biology and Biotechnology named after D.I. Ivanovsky, Southern Federal University.

КОЛЕСНИКОВ Сергей Ильич,

Член президиума ВАК РФ, Эксперт РАН, Член Центрального совета Общества почвоведов доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования, Южный федеральный университет.

KOLESNIKOV Sergey Ilyich,

Member of the Presidium of VAK RF, Expert of RAS, Member of the Central Council of the Society of Soil Scientists, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, Southern Federal University.

МОСКВИЧ Вадим Константинович,
кандидат технических наук, профессор.

MOSKVICH Vadim Konstantinovich,
Candidate of Technical Sciences, Professor.

ОЛЬХОВАТОВ Егор Анатольевич,

Член-корреспондент Российской инженерной академии, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина.

OLKHOVATOV Egor Anatolievich,
Corresponding member of the Russian Engineering Academy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of technology of storage and processing of crop products, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin.

ПОЛИДИ Александр Анатольевич,

доктор экономических наук, профессор, заслуженный экономист Кубани, профессор, проректор по инновационной деятельности, Институт современных технологий и экономики.

POLIDI Alexander Anatolyevich,
Doctor of Economics, Professor, Distinguished Economist of Kuban, Professor, Vice-Rector for Innovative Activity, Institute of Modern Technologies and Economics.

САВЕНОК Ольга Вадимовна

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений и подземной гидромеханики, Ухтинский государственный технический университет.

SAVENOK Olga Vadimovna,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Oil and Gas Fields Development and Exploitation and Underground Hydromechanics, Ukhita State Technical University.

САЖИН Виктор Борисович,

Член Президиума Российской инженерной академии, Член Президиума Комитета РосСНИО по проблемам сушки и термовлажностной обработки материалов, доктор технических наук, профессор.

SAZHIN Victor Borisovich,
Member of the Presidium of the Russian Engineering Academy, member of the Presidium of the RosNIO Committee on the Problems of Drying and Thermal-Moisture Treatment of Materials, Doctor of Technical Sciences, Professor.

СЕКISOV Александр Николаевич,

Академик Российской инженерной академии, кандидат экономических наук, доцент кафедры технологии, организации, экономики, строительства и управления недвижимостью, Кубанский государственный технологический университет.

SEKISOV Alexander Nikolaevich,
Academician of the Russian Engineering Academy, Candidate of Economics Sciences, Associate Professor of the Department of Technology, Organization, Economics, Construction and Real Estate Management, Kuban State Technological University.

СИМАНКОВ Владимир Сергеевич,

действительный член Международной академии наук прикладной радиоэлектроники, Заслуженный деятель науки Кубани, Эксперт федерального реестра научно-технической сферы, доктор технических наук, профессор, ректор, Институт современных технологий и экономики.

SIMANKOV Vladimir Sergeevich,

Full member of the International Academy of Sciences of Applied Radioelectronics, Honored Scientist of Kuban, Expert of the Federal Register of Scientific and Technical Sphere, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Institute of Modern Technologies and Economics.

СМЕЛЯГИН Анатолий Игоревич,

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры наземного транспорта и механики, Кубанский государственный технологический университет.

SMELYAGIN Anatoly Igorevich,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Land Transport and Mechanics, Kuban State Technological University.

ТРУФЛЯК Евгений Владимирович,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина.

TRUFLYAK Evgeny Vladimirovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Machine-Tractor Fleet Operation, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin.

ТУЛЕШОВ Аамандык Куатович,

доктор технических наук, профессор, генеральный директор Института механики и машиноведения им. академика У.А. Джолдасбекова Комитета науки МОН Республики Казахстан.

TULESHOV Amandyk Kumatovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director of the Joldasbekov Institute of Mechanics and Machine Science of the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

УРТЕНОВ Махамет Али Хусеевич,

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики, Кубанский государственный университет.

URTENOV Makhamet Ali Huseevich,

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the department of applied mathematics, Kuban state university.

УДОДОВ Сергей Алексеевич,

Академик Российской инженерной академии, кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям, Кубанский государственный технологический университет.

UDODOV Sergey Alekseevich,

Academician of the Russian Engineering Academy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, Kuban State Technological University.

УСАТИКОВ Сергей Васильевич,

доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры математических и компьютерных методов, Кубанский государственный технологический университет.

USATIKOV Sergey Vasilyevich,

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mathematical and Computer Methods, Kuban State Technological University.

ЧЕРНЫХ Анатолий Иосифович,

кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор, директор многоотраслевого института подготовки и переподготовки специалистов, Кубанский государственный технологический университет.

CHERNYKH Anatoly Iosifovich,

Candidate of Technical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Director of the Multidisciplinary Institute for Training and Retraining of Specialists, Kuban State Technological University.

ЧЕШЕВ Анатолий Степанович,

академик Российской академии естественных наук, академик Академии аграрного образования, доктор экономических наук, профессор, главным редактором журнала «Экономика и экология территориальных образований», Донской государственный технический университет.

CHESHEV Anatoly Stepanovich,

Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Academician of the Academy of Agrarian Education, Doctor of Economics, Professor, Editor-in-Chief of the journal «Economics and Ecology of Territorial Formations», Don State Technical University.

ШАЗЗО Аслан Юсуфович,

действительный член Международной академии энергоинформационных наук, член-корреспондент Международной академии промышленной экологии, доктор технических наук, профессор, директор Института пищевой и перерабатывающей промышленности, Кубанский государственный технологический университет.

SHAZZO Aslan Yusufovich,

Full Member of the International academy of power information sciences, Corresponding Member of the International academy of industrial ecology, Doctor of Engineering, Professor, Director of the Institute of Food and Processing Industry, Kuban State Technological University.

ШАПОШНИКОВА Татьяна Леонидовна,

кандидат физико-математических наук, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, директор технопарка «Квант Кубань-КубГТУ», Кубанский государственный технологический университет.

SHAPOSHNIKOVA Tatyana Leonidovna,

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the department of physics, Director of Technopark «Kvant KubGTU», Kuban state technological university.

ШИПУЛИН Валентин Иванович,

доктор технических наук, профессор кафедры пищевых технологий и инжиниринга, Северо-Кавказский федеральный университет.

SHIPULIN Valentin Ivanovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Technology and Engineering, North Caucasus Federal University.

ЯСЬЯН Юрий Павлович,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии нефти и газа, Кубанский государственный технологический университет.

YASYAN Yury Pavlovich,

Doctor of Engineering, Professor, Head of the department of technology of oil and gas, Kuban state technological university.

УЧРЕДИТЕЛЬ

ООО «Издательский Дом – Юг»

FOUNDER

JSC «Publishing House – South»

**АДРЕС РЕДАКЦИИ И
ИЗДАТЕЛЯ:**

Россия, 350072, Краснодарский край,
г. Краснодар, ул. Зиповская 9,
литер «Г», оф. 41/3

**ADDRESS OF EDITION
AND PUBLISHER:**

Russia, 350072, Krasnodar Krai,
Krasnodar, Zipovskaya St., 9,
letters «G», office 41/3

ЗАВЕДУЮЩИЙ РЕДАКЦИЕЙ

Фоменко Ирина Ивановна
Тел.: +7 (918) 41-50-571

MANAGER OF EDITION

Fomenko Irina Ivanovna
Ph.: +7 (918) 41-50-571

e-mail: id.yug2016@gmail.com, set@id-yug.com

ДИРЕКТОР ИЗДАТЕЛЬСТВА

Фоменко Олег Яковлевич
Тел.: +7 (918) 41-50-571

DIRECTOR OF PUBLISHING HOUSE

Fomenko Oleg Yakovlevich
Ph.: +7 (918) 41-50-571

e-mail: id.yug2016@gmail.com, set@id-yug.com

www.id-yug.com

ОГЛАВЛЕНИЕ / CONTENTS

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

TECHNICAL SCIENCES

Байрамова А.С.

Получение значения концентрации газов
в зависимости от условия процесса адсорбции 19

Bayramova A.S.

The gas concentration value depending
on the condition of the adsorption process

**Беседин Е.А., Барчо Р.А., Джикаев В.Д.,
Власко П.С., Бондарь А.В.**

Структурная схема и принцип работы блока контроля сдвига фаз устройства
быстродействующего автоматического включения резерва 24

**Besedin E.A., Barcho R.A., Dzhikaev V.D.,
Vlasko P.S., Bondar A.V.**

Diagram and operating principle of the phase shift
control unit of a high-speed automatic device enabling the reserve

Беседин Е.А., Власко П.С., Бондарь А.В., Рейзов А.С.

Проблемы статической устойчивости узлов нагрузки
систем электроснабжения промышленных предприятий 31

Besedin E.A., Vlasko P.S., Bondar A.V., Reizov A.S.

Problems of static stability of load units of
power supply systems of industrial enterprises

Беседин Е.А., Рейзов А.С., Барчо Р.А., Джикаев В.Д.

Современные виды защит для релейной защиты
высоковольтных электродвигателей и их моделирование 39

Besedin E.A., Reizov A.S., Barcho R.A., Dzhikaev V.D.

Modern types of protection for relay protection
of high-voltage electric motors and their modeling

Гасанов А.А.

Массопередача между фазами в процессе абсорбции 48

Hasanov A.A.

Mass transfer between phases in the absorption process

Горкина И.Э., Зехов Р.С.

Внешнее армирование железобетонных конструкций
композитными материалами 52

Gorkina I.E., Zekhov R.S.

External reinforcement of reinforced concrete structure composites

Дворная З.Л., Хорошев А.А., Выродова И.Г., Снозовая А.А.

Особенности благоустройства придомовой территории
в процессе завершения строительства жилого многоквартирного дома 58

Dvornaya Z.L., Khoroshev A.A., Vyrodova I.G., Snozovaya A.A.

Features of the improvement of the adjacent territory
in the process of completing the construction of a residential apartment building

- Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Чувилин Н.А.**
 Анализ переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения ... 61
Dobrobaba Y.P., Murlina V.A., Chuvilin N.A.
 Analysis of transitional characteristics of the fifth order system with one root multiple three and with one root multiple two of the characteristic equation
- Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Чувилин Н.А.**
 Анализ переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения 68
Dobrobaba Y.P., Murlina V.A., Chuvilin N.A.
 Analysis of transitional characteristics of the fifth order system with one root multiple three and with one root multiple two of the characteristic equation
- Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Чувилин Н.А.**
 Анализ переходных характеристик системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения 75
Dobrobaba Y.P., Murlina V.A., Chuvilin N.A.
 Analysis of transitional characteristics of the fifth order system with two roots multiple two and one root multiple one of the characteristic equation
- Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Чернуха М.В., Кияшко Д.С.**
 Близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода при ограничениях по напряжению, максимальному и минимальному значениям тока и скорости 82
Dobrobaba Y.P., Murlina V.A., Chernukha M.V., Kiyashko D.S.
 The diagram is close to the optimum in terms of speed actuator movement diagram at voltage limits, maximum and minimum values of current and speed
- Добробаба Ю.П., Кушнарченко А.П.**
 Определение энергетических характеристик электроприводов при больших перемещениях его исполнительного органа 96
Dobrobaba Y.P., Kushnarenko A.P.
 Determination of energy characteristics of electric actuators at large displacements of its actuating body
- Добробаба Ю.П., Кушнарченко А.П.**
 Определение энергетических характеристик электроприводов при малых перемещениях его исполнительного органа 106
Dobrobaba Y.P., Kushnarenko A.P.
 Determination of energy characteristics of electric actuators at small displacements of its actuating body
- Добробаба Ю.П., Кушнарченко А.П.**
 Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального и минимального значений тока, скорости, второй и третьей производных скорости 115
Dobrobaba Y.P., Kushnarenko A.P.
 The speed-optimized motion diagram of an actuator of a precision electric actuator with limitations of the maximum and minimum current values, velocity, second and third derivatives of velocity

Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А. Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью два и с четырьмя корнями кратностью один характеристического уравнения	122
Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Pechonkin O.A. The analysis of transient characteristics of a sixth order system with one double and four one-time solutions of the characteristic equation	
Добробаба Ю.П., Асланова Д.А., Печёнкин О.А. Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с двумя корнями кратностью два и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения	129
Dobrobaba Y.P., Aslanova D.A., Pechonkin O.A. The analysis of transient characteristics of a sixth order system with two double and two one-time solutions of the characteristic equation	
Добробаба Ю.П., Ульрих Р.В. Ассиметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости	136
Dobrobaba Yu.P., Ulrikh R.V. Asymmetric speed-optimal diagram of the movement of the executive body of a particularly precise DC electric drive with an elastic shaft line with a speed limit	
Енина И.Д., Дейкин Д.И. Усиление железобетонных колонн при реконструкции зданий и сооружений	140
Enina I.D., Deykin D.I. Strengthening reinforced concrete columns during the reconstruction of buildings and structures	
Ивлев А.С. Транспортная компания ИТЕКО	146
Ivlev A.S. Transport company ITECO	
Иноземцева А.Ю. Особенности перевозки скоропортящихся грузов	149
Inozemtseva A.Y. Peculiarities of perishable goods transportation	
Иночкина Е.В., Касьянов Г.И. Математическое моделирование процесса обезвоживания растительного сырья	152
Inochkina E.V., Kasyanov G.I. Mathematical modeling of the process of dehydration of vegetable raw materials	
Каримова Р.А., Логода Р.А. Особенности усиления строительных конструкций композитными материалами	161
Karimova R.A., Logoda R.A. Features of reinforcement of metal structures with composite materials	
Касьянов Г.И., Бережной С.Б., Запорожский А.А. Деятельность Кубанского отделения Российской инженерной академии по развитию научно-технических направлений в обучении и науке	166
Kasyanov G.I., Berezhnoy S.B., Zaporozhsky A.A. Activities of the Kuban branch of the Russian engineering academy for the development of scientific and technical areas in education and science	

Керимова М.И. Цифровая обработка нестационарных сигналов в желудочно-кишечном тракте	173
Kerimova M.I. Digital processing of non-stationary signals in the gastrointestinal tract	
Кирюникова Н.М., Лесовая Э.Д., Хахук Б.А. Анализ земельного фонда территории Краснодарского края	178
Kiryunikova N.M., Lesovaya E.D, Khakhuk B.A. Analysis of the land fund of the territory of the Krasnodar territory	
Коновалова Т.В., Надирян С.Л. Методы размещения транспортно-пересадочных узлов в городах	182
Konovalova T.V., Nadiryan S.L. Methods of allocation of the transport hubs in the cities	
Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Орешкина А.Д. Повышение безопасности дорожного движения в Краснодаре	186
Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Oreshkina A.D. Improving road safety in Krasnodar	
Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Миронова М.П. Особенности транспортно-грузовой системы доставки скоропортящихся грузов	192
Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Mironova M.P. Features of the transport and cargo system for the delivery of perishable goods	
Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Бурмантова А.Д. Оценка эффективности организации дорожного движения по улично-дорожной сети города	196
Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Burmantova A.D. Assessment of the effectiveness of traffic management on the city's road network	
Лотникова Д.Ю. Возможности логистической методологии на транспорте Краснодарского края	200
Lotnikova D.Yu. Opportunities for logistics methodology of transport in the Krasnodar region	
Лотникова Д.Ю. Оценка влияния производственной деятельности на рентабельность перевозок	207
Lotnikova D.Yu. Assessment of the influence of production activity on the profitability of transportation	
Лотникова Д.Ю. Формы повышения провозных способностей автобусов и качества обслуживания пассажиров	212
Lotnikova D.Yu. Forms of improving the capacity of buses and the quality of passenger service	
Марковец О.К., Катилевский С.И. Особенности применения навесного вентилируемого фасада при реконструкции зданий и сооружений в России	215
Markovets O.K., Katilevsky S.I. Features of the application of the ventilated facade in the reconstruction of buildings and structures in Russia	
Пальянова А.В., Хейшхо А.Б. Пути повышения энергоэффективности зданий	219
Palyanova A.V., Kheyshkho A.B. Ways to improve the energy efficiency of buildings	

- Пенькова А.А.**
 Повышение энергоэффективности жилых многоквартирных домов 223
Penkova A.A.
 Improving the energy efficiency of residential apartment buildings
- Потужная И.Р., Полурядникова И.А.**
 Применение углеродного волокна при реконструкции зданий и сооружений 228
Potuzhnaya I.R., Poluryadnikova I.A.
 The use of carbon fiber in the reconstruction of buildings and structures
- Уткина О.А., Сердюк С.А.**
 Применение вентилируемых фасадов при реконструкции зданий 231
Utkina O.A., Serdyuk S.A.
 The use of ventilated facades in the reconstruction of buildings
- Чумак В.С., Хапачев Н.Б.**
 Энергоэффективность и ресурсосбережение при реконструкции зданий 236
Chumak V.S., Chapachev N.B.
 Energy efficiency and resource saving in the reconstruction of buildings

НАУКИ О ЗЕМЛЕ SCIENCES ABOUT THE EARTH

- Бахшалиева Ш.О., Ибрагимов З.Р.**
 Концепция развития альтернативной энергетике в Азербайджане 243
Bakhshaliev S.O., Ibrahimov Z.R.
 Concept for the development of alternative energy in Azerbaijan
- Гусейнова Э.А.**
 Влияние природы модификатора на фракционный состав катализатора
 окислительного вакуумного газойля 246
Guseinova E.A.
 Influence of the nature of the modifier on fractional composition
 of oxycracking catalyst of vacuum gasoil
- Дерли Н.А., Савенок О.В.**
 Проектирование процесса ГРП в условиях
 Северо-Савиноборского нефтяного месторождения 252
Derly N.A., Savenok O.V.
 Design of the hydraulic fracturing in the conditions
 of the Severo-Savinoborskoye oil field
- Долингер А.А., Савенок О.В.**
 Предупреждение образования неорганических солей на Усинском месторождении 263
Dolinger A.A., Savenok O.V.
 Prevention of the formation of inorganic salts on the Usinskoye field
- Ибрагимов Р.С., Бахшалиева Ш.О., Самедзаде Д.А.,
 Исмаилов Е.С., Исмаилов С.Д.**
 Теоретические основы приготовления глинистых растворов
 на высокоминерализованной воде 277
**Ibrahimov R.S., Bakhshaliyeva S.O., Samedzadeh J.A.,
 Ismailov E.S., Ismailov S.J.**
 Theoretical foundations for the preparation of clay solutions
 on highly mineralized water

- Липилина Д.С., Савенок О.В.**
 Анализ геолого-промысловой информации Находкинского месторождения 281
Lipilina D.S., Savenok O.V.
 Analysis of the geological and field information of the Nakhodkinskoe field
- Радзиевский Г.А., Савенок О.В.**
 Анализ результатов проведения очистки призабойной зоны солянокислотным
 Раствором на добывающих скважинах Хасырейского месторождения 292
Radzievsky G.A., Savenok O.V.
 Analysis of the results of cleaning the bottomhole zone with a hydrochloric
 acid solution on the production wells of the Khasyreyskoye field
- Шапков Е.Н., Савенок О.В.**
 Техника и технология добычи нефти и газа на Полевом месторождении 306
Shapkov E.N., Savenok O.V.
 Technique and technology of oil and gas production on the Polevoye field

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

PEDAGOGICAL SCIENCES

- Багдасарян Р.Х., Мединцева К.В.**
 Информационная компетентность
 как компонента личности библиотечного специалиста 319
Bagdasaryan R.K., Medintseva K.V.
 Information competence as a component of the library specialist's personality

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



TECHNICAL SCIENCES

УДК 66.067

**ПОЛУЧЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЯ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ****GETTING THE GAS CONCENTRATION VALUE DEPENDING
ON THE CONDITION OF THE ADSORPTION PROCESS****Байрамова Айгюн Сеймур кызы**

доктор технических наук по философии,
инженер научно-исследовательской лаборатории
«Новые химические материалы и технологии»,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
aygun.b74@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена разработке математической модели и оптимизации процесса адсорбции вредных компонентов H_2S , CO_2 и NO_2 из газовых смесей. Для осуществления этой задачи в данной работе рассматривались следующие задачи: разработка математического описания процесса адсорбции H_2S , CO_2 и NO_2 из газовых смесей; вычисление изменения значения технологических параметров адсорбционной очистки газовых смесей, определяющих оптимальный режим адсорбционного процесса; разработка математического описания процесса адсорбции в изменяющихся внешних условиях; определение оптимальных значений технологических параметров по отдельным компонентам (H_2S , CO_2 и NO_2) из газовых смесей.

Ключевые слова: адсорбция, неподвижный слой, адсорбент, цеолит, газовая смесь.

Bayramova Aygun Seymur qizi

Doctor of Technical Sciences in Philosophy,
Engineer, Research Laboratory
«New chemical materials and technologies»,
Azerbaijan State Oil and Industry University
aygun.b74@mail.ru

Annotation. This article is devoted to the development of a mathematical model and optimization of the process of adsorption of harmful components of H_2S , CO_2 and NO_2 from gas mixtures. To implement this task, the following tasks were considered in this paper: development of a mathematical description of the process of adsorption of H_2S , CO_2 and NO_2 from gas mixtures; calculation of changes in the value of the technological parameters of adsorption purification of gas mixtures that determine the optimal mode of the adsorption process; development of a mathematical description of the adsorption process under changing external conditions; determination of optimal values of technological parameters for individual components (H_2S , CO_2 and NO_2) from gas mixtures.

Keywords: adsorption, fixed layer, adsorbent, zeolite, gas mixture.

Как известно, на территории Азербайджана разведано и законсервировано много газовых и нефтегазовых месторождений с примесями NO_2 , CO_2 и серосодержащими соединениями. Однако разработка данных газовых и нефтегазовых месторождений без обеспечения их эффективным очистным сооружением и оборудованием может стать источником серьезных экологических осложнений. Применение этих очищенных чистых газов в качестве энергоносителей решает ряд экологических проблем.

Учитывая вышеуказанные задачи и проблемы пришли к выводу, что поставленные и решаемые в данной работе проблемы науки и техники весьма актуальны.

К предприятиям газовой промышленности, эксплуатация которых в той или иной степени влияет на загрязнение атмосферы, относятся газодобывающие, газоперерабатывающие и газотранспортные объекты. Технология очистки газов от различных газовых смесей осуществляется по закономерностям адсорбционных сил.

Адсорбционный метод способствует полному извлечению из газовой смеси нежелательных компонентов. Все это обуславливает широкое применение адсорбционных процессов в современной нефтеперерабатывающей, химической и газовой промышленности. Основой математического моделирования промышленных адсорберов в неподвижном слое адсорбента является математическое описание теплообмена на отдельном зерне адсорбента [1].

Для моделирования используем уравнение теплопроводности – дифференциальных уравнений параболического типа:

$$\frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial m}{\partial \tau} - \frac{\partial^2 m}{\partial l^2} = 0. \quad (1)$$

Обозначим через m – температуру; τ – время; l – координата слоя адсорбента; c^2 – температуропроводность.

Принимаем $m = m(l, \tau)$; $l \in [h_1, h_2]$; $\tau \in [\tau_1, \tau_2]$,

$\frac{\partial m}{\partial \tau}$ – описывает изменения температуры по времени,

$\frac{\partial^2 m}{\partial l^2}$ – описывает температурного профиля слоя адсорбента адсорбера.

Температурный профиль слоя адсорбента адсорбера описывает отличия температуры в данной точке зоны от средней температуры в соседних зонах.

Граничное условие:

$$\begin{cases} m(0, \tau) = 0 & \tau \in]0; \tau] \\ m_x(1, \tau) - \chi \cdot m(1, \tau) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$m(l, 0) = \varphi(l); l \in]0, 1].$$

Решение уравнений (1) будет так:

$$T(\tau) = a \cdot e^{-k^2 \cdot c^2 \tau}. \quad (3)$$

Уравнение (3) описывает за каждый момент времени температуры в неподвижном слое адсорбента. Это уравнение позволяет найти распределение тепла адсорбции между газовом потоком и неподвижном слое адсорбента. В реальных условиях адсорбция происходит сложнее. При движении потока газа через неподвижной слой адсорбента массообмен при сорбции протекает не мгновенно, изменяется во времени [2, 3].

В зоне массопередачи адсорбера обычно существует 3 границы:

- 1) отработанный слой;
- 2) работающий слой;
- 3) неработающий слой.

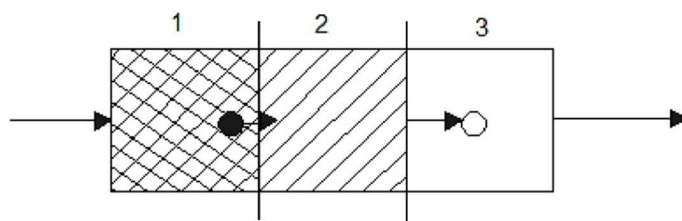


Рисунок 1 – Зоны массотеплообмена адсорбера

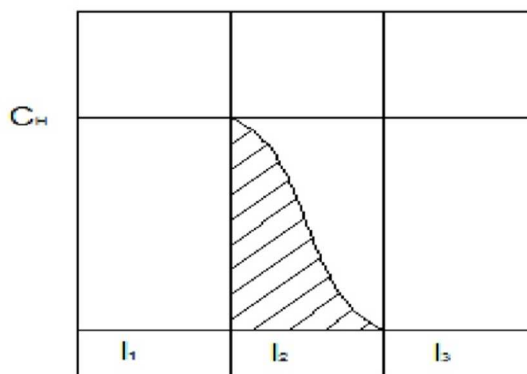


Рисунок 2 – Зависимость концентрации адсорбтива от высоты слоя адсорбента

Скорость равновесного состояния тепломассообменных процессов, имеет большое значение при определении эффективности работы адсорбционных аппаратов. В случае неизотермической адсорбции очень важно иметь возможность предсказывать ход изменения температуры неподвижного слоя адсорбента со временем, т.к., экономически оказывается наиболее выгодным производить отбор продукта из промышленного адсорбера до установления равновесного состояния, т.е. при переходном режиме. Степень отклонения от равновесного состояния, обуславливает, кроме того, продолжительность процесса. Безразмерную температуру описываем уравнением (4).

$$\theta = \frac{m_k - m_H}{m_{o.c} - m_H}, \quad (4)$$

где m_k – конечная температура; m_H – начальная температура; $m_{o.c}$ – температура окружающей среды; θ – безразмерная величина температуры:

$$\theta = f(F_0), \quad (5)$$

здесь F_0 – критерия Фурье.

$$F_0 = \frac{c \cdot T}{R^2}, \quad (6)$$

R – радиус зерна адсорбента.

Из уравнений (3) (4) и (6) получаем

$$\theta = a \cdot e^{-k^2 \cdot c \cdot R^2 F_0} = a \cdot e^{-x \cdot F_0}, \quad (7)$$

где $x = -k^2 \cdot c \cdot R^2$.

На основе уравнений (7) вычисляем зависимость $\theta = f(F_0)$.

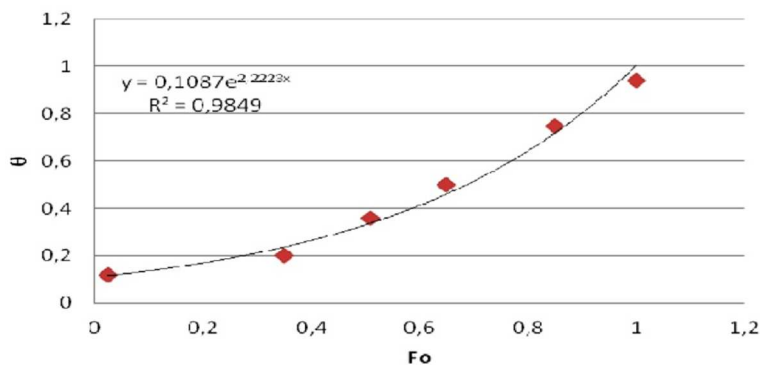


Рисунок 3 – Зависимость $\theta = f(F_0)$

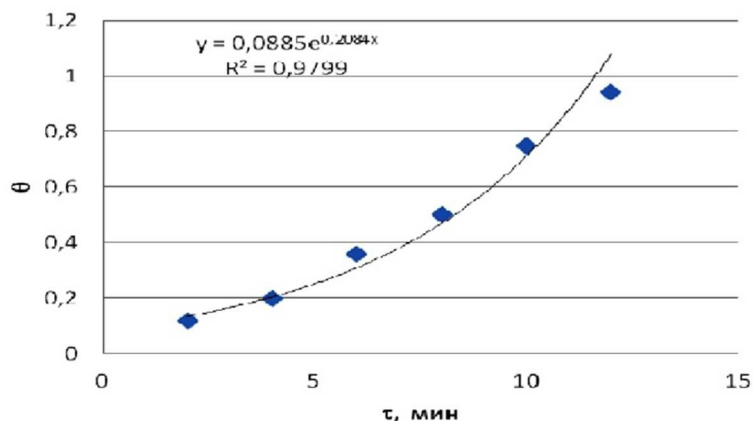


Рисунок 4 – Зависимость безразмерной температуры от времени

Для обеспечения непрерывности процесса адсорбции газовых смесей по потоку сырья и готового продукта в схеме установки предусмотрены четыре адсорбера, в каждом из которых и определенный промежуток времени проводится один из этапов процесса [4].

Далее нами изучена адсорбционная очистка газовых смесей от CO_2 , NO_2 и H_2S с цеолитами NaX, NaA и CaA.

При экспериментальном исследовании изучены кривые изотермы адсорбции CO_2 , H_2S и NO_2 из газовых смесей. Изотермы адсорбции определены в цеолите NaX. Получены результаты исследований адсорбционной способности различных адсорбентов по CO_2 , H_2S и NO_2 из газовых смесей в идентичных условиях. Выявлено преимущественное использование цеолита NaX для сорбционного разделения CO_2 , H_2S и NO_2 . Расчет промышленных адсорберов и их число имеют важные практические значения. Поэтому динамическая активность синтетического цеолита NaX и скорость десорбции газа вычисляются из опытных данных. Также регенерация цеолита должны соответствовать опытным данным.

Газовую смесь H_2S , CO_2 и NO_2 пропускали через неподвижный слой цеолита NaX 1–6 МПа, подачей при $20^\circ \div 40^\circ\text{C}$ в верхнюю часть адсорбера. На неподвижном слое цеолита NaX происходит адсорбция H_2S , CO_2 и NO_2 . Процесс осуществляется в 4-х адсорбционных аппаратах. Первый адсорбер работает в режиме адсорбции, второй десорбции, третий регенерации и четвертый охлаждения. Скорость природного газа определяется гидравлическим сопротивлением слоя адсорбента. Слой цеолита NaX постепенно насыщается нежелательными компонентами H_2S , CO_2 и NO_2 . После полного насыщения цеолита адсорбер переключают на регенерационный режим непосредственно в адсорбере и дальше соответственно [4, 5]. Значение концентрации газов, содержащихся в очищенном потоке на выходе из адсорбера, в зависимости от условия процесса адсорбции приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения концентрации газов, содержащихся в очищенном потоке на выходе из адсорбера в зависимости от условия процесса адсорбции

Значение перепада давления в адсорбционном слое, кГ/см ²	Содержание компонентов газовых смесей после очистки, % объем		
	H_2S	CO_2	NO_2
0,153	0,059	0,041	0,087
0,163	0,054	0,033	0,08
0,173	0,047	0,018	0,07
0,183	0,042	0,012	0,062
0,193	0,040	0,011	0,061
0,203	0,041	0,010	0,067
0,214	0,042	0,014	0,074
0,224	0,043	0,020	0,086
0,234	0,047	0,026	0,092

Выводы: Таким образом, предлагаемый метод разделения газовых смесей позволяет вести адсорбцию в отношении трехкомпонентной газовой смеси $\text{H}_2\text{S} / \text{NO}_2 / \text{CO}_2$, исходный состав которой в %-ом объеме соответствует – H_2S – 80 %, CO_2 – 15 %, NO_2 – 5 %, с использованием в качестве цеолита NaX при поддержании перепада давления в адсорбционном слое $0,173 \div 0,203$ кГ/см². Оптимальными условиями процесса адсорбции содержащихся газовых компонентов в смеси является проведение процесса при перепаде давления в адсорбционном слое $0,193$ кГ / см² который обеспечивает после очистки содержание H_2S – 0,040, CO_2 – 0,010, NO_2 – 0,061.

Литература

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М., 1984. – 592 с.
2. Юсубов Ф.В., Байрамова А.С. Моделирование тепломассообмена при адсорбции газовых смесей в переходном режиме // «Инженерно-физический журнал» (ИФЖ). – Беларусь, Минск. – 2019, январь–февраль. – Т. 92. – № 1. – С. 120–127.
3. Юсубов Ф.В., Байрамова А.С. Новый подход к тонкой очистке природных газов // Журнал «Нефтепереработка и нефтехимия». – 2016. – № 10. – С. 25–29.
4. Байрамова А.С. Идентификация процесса адсорбционной очистки газовых смесей // Журнал «Наука, техника и образование». – 2016. – № 11 (29). – С. 20–27.
5. Bathen D., Breitbach H. Adsorptionstechnik // Springer. – Berlin, 2001. – 341 p.

References

1. Keltsev N.V. Fundamentals of Adsorption Technology. – M., 1984. – 592 p.
2. Yusubov F.V., Bayramova A.S. Modeling of heat and mass transfer during adsorption of gas mixtures in a transient mode // «Engineering Physical Journal» (IPJ). – Belarus, Minsk. – 2019, January–February. – Vol. 92. – № 1. – P. 120–127.
3. Yusubov F.V., Bayramova A.S. New approach to fine purification of natural gases // Journal of Petroleum Refining and Petrochemistry. – 2016. – № 10. – P. 25–29.
4. Bayramova A.S. Identification of adsorption purification process of gas mixtures // Journal of Science, Technology and Education. – 2016. – № 11 (29). – P. 20–27.
5. Bathen D., Breitbach H. Adsorptionstechnik // Springer. – Berlin, 2001. – 341 p.

УДК 621.311:681.5

**СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ БЛОКА КОНТРОЛЯ
СДВИГА ФАЗ УСТРОЙСТВА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО
АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА**



**BLOCK DIAGRAM AND OPERATING PRINCIPLE OF THE PHASE SHIFT
CONTROL UNIT OF A HIGH-SPEED AUTOMATIC DEVICE
ENABLING THE RESERVE**

Беседин Евгений Алексеевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет
omega54@mail.ru

Барчо Руслан Асланович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
barcho.ruslan.96@mail.ru

Джикаев Вячеслав Дмитриевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
dzhikaev13s@gmail.com

Власко Павел Станиславович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
pvlasko@inbox.ru

Бондарь Алексей Витальевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
alexbondar123@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены основные проблемы обеспечения эффективной работы противоаварийной автоматики электроэнергетических систем. Отдельно подробно рассмотрена работа и принцип работы контроля сдвига фаз быстродействующего автоматического включения резерва в нормальном режиме, при коротком замыкании на шинах распредустройства и за его пределами. Разработана модель данного блока в среде Simulink пакета MatLab и получены диаграммы работы данной модели. Сделаны выводы об эффективности работы блока контроля сдвига фаз.

Ключевые слова: противоаварийная автоматика электроэнергетических систем, быстродействующее автоматическое включение резерва, блок контроля сдвига фаз, нормальный режим, режим короткого замыкания, модель блока в среде Simulink пакета MatLab.

Besedin Evgeniy Alexeevich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Power Supply of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University
omega54@mail.ru

Barcho Ruslan Aslanovich

Student,
Kuban State Technological University
barcho.ruslan.96@mail.ru

Dzhikaev Vyacheslav Dmitrievich

Student,
Kuban State Technological University
dzhikaev13s@gmail.com

Vlasko Pavel Stanislavovich

Student,
Kuban State Technological University
pvlasko@inbox.ru

Bondar Alexey Vitalievich

Student,
Kuban State Technological University
alexbondar123@gmail.com

Annotation. The article deals with the main problems of ensuring the effective operation of emergency automation of electric power systems. Separately, the work and the principle of operation of the phase shift control of the high-speed automatic reserve switch-on in normal mode, with a short circuit on the switchgear buses and beyond is considered in detail. A model of this block is developed in the Simulink environment of the matlab package and diagrams of the operation of this model are obtained. Conclusions are made about the efficiency of the phase shift control unit

Keywords: emergency automation of electric power systems, high-speed automatic switching on of the reserve, phase shift control unit, normal mode, short-circuit mode, block model in the Simulink environment of the Matlab package.

Процесс производства, передачи и распределения электроэнергии является динамичным, характеризующимся необходимым равенством в каждый момент времени генерируемой и требуемой потребителями электрической энергии (балансом мощности) и подверженным случайным возмущающим воздействиям, относительно слабым (малым), обусловленным случайно изменяющейся нагрузкой, и интенсивным (большим), связанным с повреждениями и отключениями генерирующего и передающего энергию электрооборудования.

Большие собственно возмущающие воздействия вызывают отклонения от динамического равновесия, которые могут привести к нарушениям синхронной параллельной работы электрических станций и развиться в общесистемную аварию с прекращением функционирования тепловых электростанций и полной потерей электроснабжения.

Обычно электроэнергетические системы работают в нормальном режиме, в котором основные режимные параметры: амплитуды (действующие значения) – далее просто напряжение и частота напряжения – при непрерывных изменениях нагрузки остаются практически неизменными, т.е. номинальными; распределение активной и реактивной мощностей между генерирующими электроэнергию управляемыми объектами оптимально, а перетоки мощностей по передающим электроэнергию линиям связи между электроэнергетическими системами и их объединениями, образующими единую энергосистему, находятся в пределах, ограничиваемых нормируемым запасом мощности по статической устойчивости параллельной работы электрических станций. К нормальному относится и неоптимальный, обычно кратковременный, режим по мощности, при котором напряжения и частота не выходят за пределы длительно допустимых ГОСТ отклонений.

Нормальный режим обеспечивается автоматическим управлением электроэнергетическими объектами арсеналом управляющих автоматических устройств и систем.

Основная задача автоматического управления нормальным режимом – обеспечить производство и передачу электроэнергии при минимальных затратах энергоресурсов (условного топлива) и обеспечить надежность электроснабжения потребителей электроэнергией требуемого качества и исправность электроэнергетических управляемых объектов.

Под воздействием внезапных интенсивных возмущений в виде неизбежных коротких замыканий или случайных отключений генерирующих или передающих электроэнергетических объектов ЭЭС, ОЭС или ЕЭС в целом переходят в утяжеленный или в аварийный режим.

Утяжеленный режим характеризуется отклонениями режимных параметров, обычно пониженными значениями напряжений и частоты, допустимыми лишь кратковременно. Перетоки мощностей могут превышать длительно допустимые в нормальном режиме, но не доходить до опасных для статической устойчивости значений. Задача автоматического управления в утяжеленном режиме – не допустить его дальнейшего утяжеления, что может привести к переходу в аварийный режим; устранить причину, вызвавшую его и восстановить нормальный режим.

Если хотя бы один из режимных параметров достигает недопустимых даже кратковременно значений, режим становится аварийным.

Аварийный режим развивается из утяжеленного или непосредственно вследствие интенсивных возмущающих воздействий. Основными задачами автоматического управления в аварийном режиме являются: выявление и устранение, если возможно, возмущающего воздействия; предотвращение дальнейшего развития аварийной ситуации и ее распространения; восстановление нормального режима.

Автоматическое управление в утяжеленном и, особенно, аварийном режимах производится управляющими автоматическими устройствами противоаварийного управления. В результате противоаварийного управления наступает послеаварийный режим или восстанавливается нормальный режим работы. Задача автоматического управления в послеаварийном режиме состоит в скорейшем восстановлении нормального режима.

При организации противоаварийного управления реализуется еще и ремонтный режим, в частности ремонтная схема ЭЭС, характеризующийся выводом в ремонт отдельных электроэнергетических объектов.

Как показывает анализ, АВР является важным средством повышения надежности работы энергосистем. Успешность действия устройств АВР составляет 90–95 %. Эффективность работы устройств АВР, так же, как и устройств АПВ, определяется тем, как быстро после подачи напряжения будут достигнуты нормальные параметры производственного процесса. Это в свою очередь зависит от времени перерыва электропитания и от того, произойдет ли после такого перерыва самозапуск электродвигателей и как быстро они достигнут доаварийной производительности. Очевидно, что работа устройств АВР не может считаться эффективной, если не произойдет самозапуска двигателей потребителей или если за время самозапуска технологические параметры достигнут критических значений и будет остановлено производство.

Данное обстоятельство требует комплексного решения вопросов в части выбора: схемы электропитания (многостороннего без устройств АВР или радиального с устройствами АВР), устанавливаемых устройств релейной защиты, применяемых типов электродвигателей, характеристик двигателей и нагрузки, типов коммутационной аппаратуры, схем управления ею и устройств технологических блокировок.

В настоящее время все более широкое применение находят устройства быстрого действия автоматического включения резерва, примерами которых могут служить устройства, приведенные в [3, 4]. Для повышения быстродействия срабатывания этих устройств параллельно секционному выключателю подключен тиристорный коммутатор, который первым срабатывает и подключает аварийный участок сети к резервному источнику питания. Через короткое время срабатывает и секционный выключатель, а тиристорный коммутатор отключается в бестоковую паузу.

Для того, чтобы данное устройство эффективно работало, необходимо, чтобы устройство БАРВ срабатывало в необходимых случаях и блокировалось в тех случаях, когда срабатывание данного устройства недопустимо из-за возможности выхода из строя и резервного источника, наряду с основным.

В устройстве [4] имеется блок контроля сдвига фаз, который анализирует направление протекания тока короткого замыкания. Если ток короткого замыкания направлен от шин распреустройства к системе, то значит точка короткого замыкания расположена за пределами системы электроснабжения, и включение АВР допустимо. Если же ток короткого замыкания направлен от системы к шинам распреустройства, то включение АВР в таком случае недопустимо, так как точка короткого замыкания расположена внутри распреустройства, и включение АВР обесточит обе системы шин. Структурная схема данного устройства приведена на рисунке 1 (нумерация принята как в [4]).

Блок 7 контроля сдвига фаз содержит (рисунок 1) электронный переключатель 37, второй логический элемент 38 ИЛИ, третий логический элемент 39 ИЛИ, соответствующие RS-триггер 40, интегрирующий блок 41 и пороговый элемент 42. При этом электронный переключатель 37 состоит из двух переключающих элементов. Первый переключающий элемент 43 имеет информационные выходы 44 и 45. Информационный вход 46 и вход 47 управления. Вторым переключающим элементом 48 имеет информационные выходы 49 и 50, информационный вход 51 и вход 52 управления. Выходы 44 и 49 связаны через элемент 38 ИЛИ с входом R триггера 40. Выходы 45 и 50 – через элемент 39 ИЛИ с входом S триггера 40.

При этом вход 47 первого переключающего элемента 43 образует первый управляющий вход 26 блока 7 контроля сдвига фаз, а вход 46 образует второй информационный вход 36 блока 7 контроля сдвига фаз. Вход 52 второго переключающего элемента 48 образует второй управляющий вход 35 блока 7 контроля сдвига фаз, а вход 51 образует первый информационный вход 27 блока 7 контроля сдвига фаз. Выход триггера 40 через интегрирующий блок 41 связан с входом порогового элемента 42, выход которого является выходом блока 7 контроля сдвига фаз.

В нормальном режиме сдвиг по фазе между током и напряжением зависит от характера нагрузки. При активной нагрузке кривые тока (I) и напряжения (U) совпадают, при индуктивной нагрузке ток (I) отстает от напряжения на 90 градусов, а при емкостной нагрузке – опережает его на такой же угол (I). Следовательно, в нормальном режиме работы возможный диапазон изменения сдвига фаз между током и напряжением составляет от нуля до ± 90 градусов. Такой же диапазон изменения сдвига фаз и при коротком замыкании на шинах подстанции (см. рис. 2).

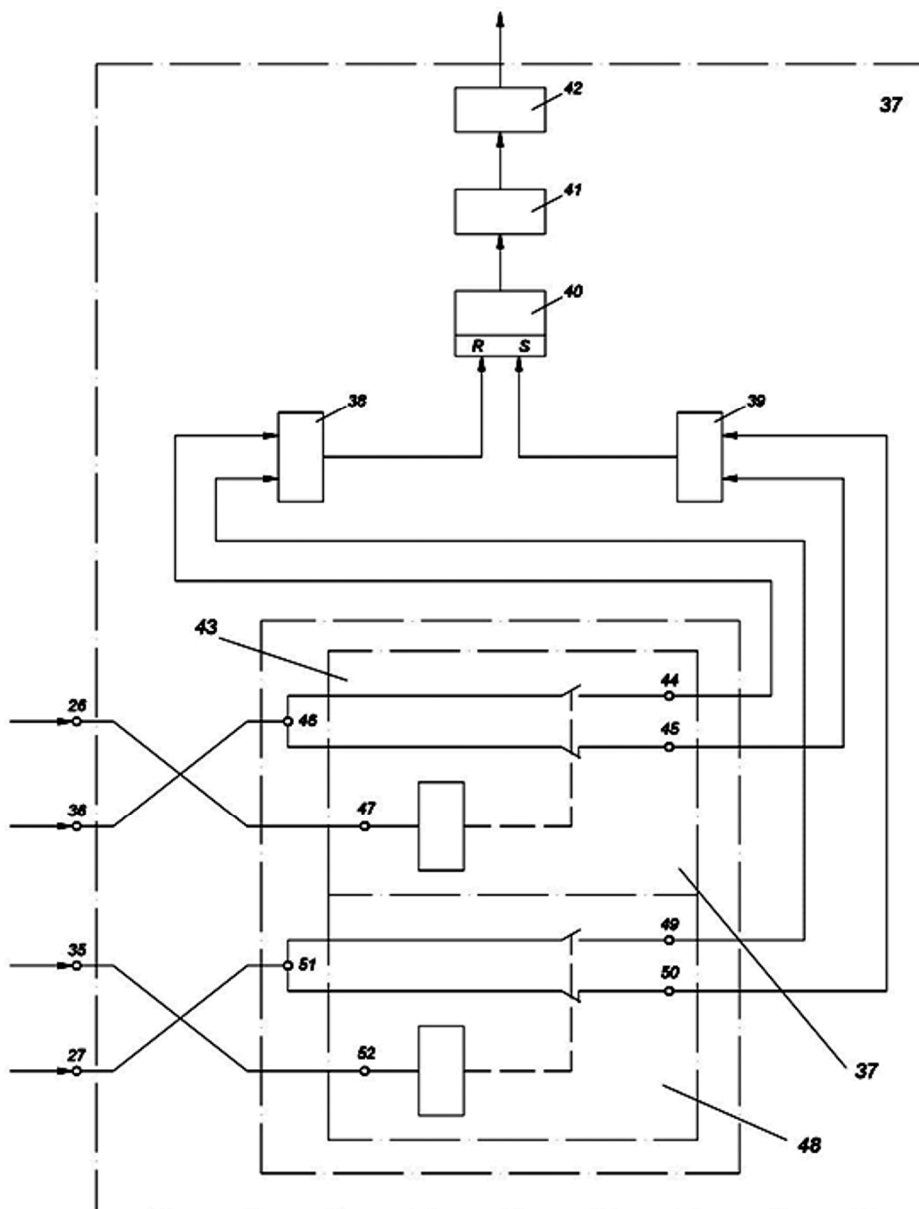


Рисунок 1 – Структурная схема контроля сдвига фаз

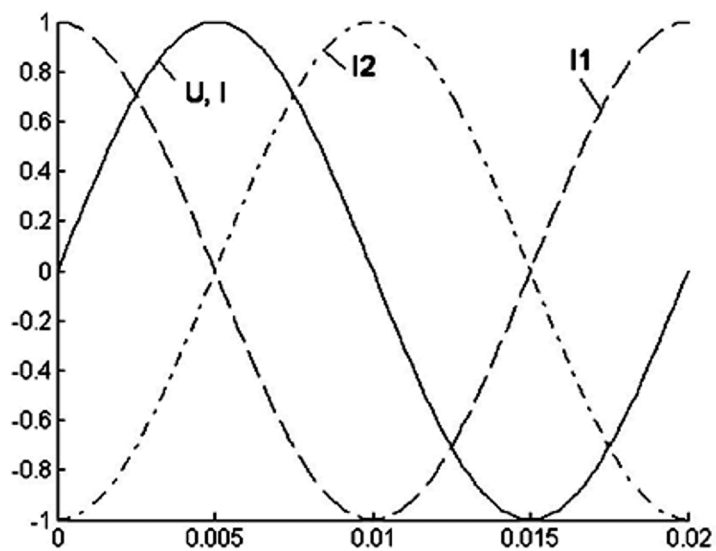


Рисунок 2 – Кривые токов и напряжения в нормальном режиме

При внешнем коротком замыкании токи меняют свое направление на противоположное. Это соответствует изменению их фаз на 180 градусов. Графически это можно получить симметричным отражением приведенных выше кривых тока относительно оси абсцисс. В этом случае при активной нагрузке сдвиг между током и напряжением составляет 180 градусов (кривые находятся в противофазе), а при индуктивной и емкостной нагрузках разность фаз составит также 90 градусов, а ее знак поменяется на противоположный. И возможный диапазон изменения фаз между током и напряжением составляет от ± 90 градусов до 180 градусов.

Следовательно, при изменении направления мощности разность фаз между током и напряжением по абсолютной величине превышает 90 градусов.

Данный алгоритм работы блока реализован в виде модели в среде Simulink пакета MatLab, приведенной на рисунке 3.

Модель имеет два входа – для напряжения (№ 1) и для тока (№ 2) защищаемой шины. В каждой ветви находится триггер (**Trigger1** и **Trigger2**), на выходе которых формируется сигнал 100 единиц при положительном сигнале на входе триггеров и равный нулю при отрицательном входном сигнале. Сигналы с выходов данных триггеров поступают на входы сумматора (**Summator**), где происходит их алгебраическое сложение. На выходе сумматора формируется кривая, имеющая две положительные ступени 100 и 200 единиц и две таких же отрицательных ступени. Этот сигнал поступает на вход ограничителя (**Saturator**), который ограничивает положительный сигнал до 100 единиц и не пропускает отрицательную часть сигнала. В результате на выходе ограничителя получим импульс, который равен 100 единицам при положительных значениях кривых тока и напряжения и равен нулю в иных случаях. Это демонстрирует рисунок 4, где первая и вторая кривые отображают изменения напряжения и тока соответственно, а третья кривая представляет собой сигнал на выходе ограничителя.

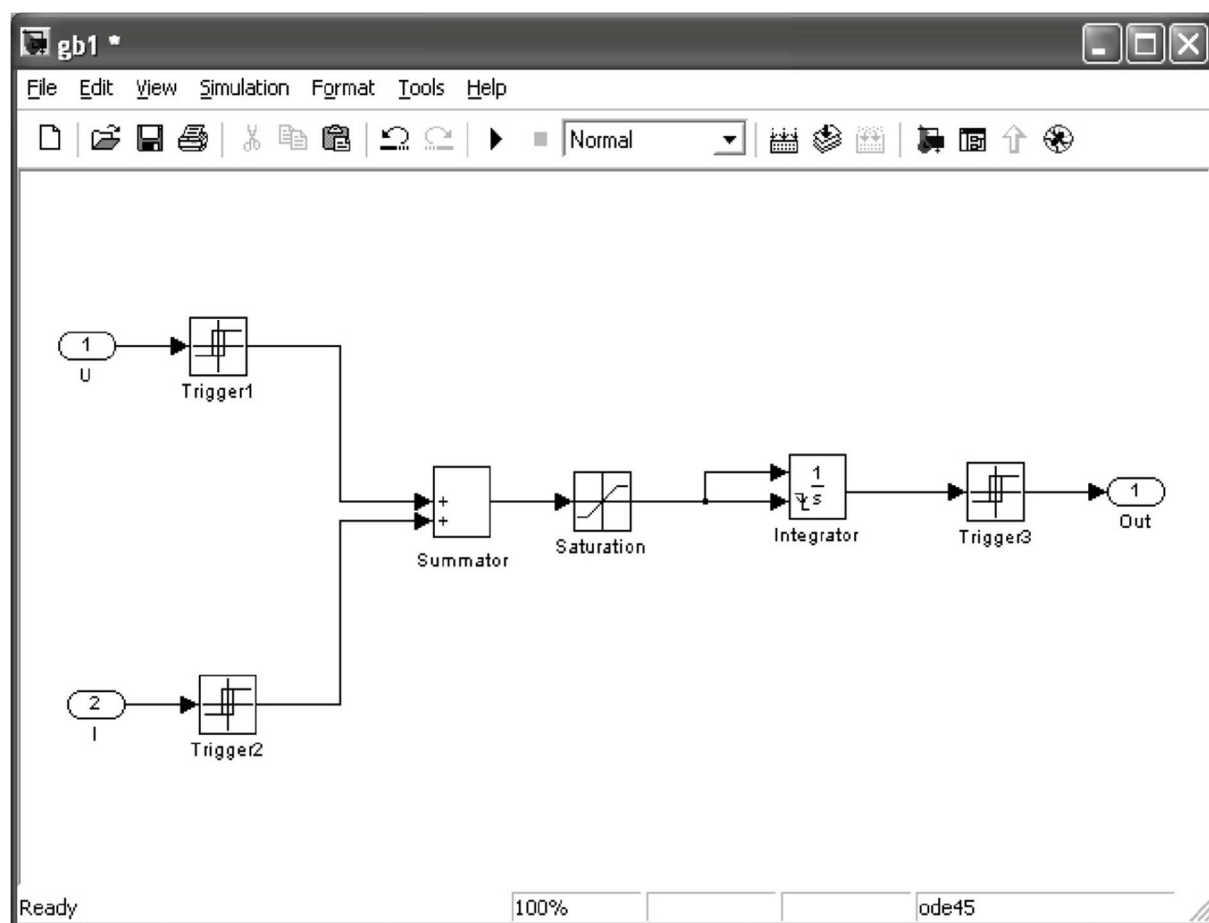


Рисунок 3 – Модель блока контроля сдвига фаз

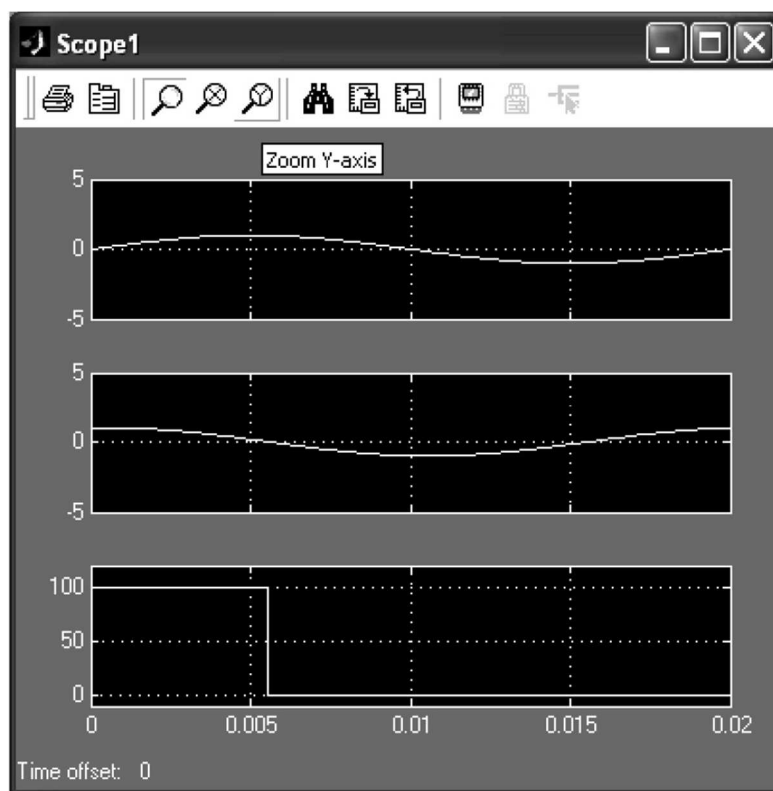


Рисунок 4 – Диаграммы сигналов модели

Данный прямоугольный импульс подается на интегратор (Integrator), где производится его интегрирование. Начинается интегрирование с нулевого значения. Сигнал на выходе представляет собой линейно нарастающую зависимость, процесс интегрирования завершается при прохождении через интегратор заднего фронта импульса, после чего интегратор сбрасывается в исходное состояние.

Максимальное значение сигнала на выходе интегратора зависит от ширины импульса и, следовательно, от сдвига фаз между током и напряжением. При сдвиге фаз 90 градусов этот сигнал достигает значения 0,5. Поэтому он подается на третий триггер (Trigger3), который срабатывает при достижении входного сигнала 0,5, при этом на его выходе формируется единичный сигнал управления системой быстродействующего АВР.

В нормальном режиме и в режиме короткого замыкания на шинах подстанции сдвиг фаз не превышает 90 градусов. При этом в зависимости от сдвига фаз максимальное значение сигнала на выходе интегратора колеблется от 0,5 до 1. Поэтому в систему управления БАВР с выхода третьего триггера каждый период будет поступать единичный блокировочный сигнал запрета срабатывания АВР.

При внешнем коротком замыкании в зависимости от сдвига фаз максимальное значение сигнала на выходе интегратора колеблется от 0 до 0,5. Поэтому в систему управления БАВР с выхода третьего триггера блокировочный сигнал поступать не будет.

Таким образом, полученная модель блока направления мощности позволяет моделировать динамические процессы в системе электроснабжения при наличии быстродействующего АВР с блоком контроля сдвига фаз.

Для дальнейшего использования данной модели с целью анализа систем электроснабжения было произведено ее маскирование и размещение в пользовательской библиотеке Simulink-5.

Литература

1. Барзам А.Б. Системная автоматика. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 446 с.
2. Автоматика электроэнергетических систем: Учеб. пособие для вузов / О.П. Алексеев [и др.]; Под ред. В.Л. Козиса. и Н.И. Овчаренко. – М. : Энергоиздат, 1981. – 480 с.

3. А.С. 1709462 СССР Н 02 J 9/06. Устройство быстродействующего автоматического включения резерва / Б.А. Коробейников, А.И. Ищенко, Е.А. Беседин. – № 4727170/07. – Заявл. 07.08.89. – Оpubл. 30.01.92. – Бюл. № 4.
4. А.С. 1688349 СССР Н 02 J 9/06. Устройство для автоматического включения резервного питания потребителей / Б.А. Коробейников, А.И. Ищенко, Е.А. Беседин, А.И. Тимчук. – № 4651180/07. – Заявл. 06.01.89. – Оpubл. 30.10.91. – Бюл. № 40.

References

1. Barzam A.B. System Automatics. – 4-th edition, revised and supplemented. – М. : Energoatomizdat, 1989. – 446 p.
2. Automation of the electrical power systems: Textbook for high schools / O.P. Alekseev [et al.]; Edited by V.L. Kozis and N.I. Ovcharenko. – М. : Energoizdat, 1981. – 480 p.
3. A.S. 1709462 SSR N 02 J 9/06. The device of the reserve quick-acting automatic switching-on / B.A. Korobeinikov, A.I. Ischenko, E.A. Besedin. – № 4727170/07. – Application. 07.08.89. – Republished 30.01.92. – Coll. № 4.
4. A.S. 1688349 CSSR N 02 J 9/06. Device for the consumers automatic switching-on of the reserve power supply / B.A. Korobeinikov, A.I. Ischenko, E.A. Besedin, A.I. Timchuk. – № 4651180/07. – Application. 06.01.89. – Republished 30.10.91. – Coll. № 40.

УДК 621.311

**ПРОБЛЕМЫ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛОВ НАГРУЗКИ
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**



**PROBLEMS OF STATIC STABILITY OF LOAD UNITS OF
POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

Беседин Евгений Алексеевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет
omega54@mail.ru

Власко Павел Станиславович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
pvlasko@inbox.ru

Бондарь Алексей Витальевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
alexbondar123@gmail.com

Рейзов Александр Сергеевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
79189855535@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные проблемы обеспечения устойчивости электроэнергетических систем. Отдельно рассмотрены вопросы исследования и обеспечения устойчивости узлов нагрузки систем электроснабжения промышленных предприятий. Подробно рассмотрены характеристики отдельных компонентов, входящих в узел нагрузки промышленного предприятия. На основании рассмотренных моделей был произведен анализ статической устойчивости узлов нагрузки систем электроснабжения завода электросталей и агломерационной фабрики металлургического комбината. Сделаны выводы о запасе статической устойчивости данного узла нагрузки и о влиянии конденсаторных установок на запас статической устойчивости данных узлов.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, узел нагрузки, статическая устойчивость, характеристики статической устойчивости, запас статической устойчивости.

Besedin Evgeniy Alexeevich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Power Supply of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University
omega54@mail.ru

Vlasko Pavel Stanislavovich

Student,
Kuban State Technological University
pvlasko@inbox.ru

Bondar Alexey Vitalievich

Student,
Kuban State Technological University
alexbondar123@gmail.com

Reizov Alexander Sergeevich

Student,
Kuban State Technological University
79189855535@yandex.ru

Annotation. The article deals with the main problems of ensuring the stability of electric power systems. Separately, the issues of research and ensuring the stability of load nodes of power supply systems of industrial enterprises are considered. The characteristics of individual components included in the load node of an industrial enterprise are considered in detail. On the basis of the considered models, the static stability of the load units of the power supply systems of the electric steel plant and the agglomeration plant of the metallurgical combine was analyzed. Conclusions are made about the reserve of static stability of this load node and about the influence of condenser installations on the reserve of static stability of these nodes.

Keywords: electric power system, load node, static stability, characteristics of static stability, stock of static stability.

И зучение процессов в электрической системе требует рассмотрения не только электромагнитных, но и механических процессов в ее элементах: в первичных двигателях (турбинах), их автоматических регуляторах, генераторах, двигателях нагрузки, где электрическая энергия вновь преобразуется в механическую. Именно изменение механического состояния элементов системы приводит к самым тяжелым последствиям – потере устойчивости, приводящей к нарушениям электро-

снабжения, как отдельных потребителей, так и целых регионов и даже стран. Таким образом, необходимо рассматривать и электрическое и механическое состояние системы ее режимы и электромеханические процессы.

Электромеханические процессы в системе могут иметь свойства, не выявляющиеся у отдельных элементов. Это требует исследования вопросов взаимодействия силовых элементов (турбин, генераторов, трансформаторов, линий передачи, нагрузок) и элементов управления (регуляторов, выключателей и т.п.).

Точность и быстрота расчета устанавливаются в зависимости от поставленной задачи. Выбираемый метод, прежде всего связан с выбором математической модели, описывающей переходные процессы в электрической системе, и зависит от длительности исследуемого процесса и точности задания исходной информации. Ниже приведена степень описания модели в зависимости от класса точности, которой будем далее пользоваться при изучении переходных процессов.

1-й класс. Процессы в генераторах описываются полными уравнениями Парка-Горева, либо уравнениями в естественных координатах А, В, С. Учитывается влияние демпферных обмоток. Учитываются системы регулирования мощности турбины и других систем и возбуждения генератора.

2-й класс. Процессы в генераторах описываются упрощенными уравнениями Парка-Горева. Учитывается влияние демпферных обмоток. Учитываются системы регулирования мощности турбины и возбуждения генератора.

3-й класс. Процессы в генераторах описываются упрощенными уравнениями Парка-Горева, как правило только с учетом переходных процессов в обмотках возбуждения. Влияние демпферных обмоток и систем регулирования мощности и возбуждения также учитываются упрощенно.

4-й класс. Допускается постоянство ЭДС ($E' = \text{const}$) в течение всего переходного процесса. Влияние демпферных контуров и системы регулирования не учитывается. Ниже рассматриваются модели 3 и 4 классов.

Статическая устойчивость – это способность системы сохранять исходный режим при воздействии малых возмущений или режим, близкий к исходному, если возмущение не снято. Статическая устойчивость – это абсолютное требование, и она должна обеспечиваться всегда в нормальном и послеаварийном режиме.

Узел нагрузки – группа разнородных потребителей подключенных к шинам электростанций или подстанций.

Задачи анализа электромеханических переходных процессов в узлах нагрузки рассматриваются с трех позиций.

1. Как процесс в системе влияет на нагрузку.
2. Как процесс нагрузки влияет на систему.
3. Как одна нагрузка влияет на другую.

Рассмотрим состав нагрузки различных отраслей (табл. 1).

Таблица 1 – Состав нагрузки

Вид нагрузки	Крупные АД 6–10 кВ, %	Мелкие АД, %	Крупные СД 6–10 кВ, %	Освещение, печи, быт, %
Типовая	15	35	9	41
Нефтехимическая	20	48,5	27	4,5

Поведение узлов определяет двигательная нагрузка в основном – асинхронная нагрузка.

Статические и динамические характеристики. Статические характеристики – любые зависимости, снятые при бесконечно медленном изменении напряжения:

$$P(U), Q(U), P(f), Q(f). \quad (1)$$

Динамические характеристики – зависимости во времени, а в ряде случаев от скорости изменения напряжения:

$$P\left(U, t, \frac{dU}{dt}\right) \quad (2)$$

Регулирующий эффект нагрузки – степень изменения активной или реактивной мощности при изменении напряжения, либо частоты:

$$\frac{dP}{dU}, \frac{dQ}{dU}, \frac{dP}{df}, \frac{dQ}{df} \quad (3)$$

Рассмотрим термическую нагрузку $P = \frac{U^2}{R}$.

$$\frac{dP}{dU} = \operatorname{tg} \alpha \quad (4)$$

$$\frac{dP}{dU} = \frac{2 \cdot U}{r} \cdot \frac{U}{U} = \frac{2 \cdot P}{U} \quad (5)$$

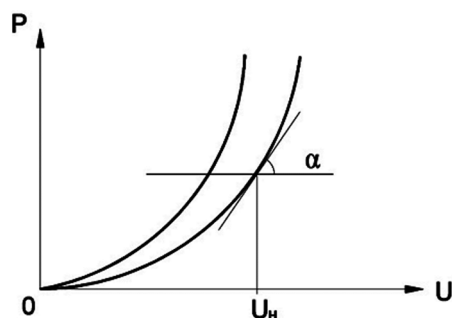


Рисунок 1 – Характеристика термической нагрузки

При $P_H=1 \cdot U_H=1$, тогда:

$$\frac{dP}{dU} = \frac{2 \cdot P_H}{U_H} = 2. \quad (6)$$

Следовательно, при снижении напряжения потребляемая мощность снижается пропорционально квадрату напряжения.

Пределы изменения регулирующих эффектов нагрузки:

$$\frac{dP}{dU} = 0,3 \div 0,75; \quad (7)$$

$$\frac{dP}{df} = 1,5 \div 3,5; \quad (8)$$

$$\frac{dQ}{df} = 1 \div 6; \quad (9)$$

$$\frac{dQ}{dU} = 1,5 \div 3,5. \quad (10)$$

Понятие дефицита активной мощности определяется выражением (8) и связано с уменьшением частоты. Понятие дефицита реактивной мощности определяется выражением (10) и связано с уменьшением напряжения.

Далее рассмотрим осветительную нагрузку. Зависимость мощности от напряжения для осветительной нагрузки определяется выражением:

$$P_H = kU^{1,6}. \quad (11)$$

Характеристики осветительной нагрузки приведены на рисунке 2, а на рисунке 3 приведена характеристика люминесцентной лампы

Следовательно, при снижении напряжения потребляемая мощность снижается пропорционально напряжению в степени 1,6. Как термическая, так и осветительная нагрузки не ухудшают устойчивость узла нагрузки.

Статическая устойчивость асинхронной нагрузки. Практический критерий устойчивости. Статической устойчивостью асинхронной нагрузки называется способность асинхронного двигателя вернуться в исходный или близкий к нему режим после малых возмущений.

На рисунке 4 приведена простейшая схема замещения асинхронного двигателя, при построении которой не учитывались потери активной мощности в стали, а также в меди статора.

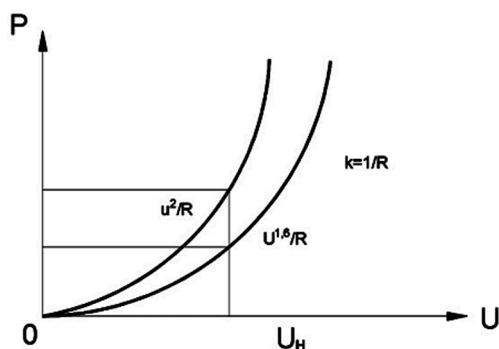


Рисунок 2 – Характеристика осветительной нагрузки

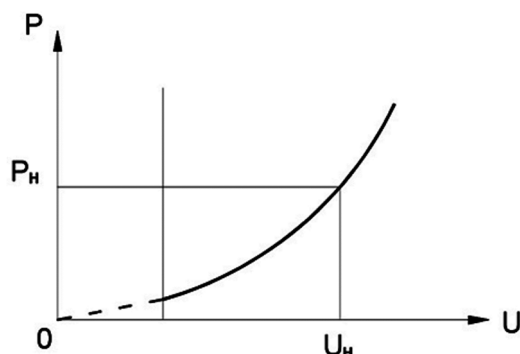


Рисунок 3 – Характеристика люминесцентной лампы

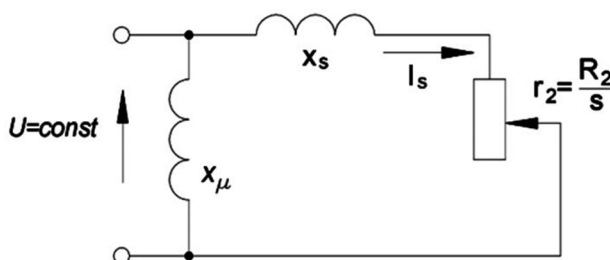


Рисунок 4 – Простейшая схема замещения асинхронного двигателя

Индуктивное сопротивление x_s в схеме представляет собой сумму индуктивных сопротивлений рассеяния статора и ротора $x_s = x_1 + x_2$. Активная мощность P в этой схеме представляет мощность, получаемую двигателем из сети. Эта мощность, передаваемая со статора на ротор двигателя, определяется, как произведение вращающего момента на угловую скорость вращения магнитного потока двигателя $P = \omega M$. Последняя при неизменной частоте сети остается постоянной при любом скольжении двигателя, и, следовательно, вращающий момент двигателя пропорционален мощности P , а в относительных единицах может быть принят численно ей равным ($P = M$).

Значение мощности P в схеме на рисунке 4 легко определяется в зависимости от скольжения двигателя:

$$P = I_s^2 r_2 = I_s^2 \frac{R_2}{s} = \frac{U^2 \frac{R_2}{s}}{\left(\sqrt{x_s^2 + \left(\frac{R_2}{s}\right)^2}\right)^2} = \frac{U^2 R_2}{s \left(x_s^2 + \left(\frac{R_2}{s}\right)^2\right)} = \frac{U^2 R_2 s}{(s x_s)^2 + R_2^2}, \quad (12)$$

в результате:

$$P = \frac{U^2 R_2 s}{(s x_s)^2 + R_2^2}. \quad (13)$$

Максимум мощности двигателя или так называемый опрокидывающий момент достигается при критическом скольжении:

$$S_{кр} = \frac{R_2}{x_s} \quad (14)$$

и получается равным

$$P_m = \frac{U^2}{2x_s}. \quad (15)$$

Характеристика моментов проиллюстрирована рисунком 5

Подставляя (15) и (14) в (13), получим формулу для определения электромагнитной мощности (формула Клосса):

$$P = \frac{2P_m}{\frac{s}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{s}}. \quad (16)$$

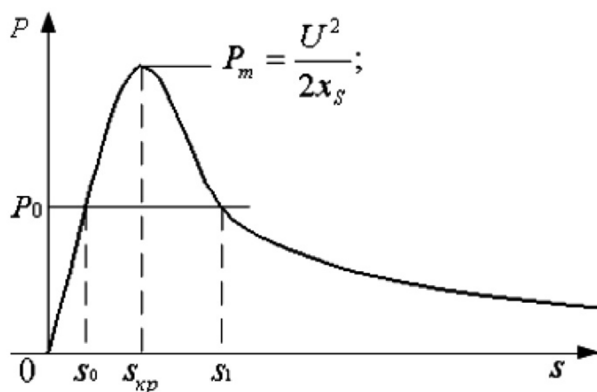


Рисунок 5 – Характеристика моментов

Практический критерий устойчивости. Рассмотрим поведения системы двигатель – нагрузка в точках а и b, где по условиям существования режима имеет место баланс электромагнитной и механической мощности и возможно существование установившегося режима (рис. 6).

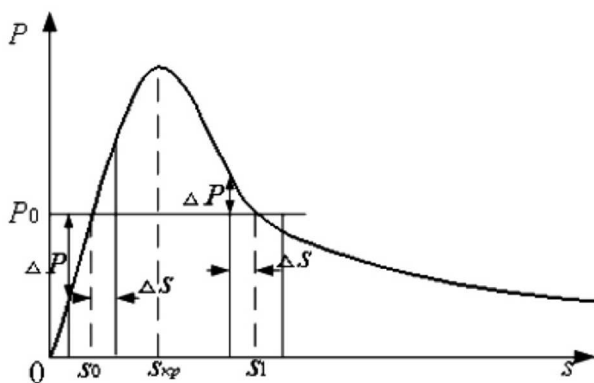


Рисунок 6 – Механическая характеристика АД

Рассмотрим режим в точке а:

- при увеличении скольжения s (торможение):

$$\Delta P = P_{эл.(s_1)} - P_0. \quad (17)$$

Результат положительный, вращающий момент больше механического (тормозного) момента, происходит ускорение и возврат в точку а, что соответствует устойчивой работе;

- при уменьшении скольжения s (ускорение):

$$\Delta P = P_{эл.(s_2)} - P_0. \quad (18)$$

Результат отрицательный, вращающий момент меньше механического (тормозного) момента, происходит торможение и возврат в точку а, то есть имеет место устойчивая работа.

Рассмотрим режим в точке b:

- при увеличении скольжения s :

$$\Delta P = P_{эл.(s_4)} - P_0. \quad (19)$$

Результат отрицательный, вращающийся момент меньше механического (тормозного) момента, происходит дальнейшее торможение и уход от точки b, то есть, имеет место неустойчивая работа;

- при уменьшении скольжения s :

$$\Delta P = P_{эл.(s_4)} - P_0. \quad (20)$$

Результат положительный, вращающийся момент больше механического (тормозного) момента, происходит разгон и переход в точку b , то есть, имеет место неустойчивая работа.

Определим производную мощности двигателя от скольжения в заданной точке:

$$\lim_{s \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta s} = \frac{dP}{ds} = \frac{d(P_3 - P_0)}{ds} = \frac{dP_{изб.}}{ds}. \quad (21)$$

Прямой или практический критерий устойчивости:

$$\frac{dP_{изб.}}{ds} > 0. \quad (22)$$

Для сохранения статической устойчивости асинхронной машины производная избыточной мощности по углу в точке баланса мощностей должна быть положительной.

Вторичные критерии устойчивости. Лавина напряжения

Определение параметров эквивалентного двигателя часто затруднительно, что заставляет искать другие решения, позволяющие подойти к оценке устойчивости асинхронных двигателей в электрических системах, не выделяя их из состава комплексной нагрузки. Это можно сделать по так называемым вторичным критериям устойчивости нагрузки.

Для узла нагрузки можно снять зависимости $P(U)$ и $Q(U)$.

Потребляемая двигателем реактивная мощность в соответствии со схемой замещения (рис. 7) состоит из двух слагаемых:

$$Q = Q_s + Q_\mu. \quad (23)$$

где Q_μ – мощность, потребляемая ветвью намагничивания, равная

$$Q_\mu = \frac{U_d^2}{x_\mu}, \quad (24)$$

Q_s – мощность, потребляемая ветвью рассеяния, равная

$$Q_s = (I_2')^2 x_s = \frac{U_d^2 x_s s^2}{r_s^2 + (x_s s)^2}; \quad (25)$$

I_2' – приведенный ток цепи рассеяния.

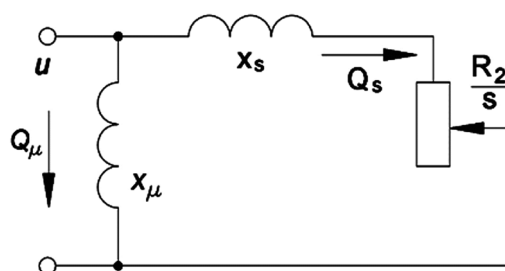


Рисунок 7 – Схема замещения асинхронного двигателя (АД)

Значения электромагнитной мощности двигателя в соответствии со схемой (рис. 7) определяются по формуле:

$$P_d = (I_2')^2 \frac{r_s}{s} = \frac{U_d^2 r_s s}{r_s^2 + (x_s s)^2}. \quad (26)$$

При постоянном механическом моменте (мощности) P_0 из (25) и (26) следует что $Q_s \equiv s$.

При изменении напряжения на двигателе в соответствии с рисунком 8 находятся значения скольжения, и строится зависимость $Q_s = f(U)$ (рис. 9).

Как следует из рисунка 9 зависимость $Q_s = f(U)$ с уменьшением U сначала тоже уменьшается, а затем растет. Следовательно, снижение U приводит к росту потребляемой реактивной мощности, а значит, и к росту тока. При питании от источника соизмеримой мощности это может привести к дальнейшему снижению напряжения на дви-

гатель U . Прогрессирующее снижение напряжения получило название лавины напряжения. При $U_{кр}$ когда $\frac{dQ}{dU} = -\infty$, происходит опрокидывание двигателя.

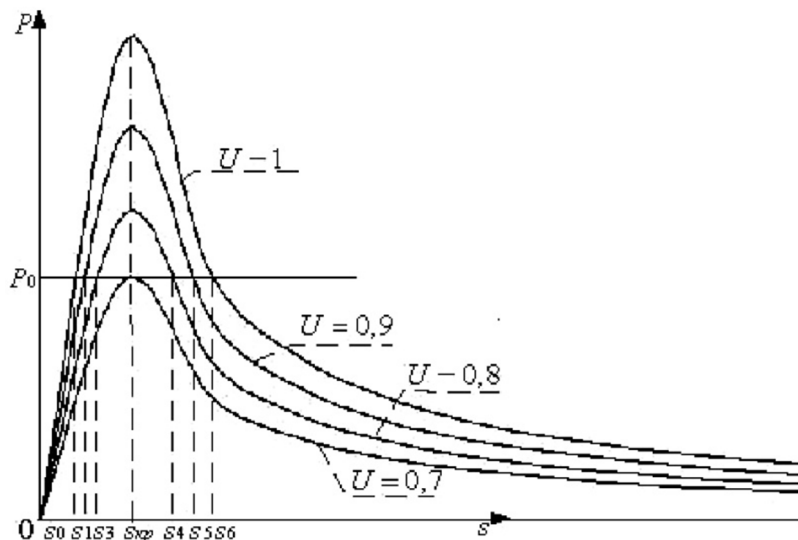


Рисунок 8 – Снижение напряжения на асинхронном двигателе

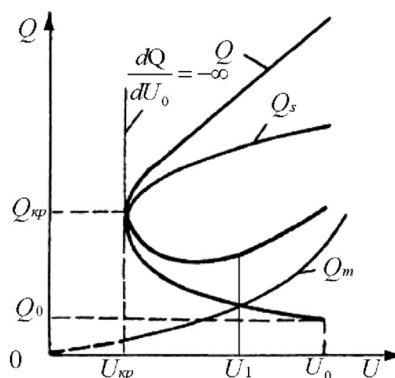


Рисунок 9 – Вторичный критерий устойчивости

В диапазоне $[1 \dots U_1]$ невозможна лавина напряжения, а в диапазоне $[U_1 \dots U_{кр}]$ возможна лавина напряжения. Следовательно, выражение

$$\frac{dQ}{dU} \rightarrow -\infty \tag{27}$$

может быть принято в качестве вторичного критерия статической устойчивости асинхронной нагрузки. Данный критерий не выявляет лавину напряжения.

Другим вторичным критерием является критерий Жданова, требующий знания статических характеристик узла нагрузки $P(U), Q(U)$.

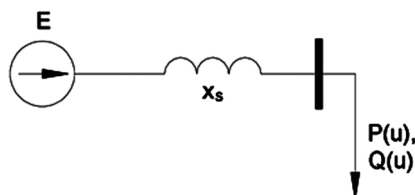


Рисунок 1.10 – Расчетная схема

Для расчетной схемы рисунка 10 можно построить зависимость $E(U)$ (рис. 11).

При $E = E_0$ равновесие установившегося режима возможно в точках а и б. В точке а производная $dE / dU > 0$, что на характеристике мощности АД соответствует устойчивому режиму.

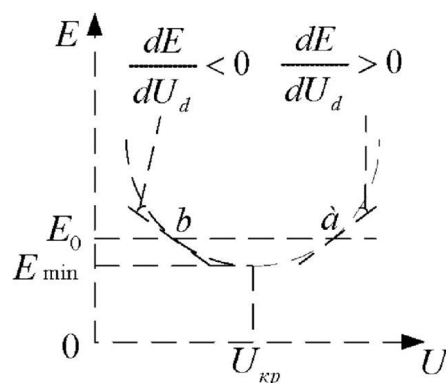


Рисунок 11 – Критерий Жданова

С утяжелением режима по переменной U каждой точке кривой $E(U)$ соответствует увеличивающееся скольжение. При критическом значении скольжения имеет место критическое напряжение $U_{кр}$. Точка b , где производная $dE / dU < 0$, соответствует по характеристике мощности неустойчивому равновесию.

Следовательно, знак производной dE / dU позволяет судить об устойчивости системы. Критерий устойчивости:

$$\frac{dE}{dU_d} > 0 \quad (28)$$

впервые был предложен проф. П.С. Ждановым и называется критерием устойчивости Жданова.

Следует отметить, что критическое напряжение $U_{кр}(E)$, определенное по критерию Жданова, получается немного выше, чем критическое напряжение $U_{кр}(s)$, полученное по критерию $dP / ds = 0$, т.е. при выполнении условия (28) скольжение двигателя еще не достигает $s_{кр}$. По критерию Жданова определяется напряжение, которое предшествует образованию лавины напряжения.

С учетом вышеизложенного был произведен анализ статической устойчивости завода электросталей. В качестве объекта исследования был взят распределительный пункт РП-2 цехов сталеплавильных печей №№ 1 и 2. В результате расчетов были получены статические характеристики данного узла нагрузки для различных значений емкости компенсирующего устройства.

В целом расчеты показали, что данный узел обладает достаточно высоким запасом статической устойчивости. Также расчеты подтвердили отрицательное влияние емкости на статическую устойчивость узла нагрузки.

Аналогично была проанализирована статическая устойчивость узла нагрузки агломерационной фабрики металлургического комбината по вышеизложенной методике. Результаты анализа показали результаты, аналогичные заводу электросталей.

Литература

1. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоиздат, 1990. – 390 с.
2. Хрущев Ю.В., Заповодников К.И., Юшков А.Ю. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учебное пособие // Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 160 с.
3. Эрнст А.Д. Электромеханические переходные процессы в электрических системах: Курс лекций. – Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2013. – 130 с.

References

1. Gurevich Yu.E., Libova L.E., Okin A.A. Calculations of Stability and Emergency Automation in Power Systems. – M.: Energoizdat, 1990. – 390 p.
2. Khrushchev Yu.V., Zapodovnikov, K.I., Yushkov, A.Yu. Electromechanical transients in the electrical power systems: tutorial // Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publisher, 2012. – 160 p.
3. Ernst A.D. Electromechanical Transients in Electrical Systems: Lecture Course. – Nizhnevartovsk: Publishing house of NVSU, 2013. – 130 p.

УДК 621.316.925

СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ ЗАЩИТ ДЛЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ



MODERN TYPES OF PROTECTION FOR RELAY PROTECTION OF HIGH-VOLTAGE ELECTRIC MOTORS AND THEIR MODELING

Беседин Евгений Алексеевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет
omega54@mail.ru

Рейзов Александр Сергеевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
79189855535@yandex.ru

Барчо Руслан Асланович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
barcho.ruslan.96@mail.ru

Джихаев Вячеслав Дмитриевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
dzhikaev13s@gmail.com

Аннотация. В статье сделан анализ основных ненормальных режимов высоковольтных синхронных и асинхронных электродвигателей. Рассмотрены основные виды релейной защиты, применяемые для защиты высоковольтных электродвигателей. Подробно рассмотрена температурная защита высоковольтного электродвигателя на современной электронной базе. Отмечены основные преимущества рассмотренного устройства температурной защиты электродвигателей. Рассмотрена модель данного устройства в среде Simulink пакета MatLab.

Ключевые слова: ненормальные режимы электродвигателей, релейная защита высоковольтных электродвигателей, температурная защита высоковольтных электродвигателей, прогнозирование ненормального режима, модель защиты.

Besedin Evgeniy Alexeevich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Power Supply of Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University
omega54@mail.ru

Reizov Alexander Sergeevich

Student,
Kuban State Technological University
79189855535@yandex.ru

Barcho Ruslan Aslanovich

Student,
Kuban State Technological University
barcho.ruslan.96@mail.ru

Dzhikaev Vyacheslav Dmitrievich

Student,
Kuban State Technological University
dzhikaev13s@gmail.com

Annotation. The article analyzes the main abnormal modes of high-voltage synchronous and asynchronous electric motors. The main types of relay protection used to protect high-voltage electric motors are considered. The temperature protection of a high-voltage electric motor on a modern electronic base is considered in detail. The main advantages of the considered device of temperature protection of electric motors are noted. The model of this device is considered in the Simulink environment of the Matlab package.

Keywords: abnormal modes of electric motors, relay protection of high-voltage electric motors, temperature protection of high-voltage electric motors, prediction of abnormal pressure, protection model.

Релейная защита является обязательной частью всех электроэнергетических установок, объектов и систем напряжением 1 кВ и выше. Она имеет особо важное и самостоятельное функциональное назначение, представляет собой сложную информационную систему, состоящую из комплекса взаимосвязанных электромагнитных, электронных и микроэлектронных устройств, а также источников питания.

В системах электроснабжения нередко внезапно возникают короткие замыкания (к.з.) и другие ненормальные режимы работы. Различают к.з. между фазами электрической установки (междуфазное к.з.), а так же между фазой и землей (замыкание на землю). В трансформаторах и электрических машинах, кроме того, возможны межвит-

ковые замыкания в обмотке одной фазы. К.з. возникают вследствие дефектов, старения и загрязнения изоляции токоведущих частей, обрыва и схлестывания проводов при сильном ветре или гололеде, неисправности в цепях электроподвижного состава, ошибочных переключений и т.п. Электрическая дуга в месте замыкания способна вызывать пережоги, оплавление и разрушения электрического оборудования и распределительных устройств, отжиг и обрыв контактных проводов. Разрушения оказываются тем значительнее, чем больше ток в дуге и время ее существования. Чтобы к.з. не вызвало большого ущерба, поврежденное электрооборудование необходимо как можно быстрее отключить.

К другим ненормальным режимам относят прежде всего перегрузки. Этот режим характеризуется протеканием по неповрежденному оборудованию токов, превышающих длительно допустимое значение. Перегрузки опасны вследствие чрезмерного повышения температуры токоведущих частей и преждевременного старения изоляции. Снижение или увеличение напряжения относительно предельных нормативных значений и качания в энергосистеме также являются проявлением ненормальных режимов.

Ненормальные режимы, как и к.з., могут явиться причиной аварий, т.е. порчей или разрушением оборудования, недоотпуском потребителям электроэнергии. Чем быстрее отключается участок электрической системы, на котором произошло к.з. или возник ненормальный режим работы, тем меньше возможностей для возникновения и развития аварий. За доли секунды необходимо выявить такой участок и отключить как можно меньшую часть электрической системы, чтобы обеспечить бесперебойное электроснабжение максимально возможного числа потребителей.

Применение микроэлектроники и микропроцессорных систем еще больше повышает эффективность релейной защиты и автоматики, открывает перспективы для передачи функций релейной защиты и автоматики специальным управляющим вычислительным машинам, которые будут управлять устройствами электроснабжения в нормальных и аварийных режимах. В этой связи особое значение приобретает изучение алгоритмов (программ), которым должно подчиняться действие релейной защиты вне зависимости от той элементной базы, на основе которой она выполнена.

При многофазных коротких замыканиях существенно возрастает ток, термическое действие которого ведет к повреждению изоляции всей обмотки, пережогу проводников и выплавлению железа статора электрической дугой.

Однофазное замыкание на землю в сети с глухозаземленной нейтралью является однофазным коротким замыканием и его последствия также опасны, как при многофазных повреждениях. Если же нейтраль системы заземлена через дугогасящие реакторы или изолирована, то опасность такого повреждения проявится лишь при замыкании на землю в другой точке. В этом случае возникает двухфазное короткое замыкание (двойное замыкание на землю).

При витковых замыканиях в одной фазе двигателей переменного тока происходит местный перегрев изоляции из-за увеличения тока в замкнувшихся накоротко витках и ее разрушение. Кроме того, дополнительные разрушения вызываются и электрической дугой между замкнувшимися витками. Эти же явления имеют место при витковом замыкании в якоре двигателей постоянного тока.

Обрывы в цепи возбуждения синхронных двигателей сопровождаются значительным увеличением тока статора и переходом в асинхронный режим. Однако такие обрывы чрезвычайно редки и защита от такого повреждения устанавливается только для мощных электродвигателей.

Обрывы в цепи полюсов электродвигателей постоянного тока с параллельным или независимым возбуждением приводят в режиме холостого хода к разному, при котором частота вращения якоря резко увеличивается, и он может разрушиться. Если же на валу двигателя имеется нагрузка, то он остановится. Поскольку в остановленном якоре ЭДС не наводится, то значительно возрастает ток якоря, что может привести к разрушению изоляции.

При технологических перегрузках, когда тормозной момент приводимого во вращение механизма превышает длительно допустимое значение, возрастает потребляемый двигателем из сети ток и его термическое действие может разрушить изоляцию.

Такое же явление имеет место при *понижении напряжения* для синхронных, асинхронных двигателей переменного тока и для двигателей постоянного тока (кроме двигателей с последовательным возбуждением). Снижение напряжения уменьшает момент вращения на валу, при этом синхронный двигатель может перейти в асинхронный режим, а для асинхронного двигателя возможно «опрокидывание», т.е. остановка. Возрастающий при этом ток вызывает перегрев двигателей.

При коротком замыкании в цепи, питающей группу электродвигателей, напряжение снижается особенно сильно и двигатели останавливаются. После автоматического отключения поврежденного элемента напряжение восстанавливается и все двигатели переходят в режим самозапуска. В этом режиме электродвигатель потребляет ток, в несколько раз превышающий номинальное значение. При нормальном напряжении этот режим не опасен из-за своей кратковременности. Однако, если в режиме самозапуска всех двигателей суммарный ток будет слишком велик, то из-за увеличенного падения напряжения в сети уровень напряжения окажется значительно ниже номинального, что затягивает и затрудняет процесс самозапуска двигателей и может привести к их перегреву.

Во избежание такой ситуации менее ответственные двигатели, а также двигатели, для которых самозапуск недопустим по технологическим причинам, при снижении напряжения следует отключать.

Обрыв фазы чаще всего имеет место при перегорании предохранителя в одной фазе. При этом уменьшается вращающий момент на валу и увеличивается ток статора. Защита от этого режима осуществляется, как правило, защитой от перегрузки.

Релейная защита электродвигателей напряжением 1000 В должна правильно реагировать на внутренние повреждения электродвигателя и на опасные для него ненормальные режимы. Необходимо, чтобы электродвигатели не отключались защитой при ненормальных режимах, не грозящих повреждением электродвигателя или приводимого им механизма, и не опасных для питающей сети.

Защиту электродвигателей необходимо выполнять возможно более простой, что повышает ее надежность. Требование надежности для защиты электродвигателей напряжением выше 1000 В особенно важно, так как отказ основной защиты даже при надежном действии защиты, установленной на следующем участке, обычно приводит к серьезным разрушениям, требующим длительного ремонта или полной замены электродвигателя. Поэтому следующим основным требованием к защите от многофазных коротких замыканий (к.з.) в электродвигателе является быстрота действия, вследствие чего данная защита выполняется без выдержки времени.

Чувствительность этой защиты принято оценивать коэффициентом чувствительности $k_{\text{ч}}$ из отношения:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з.мин}}}{I_{\text{с.з.}}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{к.з.мин}}$ – ток двухфазного к. з. на выводах обмотки статора в минимальном режиме питающей сети; $I_{\text{с.з.}}$ – первичный ток срабатывания защиты.

Чувствительность защиты электродвигателя от многофазных к.з. считается достаточной при условии, если коэффициент чувствительности находится в пределах:

$$k_{\text{ч}} \geq 2. \quad (2)$$

Защиту от однофазных замыканий на землю по приведенным ранее соображениям целесообразно устанавливать только в том случае, если значение тока замыкания на землю в сети, питающей электродвигатель, превышает 5 А. В небольших сетях, например, в сетях собственных нужд электростанций, а также и в протяженных сетях, где емкостные токи при однофазных замыканиях на землю достаточно точно скомпенсированы токами дугогасящих реакторов, значение остаточного тока не превышает 5 А.

С целью упрощения на электродвигателях мощностью 2000 кВт и менее ПУЭ обязывают устанавливать защиту от замыкания на землю, если ток замыкания на землю достигает 10 А и более. Ток срабатывания этой защиты для электродвигателей до 2000 кВт включительно должен быть около 10 А.

Допускается иметь первичные токи срабатывания и меньшей величины, если это не вызывает усложнения защиты.

Требование быстродействия не является решающим для данной защиты, поскольку токи однофазного замыкания на землю малы. Поэтому допустимо вводить в защиту выдержку времени 1–2 с, если без этого нельзя получить необходимую чувствительность защиты.

Двойные замыкания на землю, сопровождающиеся прохождением больших токов, опасны, как и многофазные к.з., и должны отключаться защитой без выдержки времени, если одно из мест повреждения находится в электродвигателе. Защита электродвигателя от многофазных к.з. при этом может обеспечить работу без выдержки времени только в тех случаях, когда чувствительность ее достаточна и замыкание на землю в электродвигателе произошло на одной из тех фаз, на которых установлены трансформаторы тока защиты (обычно фазы А и С).

Поэтому целесообразно возложить функции отключения электродвигателя при двойных замыканиях на землю на защиту электродвигателя от однофазных замыканий на землю, которая при двойных замыканиях на землю, связанных с электродвигателем, будет действовать с достаточно высокой чувствительностью.

В тех случаях, когда защита от однофазных замыканий на землю имеет выдержку времени, для защиты от двойных замыканий на землю необходимо установить дополнительно реле тока, имеющее ток срабатывания около 50–100 А, действующее без дополнительной выдержки времени.

Если защита от однофазных замыканий на землю при малых токах замыкания на землю не установлена, то защита от многофазных к.з. электродвигателей мощностью 2000 кВт и более, в качестве которой используется отсечка (а при установке дифференциальной защиты независимо от мощности двигателя) для надежного действия при двойных замыканиях на землю в разных точках, в соответствии с ПУЭ должна иметь.

Правилами устройства электроустановок не предусматривается установка защиты электродвигателей напряжением выше 1000 В от витковых замыканий в одной фазе обмотки статора, так как в настоящее время нет простых способов выполнения такой защиты. Этот вид повреждения обычно сопровождается замыканием на землю или переходит в многофазное к.з., после чего действует защита от однофазных замыканий на землю или защита от многофазных к.з.

Правилами устройства электроустановок не предусматриваются также защиты от повреждений в цепях возбуждения. Однако для крупных синхронных электродвигателей необходима защита от обрыва цепи возбуждения. Применение ее нужно считать особо полезным в связи с тем, что при выходе электродвигателя из синхронизма, вызванном обрывом цепи возбуждения, защита от асинхронного режима, выполненная по любой схеме, обычно отказывает.

Появление замыканий на землю в цепях возбуждения синхронных электродвигателей должно предотвращаться периодическими проверками состояния изоляции цепей возбуждения.

Основным видом ненормального режима для электродвигателей является перегрузка током. Поэтому на электродвигателях, подверженных перегрузкам, должна устанавливаться токовая защита, которая с выдержкой времени при длительной перегрузке будет действовать на сигнал или на отключение электродвигателя. Если позволяют условия, целесообразно осуществлять действие этой защиты на разгрузку приводимого механизма.

Ненормальным режимом для электродвигателя является также исчезновение или длительное снижение напряжения. В тех случаях, когда самозапуск электродвигателя не обязателен, то по технологическим соображениям, по условиям безопасности персонала или для ограничения суммарного тока самозапуска бывает целесообразна установка минимальной защиты напряжения, отключающей электродвигатель при исчезновении или снижении напряжения.

Синхронные электродвигатели напряжением выше 1000 В при значительных длительных (более 0,5 с) снижениях напряжения или перегрузках могут выйти из син-

хронизма. Синхронные электродвигатели не рассчитаны на длительный асинхронный режим и должны иметь защиту от него, действующую на восстановление нормального синхронного режима или на отключение.

Одним из перспективных решений защиты высоковольтных электродвигателей является температурная защита, приведенная в [3, 4]. Более подробно рассмотрим устройство температурной защиты, приведенное в [3]. Указанное устройство относится к области релейной защиты, а более конкретно к системе защиты, реагирующей на отклонения от нормальной температуры, и может быть использовано для защиты электродвигателей от перегрузки.

На рисунке 1 представлена структурная схема устройства; на рисунке 2 – пусковой орган устройства; на рисунке 3 – диаграмма нагрева электродвигателя.

Устройство содержит датчик 1 (рис. 1) нагрева обмоток, выход которого подключен к входу пускового органа 2 и первого блока 3 дифференцирования, выход которого подключен к входу второго блока 4 дифференцирования. Выход пускового органа 2 соединен с вторыми входами первого, второго, третьего блоков 5–7 стробирования, выход третьего блока 7 стробирования подключен к первым входам первого и второго блоков 8 и 9 деления, к входу второго блока 9 деления подключен выход квадратичного преобразователя 10. Выход первого блока 8 деления через последовательно соединенные пропорциональный преобразователь 11 и функциональный преобразователь 12 соединен с первым входом блока 13 умножения, второй вход которого соединен с выходом второго блока 9 деления и входом инвертора 14, выходы блока 13 умножения и инвертора 14 подключены соответственно к второму и третьему входам сумматора 15, к первому входу которого подключен выход первого блока 5 стробирования. Выход сумматора 15 соединен с первым входом элемента 16 сравнения, к второму входу которого подключен задатчик 17 максимально допустимого нагрева.

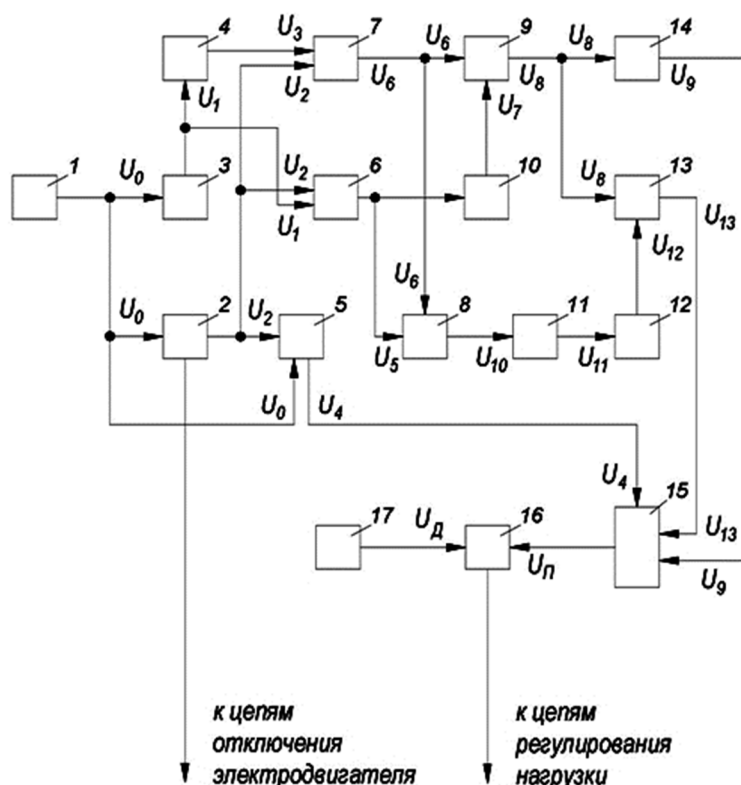


Рисунок 1 – Структурная схема устройства температурной защиты электродвигателя

Пусковой орган 2 (рис. 2) включает в себя два термореле 18 и 19 с разными уставками срабатывания.

Термореле 18 реагирует на превышение максимально допустимой температуры нагрева обмотки электродвигателя, а термореле 19 реагирует на температуру, меньшую максимально допустимой. Блоки 5–7 стробирования выполняются на базе элек-

тронных ключей. Функциональный преобразователь 12 известных устройств предназначен для получения сигнала в экспоненциальной форме.

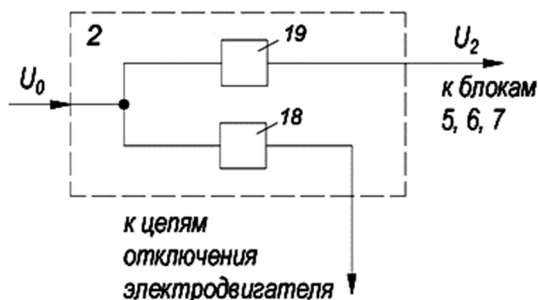


Рисунок 2 – Структурная схема пускового органа устройства

Устройство работает следующим образом.

С выхода датчика 1 нагрева обмотки электродвигателя (рис. 1) сигнал U_0 , пропорциональный температуре нагрева обмотки электродвигателя, поступает в пусковой орган 2, первый блок 3 дифференцирования и первый блок 5 стробирования. В блоке 3 сигнал U_0 дифференцируется, на выходе блока 3 появляется сигнал $U_1 = U'_0$, который затем разветвляется во второй блок 4 дифференцирования и на первый вход второго блока 6 стробирования. Пусковой орган 2 (рис. 2) функционирует в зависимости от величины сигнала U_0 .

В случае, когда $U_0 > U_d$ (U_d – сигнал, пропорциональный максимально допустимой температуре нагрева обмотки электродвигателя), срабатывает термореле 18, подающее команду на отключение электродвигателя от сети.

В случае, когда $U_{ном} < U_0 < U_d$ ($U_{ном}$ – сигнал, пропорциональный номинальной температуре нагрева обмотки электродвигателя), срабатывает термореле 18, подающее команду на отключение электродвигателя от сети.

В случае, когда $U_{ном} < U_0 < U_d$ ($U_{ном}$ – сигнал, пропорциональный номинальной температуре нагрева обмотки электродвигателя), срабатывает термореле 19 (рис. 2). Этому режиму соответствует момент времени T_0 (рис. 3). Выход термореле 19 связан с вторыми входами блоков 5–7 стробирования. При его срабатывании на указанные входы блоков 5–7 поступает управляющий сигнал U_2 , который запускает их. Кроме того, на первый вход третьего блока стробирования поступает сигнал $U_3 = U''_0$.

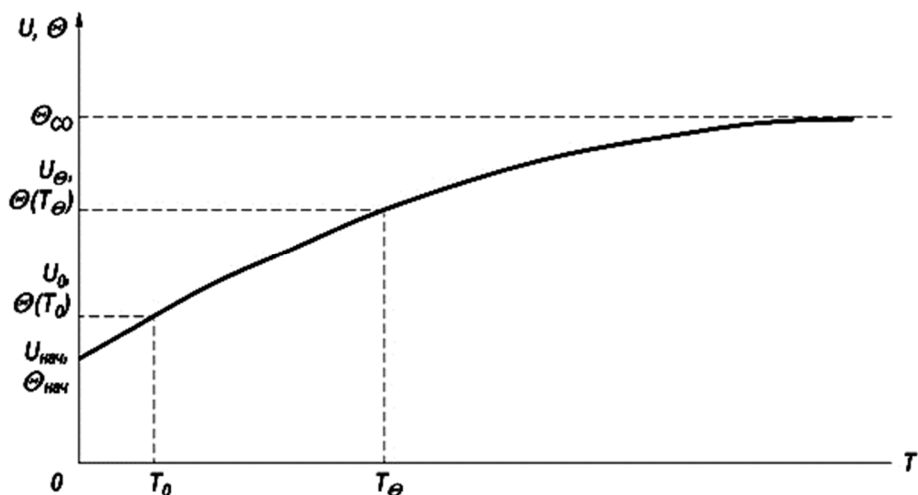


Рисунок 3 – Диаграмма нагрева электродвигателя

Стробирование сигналов U_0 , U_1 и U_3 происходит в момент времени T_0 . В результате стробирования на выходе блока 5 появляется сигнал $U_4 = U_0(T_0)$, на выходе блока 6 появляется сигнал $U_5 = U'_0(T_0)$, на выходе блока 7 появляется сигнал $U_6 = U''_0(T_0)$. Сигнал U_5 в квадратичном преобразователе умножается сам на себя. В результате этого на выходе квадратичного преобразователя 10 формируется сигнал $U_7 = [U'_0(T_0)]^2$. Во втором делителе 9 сигнал U_7 делится на сигнал U_6 , в результате чего

на выходе делителя 9 появляется сигнал $U_8 = [U'_0(T_0)]^2/[U''_0(T_0)]$. В первом делителе 8 сигнал U_6 делится на сигнал U_5 , в конечном итоге получается сигнал $U_{10} = [U''_0(T_0)]/[U'_0(T_0)]$, который затем умножается в K – раз в пропорциональном преобразователе 11. Здесь K – постоянная величина, зависящая от настройки устройства. С выхода пропорционального преобразователя 11 сигнал $U_{11} = KU_{10}$ поступает в функциональный преобразователь 12, где он приводится в экспоненциальной форме и приобретает вид $U_{12} = \exp [KU_{10}]$. Сигналы U_8 и U_{12} перемножаются в блоке 13, на выходе которого формируется сигнал:

$$U_{13} = \frac{[U'_0(T_0)]^2}{U''_0(T_0)} \cdot \exp \left[K \cdot \frac{U''_0(T_0)}{U'_0(T_0)} \right]. \quad (3)$$

Кроме того, сигнал U_8 при прохождении через инвертор 14 заменяет знак, т.е. сигнал на выходе инвертора $U_9 = -U_8$. Сигналы U_4 , U_9 , U_{13} складываются между собой в сумматоре 15. Результирующий сигнал сравнивается в элементе 16 с сигналом U_d , задаваемом в задатчике 17 максимально допустимого нагрева. В случае выполнения условия $U_n > U_d$ на выходе элемента 16 сравнения появляется сигнал $U_{ц}$, управляющий цепями регулирования нагрузки. При этом происходит разгрузка электродвигателя. В случае $U_n \leq U_d$ разгрузка электродвигателя не происходит. Формирование сигнала U_n позволяет прогнозировать температуру нагрева обмотки электродвигателя, которая может наступить в результате его перегрузки, что позволяет принять необходимые меры по облегчению режима работы электродвигателя заранее, не дожидаясь наступления перегрева последнего. В случае, когда сброс нагрузки не ограничивает нагрев электродвигателя, после превышения максимально допустимой температуры обмотки электродвигателя, срабатывает термореле 18, с выхода которого к цепям подключения электродвигателя поступает сигнал на отключение последнего от сети.

$$U_n = U'_0(T_0) - \frac{[U'_0(T_0)]^2}{U''_0(T_0)} + \frac{[U'_0(T_0)]^2}{U''_0(T_0)} \cdot \exp \left[K \cdot \frac{U''_0(T_0)}{U'_0(T_0)} \right]. \quad (4)$$

Данное устройство позволяет осуществить возможность прогнозирования температуры нагрева обмотки электродвигателя от перегрузки, основанная на учете температуры нагрева непосредственно. Это позволяет существенно повысить надежность и точность защиты электродвигателя, что является техническим преимуществом предлагаемого устройства по сравнению с известными решениями.

Кроме того, улучшается режим работы технологического оборудования, приводимого электродвигателем, и увеличивается срок службы изоляции электродвигателя, а значит, и самого электродвигателя в целом.

Работу данного устройства моделирует следующая модель, приведенная на рисунке 4.

Сигнал $U_0(t)$ от датчика температуры поступает на первый, а затем второй блоки дифференцирования. Кроме того, сигнал с выхода первого блока дифференцирования поступает на два входа первого блока перемножения, где умножением на самого себя возводится в квадрат. Далее с выхода первого блока перемножения сигнал поступает на первый вход первого блока деления, а на второй вход этого блока поступает сигнал с выхода второго блока дифференцирования. На выходе первого блока деления получим вторую составляющую сигнала кривой нагрева обмоток электродвигателя. Эта составляющая поступает на первый вход сумматора со знаком минус. На третий вход этого сумматора со знаком плюс поступает сигнал непосредственно от датчика температуры.

Для получения третьей составляющей температурной кривой найдем аргумент экспоненты. Для этого на первый вход второго блока деления подадим сигнал с выхода второго блока дифференцирования, а на второй вход – сигнал с выхода первого блока дифференцирования. На третий вход второго блока деления подадим сигнал величиной K от источника постоянного сигнала. При этом во втором блоке деления зададим деление сигнала, поступающего на первый вход, на сигнал, поступающий на второй вход. И частное от деления умножим на коэффициент K . Получим аргумент экспоненты, который подадим на вход блока вычисления экспоненты.

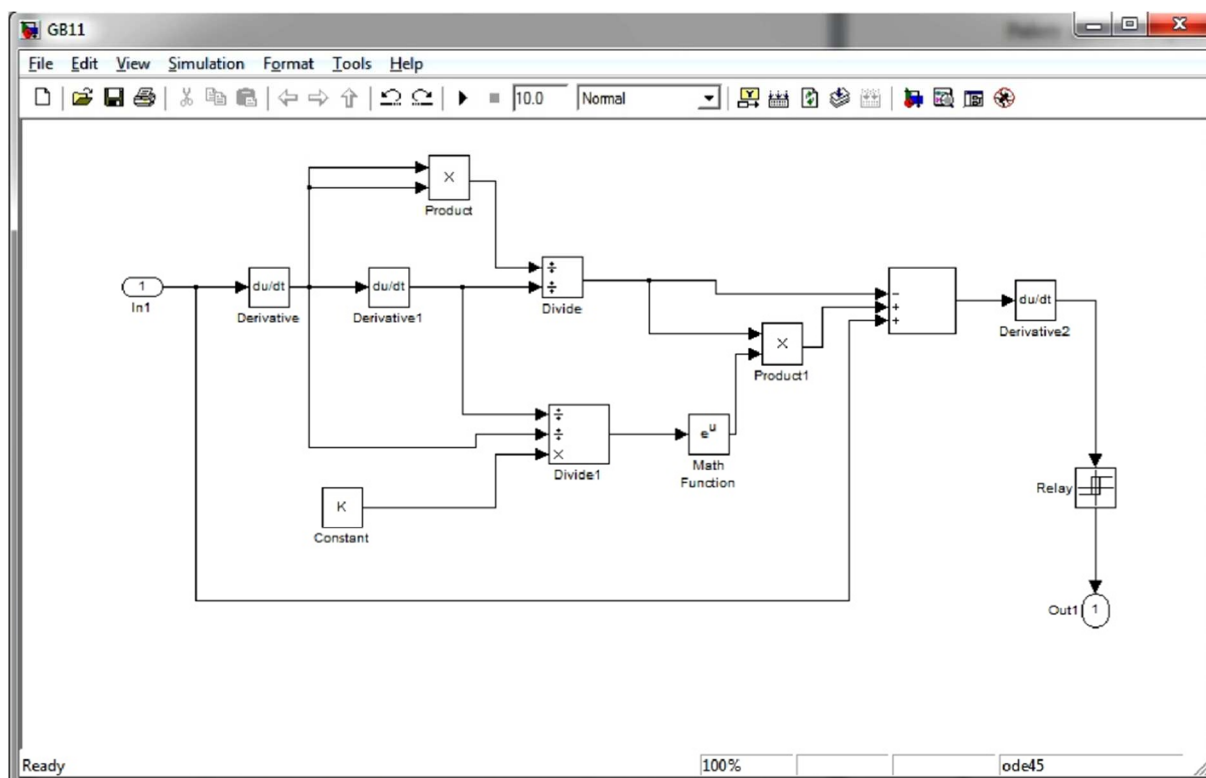


Рисунок 4 – Модель температурной защиты синхронного двигателя

С выхода блока вычисления экспоненты сигнал подадим на второй вход второго блока перемножения, при этом на первый вход этого блока подадим сигнал с выхода первого блока деления. В результате на выходе второго блока перемножения будет сформирована третья составляющая температурной кривой. Ее сигнал со знаком плюс подадим на второй вход сумматора.

После выполнения действий в сумматоре на его выходе будет сформирован сигнал температурной кривой $U(t)$. Этот сигнал подается на вход третьего блока дифференцирования. С выхода этого блока сигнал подается на релейный элемент. Если сигнал превысит некоторое установленное значение, то релейный элемент сработает и подаст сигнал на включение устройства частичной разгрузки синхронного электродвигателя.

Таким образом, полученная модель температурной защиты синхронного электродвигателя позволяет моделировать динамические процессы в системе электропитания при наличии в узле нагрузки высоковольтных синхронных двигателей, оснащенных современной температурной защитой обмоток.

Для дальнейшего использования данной модели с целью анализа систем электропитания было произведено ее маскирование и размещение в пользовательской библиотеке Simulink-5.

Литература

1. Корогодский В.И., Кужеков С.Л., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.
2. Фигурнов Е.П. Релейная защита // Учебник для вузов ж.-д. трансп. – М. : Желдориздат, 2002. – 720 с.
3. А.С. 1372449 СССР Н 02 Н 5/04. Устройство для температурной защиты электродвигателя / Б.А. Коробейников, А.И. Ищенко, Е.А. Беседин, А.М. Смаглиев и Е.И. Гарькуша. – № 4108511/24-07. – Заявл. 17.06.86. – Оpubл. 07.02.88. – Бюл. № 5.
4. А.С. 1474783 СССР Н 02 Н 5/04. Устройство для температурной защиты электродвигателя / Б.А. Коробейников, С.В. Щербин, А.И. Ищенко, Е.А. Беседин и А.М. Смаглиев. – № 4286650/24-07. – Заявл. 20.07.87. – Оpubл. 23.04.89. – Бюл. № 15.
5. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М. : ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.

References

1. Korogodsky V.I., Kuzhekov S.L., Paperno L.B. Relay protection of electric motors with a voltage higher than 1 kV. – M. : Energoatomiz-DAT, 1987. – 248 p.
2. Figurnov E.P. Relay protection. Textbook for universities W.– Di. transposition. – M. : Jeldorado, 2002. – 720 p.
3. A.S. 1372449 USSR N 02 H 5/04. Device for temperature protection of the electric motor / B.A. Korobeynikov, A.I. Ishchenko, E.A. Besedin, A.M. Smagliev And E.I. Garkusha. – № 4108511/24-07. – Declared. 17.06.86. – Publ. 07.02.88. – Bull № 5.
4. A.S. 1474783 USSR N 02 H 5/04. Device for temperature protection of the electric motor / B.A. Korobeynikov, S.V. Shcherbin, A.I. Ishchenko, E.A. Besedin and A.M. Smagliev. – № 4286650/24-07. – Declared. 20.07.87. – Publ. 23.04.89. – Bull № 15.
5. Diakonov V. P. Simulink 5/6/7: Self-help Guide. – M. : DMK-Press, 2008. – 784 p.

УДК 66.094.3.661.721.727.1

МАССОПЕРЕДАЧА МЕЖДУ ФАЗАМИ В ПРОЦЕССЕ АБСОРБЦИИ



MASS TRANSFER BETWEEN PHASES IN THE ABSORPTION PROCESS

Гасанов Алекбер Агасаф оглы

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Нефтехимическая технология
и промышленная экология»,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
alakbar48-48@mail.ru

Аннотация. Изучены массопередача между фазами. Определены скорости массопередачи для ламинарного пограничного слоя. При известной профили скорости жидкости предложена формула для вычисления скорости массопередачи. Предложены уравнения для определения концентрации на межфазовой поверхности, коэффициента массопередачи в газовой фазе. Для всех видов диффузии предложены формулы определения коэффициентов массопередачи в фазах.

Ключевые слова: скорость, массопередача, коэффициент, диффузия, фаза, уравнение.

Hasanov Alakper Agasef oglu

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Head of the Department
«Petrochemical Technology and
Industrial Ecology»,
Azerbaijan State Oil and Industry University
alakbar48-48@mail.ru

Annotation. Mass transfer between phases has been studied. The rates of mass transfer for the laminar boundary layer are determined. With the known profiles of the fluid velocity, a formula is proposed for calculating the mass transfer rate. Equations are proposed for determining the concentration at the interface, the mass transfer coefficient in the gas phase. For all diffusion, formulas for determining the coefficients of mass transfer in phases are proposed.

Keywords: speed, mass transfer, coefficient, diffusion, phase, equation.

При переносе вещества из одной фазы в другую через межфазовую поверхность сопротивление в массопередаче в каждой из фаз, как видно из рисунке 1 вызывает градиент концентрации [1].

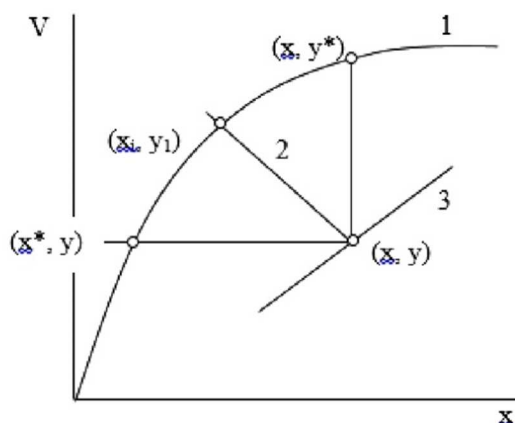


Рисунок 1 – Локальные равновесные концентрации для точки в противоточной колонне:
1 – кривая равновесия $y^* = F(x)$; 2 – наклон $(-k_{ж}/k_{г})$; 3 – рабочая линия

Скорость массопередачи изменяется по времени и может быть выражена для ламинарного пограничного слоя, с помощью уравнения (1).

$$K_{ж} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{D}{\tau}}, \quad (1)$$

где $K_{ж}$ – коэффициент массопередачи в жидкой фазе, моль/сек·см²·моль/см³;
 D – коэффициент диффузии, см²/сек; τ – время контакта фаз, сек.

В ламинарном потоке жидкости между соседними слоями происходит только за счет молекулярной диффузии. Если профиль скорости жидкости известен, то для не-

которых случаев возможно вычислить скорость массопередачи в потоке жидкости с помощью основных уравнений молекулярной диффузии [2].

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 C}{\partial l^2},$$

где l – линейный размер.

Концентрации диффундирующего вещества в области, непосредственно прилегающей к поверхности раздела фаз, не равны, но обычно предполагают, что их соотношение определяется законом термодинамического равновесия.

Скорость массопередачи можно также выразить через уравнение (2), где скорость пропорциональна разности концентраций в ядре потока и на поверхности раздела фаз [3].

$$K_{\text{ж}} = \sqrt{DS_{\text{обн}}}, \quad (2)$$

где $S_{\text{обн}}$ – относительная скорость обновления поверхности.

Это уравнение довольно хорошо согласуется с данными абсорбции газов, полученными при падающей ламинарной струи жидкости и для жидкостных пленок, в стекающих коротких пленочных колоннах. В последнем случае коэффициент, вычисленный по уравнению (1), оказывается на 15 % выше экспериментального. Уравнение (1), применимо только в том случае, если диффундирующие молекулы проникают не на всю толщину слоя жидкости. Следовательно, необходимо ограничиваться коротким временем контакта фаз [3].

Таким образом, получаем:

$$N_a = k_{\text{ж}}(x - x_i) = k_{\text{г}}(y_i - y), \quad (3)$$

где N_a – скорость массопередачи, кмоль/ч·м²; $k_{\text{г}}$ – коэффициент массопередачи в газовой фазе, кмоль/ч·м²·кмоль/кмоль; x – мольная концентрация в массе жидкости; x_i – мольная концентрация в жидкости на межфазовой поверхности; y – мольная концентрация в массе газа; y_i – мольная концентрация в газе межфазовой поверхности.

Это уравнение может быть использовано для определения концентраций на межфазовой поверхности, соответствующих любым значениям x и y , при условии, что известно отношение коэффициентов [4]. Таким образом,

$$\frac{y_i - y}{x - x_{i\text{а}}} = \frac{k_{\text{ж}}}{k_{\text{г}}} = \frac{LH_{\text{г}}}{GH_{\text{ж}}}, \quad (4)$$

где L и G – молярная массовая скорость жидкости и газа, кмоль/ч·м²; $H_{\text{ж}}$ и $H_{\text{г}}$ высота единицы переноса, отнесенная к сопротивлению в жидкой и в газовой фазе, м.

Уравнения (4) можно решить графически, построив график для равновесного состава газа и жидкости и нанеся на него точку, соответствующую концентрации в массе x и y (рис. 2).

При расчете аппаратуры необходимо определить скорость массопередачи по известным или рассчитанным величинам коэффициента массотдачи и концентрации в массе [5].

Если зависимость $y_i = F(x_i)$ достаточна проста, т.е. представляет собой прямую линию, то скорость массопередачи пропорциональна разности между рабочей концентрацией в данной фазе и такой концентрацией в той же фазе, которая будет находиться в равновесии с содержанием этого компонента в другой фазе. Для газовой фазы эта разность равняется $y^* - y$, а для жидкой $x - x^*$. В этом случае нет необходимости определять состав фаз на поверхности раздела. Это положение подтверждается следующей зависимостью [6].

$$N_a = k_{\text{г}}(y_i - y) = k_{\text{ж}}(x - x_i) = k_{\text{г}}(y^* - y), \quad (5)$$

где $k_{\text{г}}$ – общий коэффициент массопередачи в газовой фазе; y^* – состав газовой фазы равновесный с x в соответствии с уравнение (4) [7].

$$\frac{1}{K_{\Gamma}} = \frac{1}{K_{\Gamma}} \frac{(y^* - y)}{(y_i - y)} = \frac{1}{K_{\Gamma}} + \frac{1}{K_{\Gamma}} \frac{(y^* - y_i)}{(y_i - y)} = \frac{1}{K_{\Gamma}} + \frac{1}{K_{\Gamma}} \left(\frac{y^* - y_i}{x - x_i} \right). \quad (6)$$

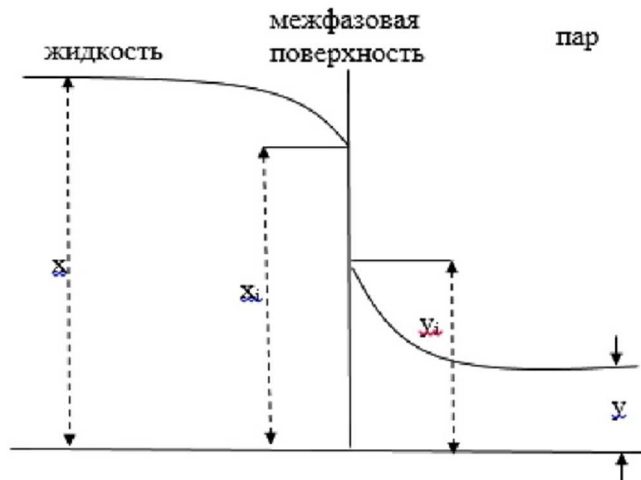


Рисунок 2 – Распределение концентраций вблизи межфазовой поверхности

Если, равновесная зависимость прямолинейна, то выражение в скобках представляет собой тангенс угла ее наклона m . Таким образом,

$$\frac{1}{K_{\Gamma}} = \frac{1}{K_{\Gamma}} + \frac{m}{K_{\Gamma}}. \quad (7)$$

Если размерность движущей силы, по которой установлен K_{Γ} , выразить через концентрацию в жидкой фазе в киломолях растворенного вещества на кубический метр, а размерность движущей силы для K_{Γ} – через парциальное давления в атмосферах, то уравнения (7) примет вид [8]:

$$\frac{1}{K_{\Gamma}} = \frac{1}{K_{\Gamma}} + \frac{1}{m_c K_{\Gamma}}, \quad (8)$$

где m_c – модифицированная константа Генри кмоль/м³.

Когда равновесная зависимость непрямолинейная, то нет логических оснований для использования коэффициента массопередачи. В таком случае для определения скорости массопередачи необходимо рассчитывать концентрации на межфазовой поверхности.

Экспериментально определенная скорость массопередачи в массообменных аппаратах выражается в виде массопередачи даже в тех случаях, когда равновесная зависимость криволинейна. Метод следует считать чисто эмпирическим, так как теоретические соображения указывают, что в этих условиях скорость массопередачи не может изменяться прямо пропорционально общей разности концентраций $(y^* - y_i)$ и $(x - x^*)$ на всех концентрационных уровнях, хотя в каждой взятой определенной фазе скорости могут быть пропорциональны разности концентраций $(x - x_i)$ и $(y_i - y)$ [9].

В большинстве типов массообменных аппаратов (насадочных или распылительных) истинную поверхность массопередачи определить невозможно. По этой причине, выражая экспериментально найденную скорость массообмена через коэффициент массопередачи, обычно удобнее относить его к единице объема аппарата, чем к единице межфазовой поверхности [10]. Такой объемный коэффициент обозначается $K_{\Gamma a}$, $K_{\Gamma ж a}$ и т.п. (где a – межфазовая поверхность к единице объема аппарата). Экспериментально определяемые изменения объемных коэффициентов обуславливается не только изменением скорости потока, типа насадки и т.п., но и возможными значительными колебаниями величины, а также как и значений K .

Коэффициенты массопередачи может быть рассчитаны по уравнениям:

$$\frac{1}{K_{\Gamma a}} = \frac{1}{K_{\Gamma a}} + \frac{m}{K_{\Gamma a}}, \quad (9)$$

$$\frac{1}{\kappa_{га}} = \frac{1}{\kappa_{га}} + \frac{1}{m_c \kappa_{жа}}, \quad (10)$$

$$\frac{1}{\kappa_{жа}} = \frac{1}{\kappa_{жа}} + \frac{1}{m \kappa_{га}}, \quad (11)$$

$$\frac{1}{\kappa_{жа}} = \frac{1}{\kappa_{жа}} + \frac{m_c}{\kappa_{га}}. \quad (12)$$

Изменение величины m при переходе от одной системы к другой обусловленное широкими пределами растворимости газов в жидкостях, оказывает существенное влияние на выбор типа массообменной аппаратуры [11].

Выводы: Предложены формулы для расчета скорости массопередачи со временем для ламинарного пограничного слоя, от концентраций в ядре потока и на поверхности раздела фаз.

Предложено уравнение для расчета скорости массопередачи при проникновении диффундирующих молекул не на всю толщину слоя жидкости.

Предложены формулы для определения концентраций на межфазовой поверхности, при условии, что известно отношение коэффициентов массопередачи.

Для всех случаев диффузии предложены формулы определения коэффициентов массопередачи в фазах.

Литература

1. Haich, Pigford, Ind. Eng. Chem, FundQuart., 1, 1962. – P. 209.
2. Altunbas A., Ktlbaliyev G., Ceylan K. Eddy diffusivity of particles in turbulent flow in rough cannels // J. Aerosol Sci., 2002. – Vol. 33. – № 7. – P. 1075–1086.
3. Emulsification in turbulent flow / N. Vannova [et al.] // Journal of Colloid and Interface Science, 2007. – Vol. 312. – № 2. – P. 363–374.
4. Prince M., Blanch H., Bubble coalescence and break-up in air-spaced columns // AIChL J. – 1990. – Vol. 36. – P. 1485–1492.
5. Бронштейн Б.Я., Щеголев В.В. Гидродинамика, массо- и теплообмен в колонных аппаратах. – Л. : Химия, 1988. – 336 с.
6. Drop break up in turbulent flow downstream of a restriction / S. Galinat [et al.] // Chem. Eng. Sci., 2005. – Vol. 60. – № 23. – P. 6511–6532.
7. Liao Y. Lucas D.A. literature review of theoretical models for drop and bubble breakup in turbulent dispersions // Chem. Eng. Sci., 2009. – Vol. 64. – № 15. – P. 3389–3398.
8. Amuda O.S., Ibrahim A.O. // African J. Biotechnol. – 2006. – Vol. 5. – № 16. – P. 1483–1487.
9. Patel H., Vashi P.T. // Eur. J. Chem. – 2010. – Vol. 7. – № 4. – P. 1483–1487.
10. Gasanov A.A. // Eur. Appl. Sci. – 2014. – № 4. – P. 96–100.
11. Chang I.S., Clech P.I., Jfferson B., Judd S. // J. Environ. Eng. – 2002. – Vol. 128. – № 11. – P. 1018–1029.

References

1. Haich, Pigford, Ind. Eng. Chem, FundQuart., 1, 1962. – P. 209.
2. Altunbas A., Ktlbaliyev G., Ceylan K. Eddy diffusivity of particles in turbulent flow in rough cannels // J. Aerosol Sci., 2002. – Vol. 33. – № 7. – P. 1075–1086.
3. Emulsification in turbulent flow / N. Vannova [et al.] // Journal of Colloid and Interface Science, 2007. – Vol. 312. – № 2. – P. 363–374.
4. Prince M., Blanch H., Bubble coalescence and break-up in air-spaced columns // AIChL J. – 1990. – Vol. 36. – P. 1485–1492.
5. Bronstein B.Y., Shchegolev V.V. Hydrodynamics, Mass and Heat Exchange in Column Devices. – L. : Chemistry, 1988. – 336 p.
6. Drop break up in turbulent flow downstream of a restriction / S. Galinat [et al.] // Chem. Eng. Sci., 2005. – Vol. 60. – № 23. – P. 6511–6532.
7. Liao Y. Lucas D.A. literature review of theoretical models for drop and bubble breakup in turbulent dispersions // Chem. Eng. Sci., 2009. – Vol. 64. – № 15. – P. 3389–3398.
8. Amuda O.S., Ibrahim A.O. // African J. Biotechnol. – 2006. – Vol. 5. – № 16. – P. 1483–1487.
9. Patel H., Vashi P.T. // Eur. J. Chem. – 2010. – Vol. 7. – № 4. – P. 1483–1487.
10. Gasanov A.A. // Eur. Appl. Sci. – 2014. – № 4. – P. 96–100.
11. Chang I.S., Clech P.I., Jfferson B., Judd S. // J. Environ. Eng. – 2002. – Vol. 128. – № 11. – P. 1018–1029.

УДК 69.059.32

ВНЕШНЕЕ АРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ



EXTERNAL REINFORCEMENT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE COMPOSITES

Горкина Ирина Эдуардовна

студент
кафедры строительных конструкций,
Кубанский государственный
технологический университет
gorkinairina74@gmail.com

Зехов Рамазан Султангериевич

студент
кафедры строительных конструкций,
Кубанский государственный
технологический университет
roma.zehov_ne@mail.ru

Аннотация. В данной статье описаны композиционные системы для внешнего армирования железобетонных конструкций, усиление отдельных железобетонных конструкций. А также причины для усиления внешним армированием.

Ключевые слова: усиление конструкций, внешнее армирование, композиционные системы для внешнего армирования.

Gorkina Irina Eduardovna

Student,
Department of Building Structures,
Kuban State Technological University
gorkinairina74@gmail.com

Zekhov Ramazan Sultangerievich

Student,
Department of Building Structures,
Kuban State Technological University
roma.zehov_ne@mail.ru

Annotation. This article describes composite systems for external reinforcement of reinforced concrete structures, reinforcement of individual reinforced concrete structures. And also the reasons for strengthening with external reinforcement.

Keywords: reinforcement of structures, external reinforcement, composite systems for external reinforcement.

Внешнее армирование железобетонной конструкции композитными материалами – установка наклеиванием на поверхность железобетонной конструкции изделий заводского изготовления из композитных материалов (ламинатов) или послойное наклеивание термореактивными адгезивами изделий из непрерывного углеродного волокна (лент, тканей, сеток и других тканых и нетканых материалов) с последующим отверждением и образованием однослойного или многослойного полимерного композитного материала.

Система внешнего армирования из полимерных композитов – система, состоящая из клеевого слоя, образованного отвержденным термореактивным адгезивом, однослойного или многослойного композитного материала и, при необходимости, защитного слоя, обеспечивающего защиту системы от воздействий повышенных температур, механических повреждений, ультрафиолетового излучения или открытого пламени [1, с. 8].

Большое количество различных инженерных сооружений находится в эксплуатации в настоящий момент. Многие из них, а в особенности эксплуатируемые в условиях особой агрессивности внешней среды, приходят в негодное состояние уже через 15–20 лет работы. Потребность в усилении сооружений возникает во время реконструкции, в связи с нагрузками на конструкции, из-за изменения технологических процессов.

Причины для усиления внешним армированием. Усиление железобетонных конструкций внешним армированием производят в следующих случаях [2, с. 5]:

- 1) Наличие дефектов, повреждений конструкций (например, вследствие силовых, коррозионных, температурных и других воздействий), которые существенно снижают прочностные и деформационные характеристики конструкций, ухудшая эксплуатационное состояние здания или сооружения в целом;
- 2) Увеличение эксплуатационных нагрузок и воздействий на конструкции зданий и сооружений;
- 3) Реконструкции зданий и сооружений (даже без увеличения нагрузок);

4) Выявление ошибок в проекте, снижающих несущую способность и эксплуатационные качества конструкций;

5) Изменение функционального назначения зданий и сооружений.

Системы внешнего армирования. Композиционные системы для внешнего армирования определяются совокупностью материалов (холсты, сетки, ламинаты и типы волокон в них), работ конструкции (изгибаемые и сжатые) и технологий (системы материалов заводского изготовления предварительно пропитанных смолой, системы мокрого способа укладки по месту производства работ, системы, монтируемые в пазах и системы предварительного отверждения) [3, с. 132–136].

Системы предварительной пропитки (ламинаты) подвергаются пропитке непосредственно на заводе фирмы-производителя, поставляются в рулонах. Смола проходит предварительную полимеризацию. Система предварительной пропитки представлена в виде тонкого листового материала (стандартная толщина 0,15 мм), эластичного и умеренно клейкого, со съемной (отделяющейся) пленкой (силиконовой бумагой и т.п.), которую наносят на поверхности, чтобы предохранить систему от внешнего загрязнения. Ламинаты с помощью адгезивов приклеивают на заранее подготовленную поверхность усиливаемой конструкции.

Системы мокрого способа укладки (холсты) изготавливают из волокон, идущих в одном или нескольких направлениях, в форме хостов или тканей, их пропитывают смолой на месте производства работ при установке на конструкцию.

Системы предварительного отверждения, производимые методом послойного формования, имеют разнообразные формы и приклеиваются непосредственно к подлежащему усилению элементу конструкции.

Системы установки полос ламинатов или круглой арматуры из композиционных материалов в специально подготовленные щели или пазы. Этот способ позволяет усиливать изгибаемые железобетонные конструкции (плиты и балки), а также центрально и внецентренно сжатые элементы. Использование полос в пазах значительно улучшает их сцепление с бетоном по сравнению с приклеиванием к бетонной поверхности.

Усиление отдельных железобетонных конструкций внешним армированием. В железобетонных конструкциях усилению подвергают фундаменты, перекрытия, ригели, колонны, балки. Железобетонные фермы и балки при необходимости заменяются на новые [4, с. 40].

1) При усилении плит, изгибаемых в двух направлениях (продольном и поперечном) сначала необходимо приклеить элементы усиления вдоль длинной стороны плиты. Для создания элементов внешнего армирования могут использоваться ламинаты, ленты или ткани.

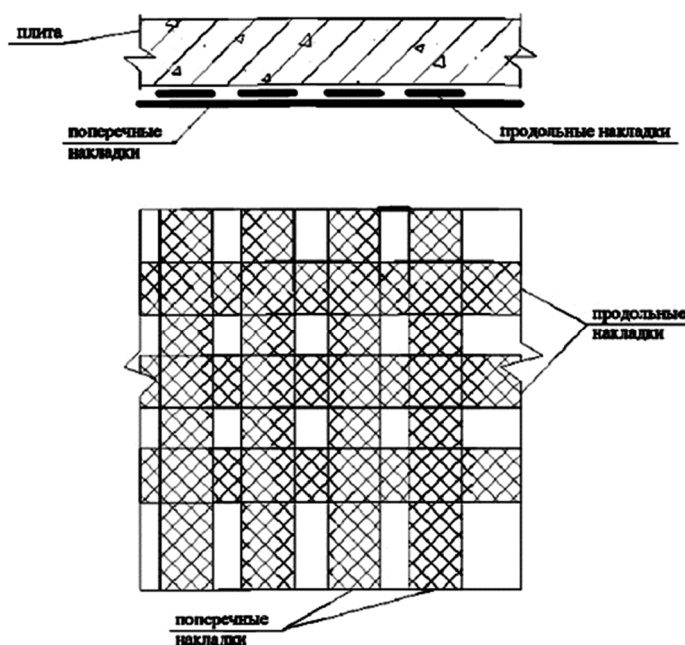


Рисунок 1 – Схема внешнего армирования плиты

2) При усилении сжатых конструкций (колонны) с помощью устройства обойм в поперечном направлении обоймы нужно устанавливать по всей высоте конструкций. Рекомендуется устраивать непрерывно по всей длине колонны (рис. 2, а) или с разрывами по высоте (рис. 2, б).

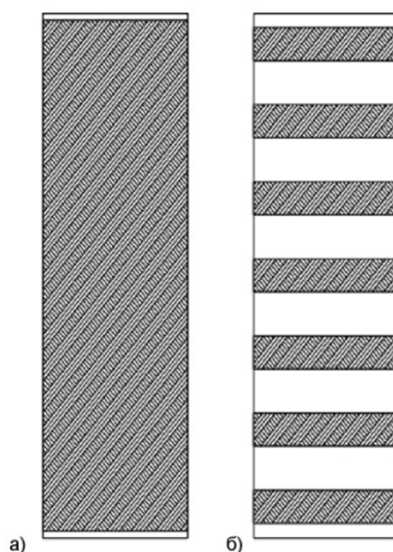


Рисунок 2 – Способы усиления колонн обоймами

При устройстве обойм и хомутов из лент, сеток или тканей в поперечном направлении и при загибе продольных лент, сеток или тканей через углы конструкции на углах следует выполнить фаски с катетом не менее 20 мм или галтель с радиусом не менее 20 мм (рис. 3) [5, с. 75–79].

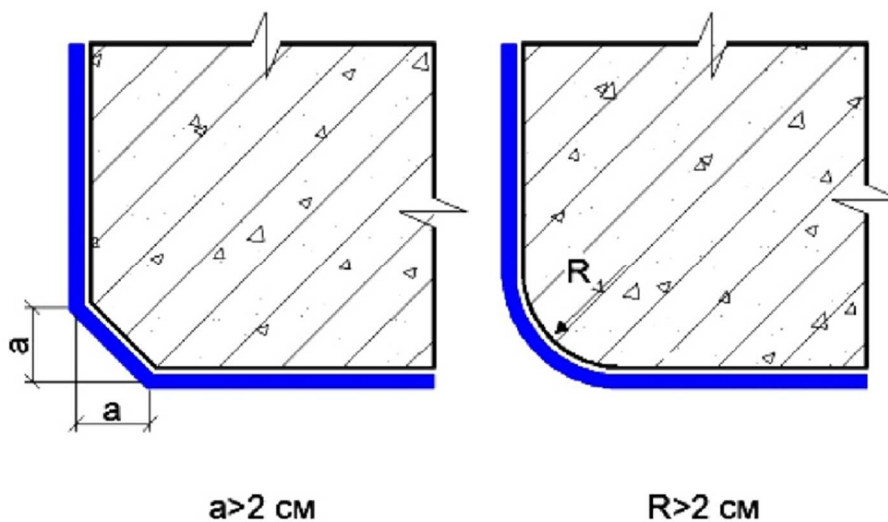


Рисунок 3 – Подготовка углов конструкции перед наклеиванием лент, сеток или тканей

Усиление внешними обоймами для прямоугольных колонн не так эффективно, как для круглых из-за концентрации напряжений, локализованных в углах конструкции, а основная толщина оболочки должна быть между углами для ограничения бокового расширения и исключения недопустимого изгиба колонны. По этой причине квадратным колоннам перед ремонтом и усилением стараются придать круглую форму поперечного сечения (рис. 4, а, б), а прямоугольным - эллипсовидную (рис. 4, в, г). Для этого колонны заключают в опалубку соответствующей формы с последующим обетонированием. Для уменьшения расхода бетона углы квадратных или прямоугольных колонн могут быть срезаны (рис. 4, б, г) [6, с. 40–45].

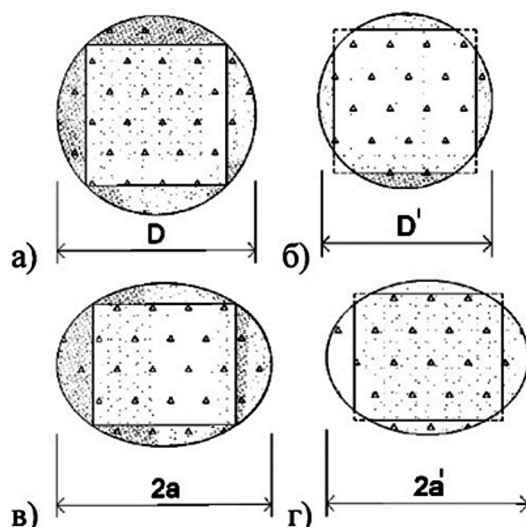


Рисунок 4 – Усиление квадратных (а, б) и прямоугольных (в, г) колонн с изменением их формы поперечного сечения соответственно на круглую и эллипсовидную

3) При усилении конструкций, которые эксплуатируются в условиях постоянной влажности (внутри помещения), разрешается наклеивание ламинатов, лент, холстов или тканей по всей поверхности основания. В этом случае обоймы колонн следует располагать не ближе 20 мм до перекрытия [7, с. 64–69].

4) Особое внимание необходимо уделить усилению и анкерровке консольных плит и балок (рис. 5), а также неразрезных конструкций, в которых растягивающие усилия на опорах действуют на верхней грани элемента (рис. 6). При этом наиболее эффективной будет конструкция усиления (рис. 6, а), где в опорной части элемента прорезается щель, куда заводится полоса композиционного материала. Схему (рис. 6, б) можно рекомендовать только в том случае, если по определённым причинам затруднено или невозможно использование других схем.

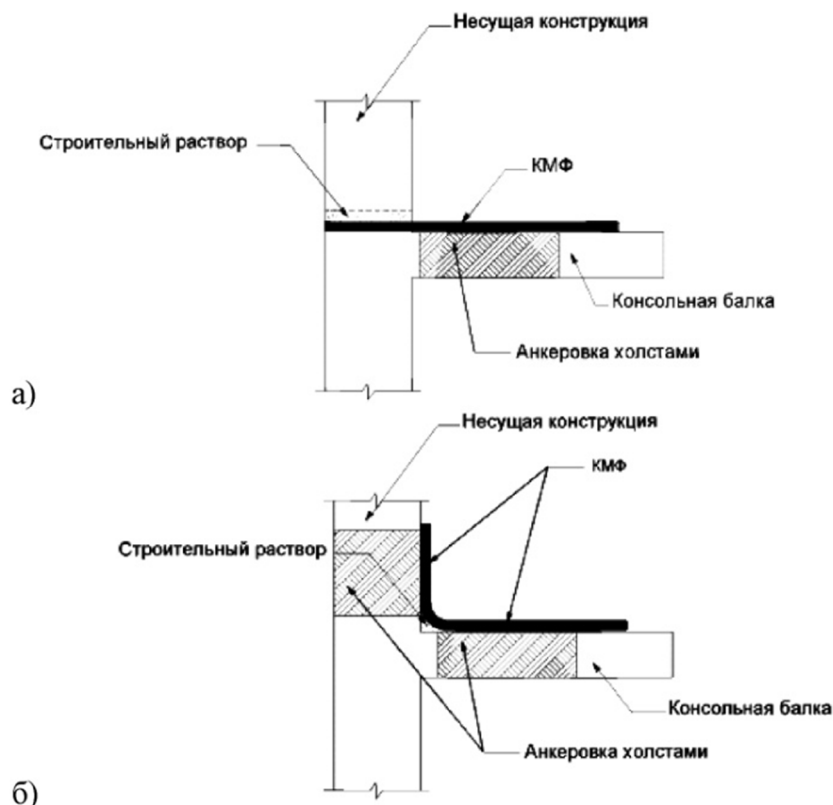


Рисунок 5 – Усиление и анкерровка консольных конструкций

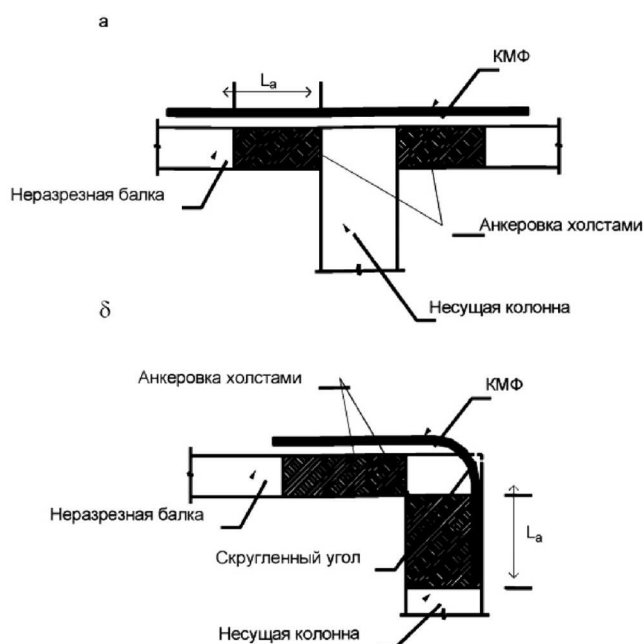


Рисунок 6 – Усиление и анкерка неразрезных балок

5) Внешнее армирование изгибаемых балочных конструкций выполняется путем приклеивания на нижнюю поверхность ребра усиливающих элементов с направлением армирующих волокон вдоль оси конструкции, а также вертикальных или наклонных хомутов в опорной зоне с направлением армирующих волокон перпендикулярно или наклонно продольной оси конструкции (рис. 7). Для создания продольных усиливающих элементов на нижней поверхности ребра возможно использование ламинатов и однонаправленных холстов, для создания хомутов – однонаправленных холстов.

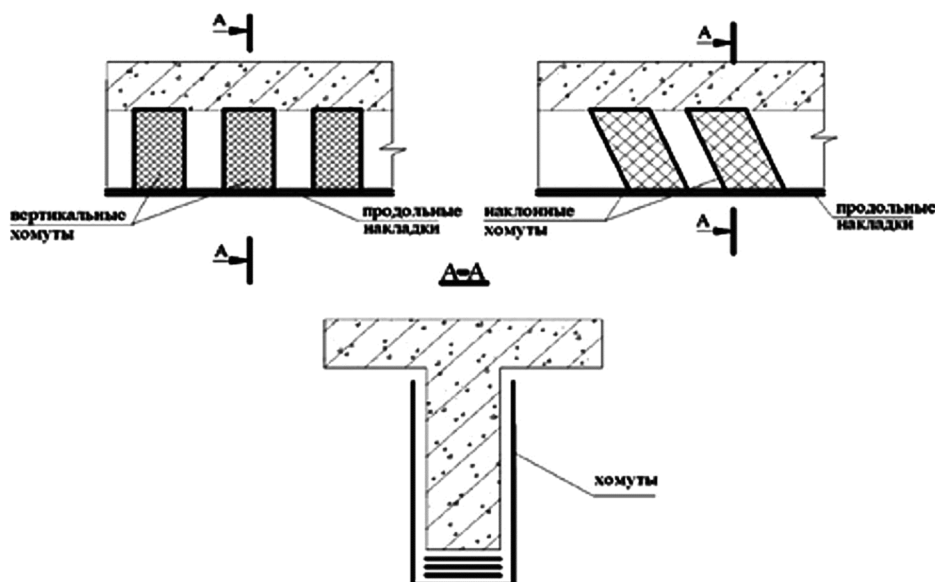


Рисунок 7 – Схема внешнего армирования балки

6) Устройство системы внешнего армирования из многослойных полимерных композитов на вертикальных и горизонтальных поверхностях (в продольном и поперечном направлениях) необходимо производить способом последовательного послойного наклеивания элементов усиления (поочередно в двух направлениях) [8, с. 287–289].

Для обеспечения долговечности железобетонных элементов, восстановленных или усиленных композиционными материалами, необходимо учесть следующее:

- 1) Планируемое использование сооружения, которое подверглось усилению;
- 2) Возможные условия воздействия внешней среды;

- 3) Состав, свойства и эксплуатационные характеристики использованных материалов;
- 4) Выбор системы усиления, ее конфигурации и строительных деталей.
- 5) Качество выполняемых работ и уровень контроля;
- 6) Конкретные меры защиты (например, противопожарная, защита от ударного воздействия);
- 7) Планируемая программа мониторинга восстановленной (усиленной) конструкции и текущего ремонта в течение всего остаточного срока службы [9, с. 16–21].

Литература

1. СТО 38276489.001-2017. Проектирование и технология производства работ. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Дата введения 2017-01-12.
2. Шилин А.А., Гранев М.В., Картузов Д.В. Пособие по усилению железобетонных конструкций с использованием композитных материалов : учебное пособие. – Минстрой РФ, 2017.
3. Леонова А.Н., Курочка М.В. Структурные дефекты в пространственно-армированных композициях и их влияние на свойства материалов // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник статей Международного научно-практического конгресса. – 2018. – С. 132–136.
4. Шилин А.А., Зайцев М.В., Пшеничный В.А. Ремонт и усиление железобетонных конструкций : методическое пособие. – Минстрой РФ, 2016.
5. Таровик В.В., Леонова А.Н. Современные способы усиления строительных конструкций углеродными композитными материалами // В сборнике: Актуальные вопросы городского строительства, архитектуры и дизайна в курортных регионах. Материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции. – 2015. – С. 75–79.
6. Калинин А.А. Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений : учебное пособие. – Изд-во АСВ, 2004. – С. 40–45.
7. Леонова А.Н., Софьяников О.Д., Кривенкова Т.В. Особенности усиления строительных конструкций композитными полимерными материалами в условиях высоких и низких температур // Перспективы науки. – 2019. – № 5 (116). – С. 64–69.
8. Дворная З.Л., Леонова А.Н. Достоинства и недостатки различных методов усиления железобетонных колонн // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 2. – С. 287–289.
9. Леонова А.Н., Бибиков Б.С. Современные методы усиления горизонтальных несущих конструкций углеволокном // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 16–21.

References

1. STO 38276489.001-2017. Design and production technology of works. Reinforcement of reinforced concrete structures by composite materials. Date of introduction 2017-01-12.
2. Shilin A.A., Granev M.V., Kartuzov D.V. Manual on strengthening of reinforced concrete structures using composite materials : Tutorial. – Ministry of Construction of the Russian Federation, 2017.
3. Leonova A.N., Kurochka M.V. Structural defects in spatially reinforced composites and their influence on the properties of materials // In the collection: Development and innovation in construction. Collection of articles of the International scientific and practical congress. – 2018. – P. 132–136.
4. Shilin AA, Zaitsev MV, Pshenichny VA Repair and strengthening of reinforced concrete structures : Manual. – Ministry of Construction of the Russian Federation, 2016.
5. Tarovik V.V., Leonova A.N. Modern ways of strengthening building structures carbon composite materials // In the collection: Actual issues of urban construction, architecture and design in the resort regions. Materials of the Second All-Russian scientific-practical conference. – 2015. – P. 75–79.
6. Kalinin A.A. Inspection, calculation and strengthening of buildings and structures : Training manual. – Publishing house ASV, 2004. – P. 40–45.
7. Leonova A.N., Sofyanikov O.D., Krivenkova T.V. Features of strengthening of building constructions by composite polymeric materials in conditions of high and low temperatures // Perspectives of Science. – 2019. – № 5 (116). – P. 64–69.
8. Dvornaya Z.L., Leonova A.N. Dignities and disadvantages of different methods of reinforcement of reinforced concrete columns // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2019. – № 2. – P. 287–289.
9. Leonova A.N., Bibikov B.S. Modern methods of strengthening horizontal bearing structures with carbon fiber // In the collection: Development and innovations in construction. Materials of the III International Scientific-Practical Conference. – 2020. – P. 16–21.

УДК 69

**ОСОБЕННОСТИ БЛАГОУСТРОЙСТВА ПРИДОМОВОЙ ТЕРРИТОРИИ
В ПРОЦЕССЕ ЗАВЕРШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
ЖИЛОГО МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА**



**FEATURES OF THE IMPROVEMENT OF THE ADJACENT TERRITORY
IN THE PROCESS OF COMPLETING THE CONSTRUCTION OF A RESIDENTIAL
APARTMENT BUILDING**

Дворная Зинаида Львовна
Кубанский государственный
технологический университет
Zinaida11-12@ya.ru

Хорошев Алексей Алексеевич
Кубанский государственный
технологический университет

Выродова Ирина Геннадьевна
Кубанский государственный
технологический университет

Снозовая Анастасия Александровна
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Статья посвящена финальному этапу работы на строительной площадке в процессе возведения жилых комплексов, а именно: благоустройству и озеленению придомовой территории. Рассматриваются основные аспекты эффективного обустройства прилегающей к жилому строению территории.

Ключевые слова: элементы благоустройства, зеленая зона, придомовая территория, экологический каркас, строительно-монтажные работы, малые архитектурные формы, дизайнерское решение, топиарий, жилой комплекс.

Dvornaya Zinaida Lvovna
Kuban State Technological University
Zinaida11-12@ya.ru

Khoroshev Aleksey Alekseevich
Kuban State Technological University

Vyrodova Irina Gennadijevna
Kuban State Technological University

Snozovaya Anastasia Aleksandrovna
Kuban State Technological University

Annotation. The article is devoted to the final stage of work on the construction site in the process of construction of residential complexes, namely: landscaping and landscaping of the house territory. The main aspects of the effective arrangement of the territory adjacent to the residential structure are considered.

Keywords: elements of landscaping, green area, house territory, ecological framework, construction and installation works, small architectural forms, design solution, topiary, residential complex.

К ак известно, придомовая территория представляет собой облагороженный участок земли, располагающийся вокруг жилого многоквартирного дома, предназначенный для личных нужд его жильцов.

Территория, прилегающая к жилому многоквартирному дому, может включать следующие типы участков:

- 1) земельный участок, на котором возведено жилое строение;
- 2) зеленые зоны и иные элементы озеленения и благоустройства придомовой территории;
- 3) прилегающие к жилому зданию места отдыха жильцов, детские и спортивные площадки;
- 4) места для парковки и коллективной стоянки индивидуальных и общественных транспортных средств;
- 5) оборудованные места для сушки белья;
- 6) электрические подстанции и трансформаторы;
- 7) индивидуальные гаражи и погребы, а также специально обустроенные проезды для пожарной техники.

Благоустройство территории, окружающей жилое строение, целесообразно осуществлять в процессе завершения строительно-монтажных работ по возведению любого жилого строения [1]. Следует в связи с изложенным выше подчеркнуть, что обустройство осуществляется на всей территории, прилегающей к жилому дому.

Необходимо учитывать следующие основные требования, предъявляемые к благоустройству придомовой территории: а) на ее функциональность для жителей, представляющих разные возрастные категории; б) на эстетическую привлекательность ландшафта, отражающую современные архитектурно-дизайнерские решения; в) на принципиально важное требование к объекту такого рода – на ее экологичность.

Рассматриваемый комплекс работ по благоустройству территории может включать в себя разные виды. Рассмотрим основные из них:

- устройство проездов, тротуаров, дорожек и площадок с усовершенствованными покрытиями и оградами;
- расстилка растительного грунта;
- обустройство проездов, тротуаров, дорожек и площадок с неусовершенствованными видами покрытий;
- посадка зеленых насаждений, посев газонов и посадка цветов в цветниках, соответственно, уход за зелеными насаждениями [2].

Стоит обратить особое внимание на подъездные пути к придомовой территории. Территория вокруг жилого дома должна быть обеспечена подъездными путями, удобными к использованию как личных транспортных средств жильцов, так и муниципальных, включая службы экстренной помощи.

Необходимо предусмотреть наличие достаточного количества парковочных мест. Иными словами, при обустройстве парковки следует всегда помнить об экономичном использовании придомового пространства. Оптимальное решение в таком случае – подземная многоуровневая парковка, расположенная в высотном жилом строении. При выборе подобного решения рекомендуется использовать свободное пространство с целью создания рекреационной зоны, включающей посадку зеленых насаждений, цветников и т.п.

В последние десятилетия актуальное значение в строительной сфере как в Российской Федерации, так и за рубежом приобретают проблемы защиты окружающей среды. Именно на экологичность обращают особое внимание специалисты при выборе современных строительных материалов [3], предназначенных преимущественно в качестве различных покрытий при оформлении придомового пространства.

При обустройстве зон отдыха, игровых, детских и спортивных площадок, дорожек желательно избегать опасных для здоровья людей покрытий с использованием битума и других нефтепродуктов. Альтернативой материалам, содержащим нефтепродукты, могут служить покрытия из мелкоштучных цементных камней.

Следует акцентировать внимание на создании разнообразных зеленых зон, представляющих собой популярные повсеместно газоны, а также деревья и кустарники различных видов. Экозоны необходимы для снижения шумового воздействия, оздоровления окружающей среды, в том числе для очищения загрязненного воздуха. Так, наиболее позитивное влияние на микроклимат территории, окружающей любой жилой комплекс, оказывает рядовая посадка деревьев.

В связи с изложенным выше стоит обратить внимание на инновацию в сфере озеленения пространства, а именно: на создание зеленой зоны на кровле жилых домов (такого рода зеленую зону чаще называют «зеленой кровлей»); не менее актуальным остается так называемое вертикальное озеленение жилых объектов.

Стоит подчеркнуть, что рассмотренные инновационные решения в области экологии способствуют экономичному использованию придомового пространства, а также помогают дополнительно улучшить микроклимат окружающей среды. Комплекс зеленых зон вокруг жилой застройки образует так называемый экологический каркас. Основная задача экологического каркаса, по мнению специалистов, – создание благоприятной среды для поддержания физического и психического здоровья горожан.

Не следует забывать, что все элементы, расположенные на придомовой территории, должны гармонично сочетаться между собой. В этом случае они образуют единое гармоничное пространство. В процессе его оформления дизайнеры могут применять одну или несколько архитектурно-стилевых разработок. В последнем случае создаются нетривиальные эстетические решения. Так, при оформлении зеленой зоны возможно использование нескольких пород деревьев, например, сочетание в одном ансамбле хвойных и лиственных пород.

С целью создания эстетически привлекательного, гармоничного по структуре придомового пространства важно обращать внимание на необходимость применения разнообразных архитектурных элементов. Можно использовать живые изгороди, малые архитектурные формы, а также популярный в последние годы топиарий (композиции из растений в виде различных фигур).

Целесообразно выбирать как в качестве живой изгороди, так и топиария вечно-зеленые растения и кустарники, поскольку они могут выполнять функции «зеленого» украшения круглогодично.

Среди растений, выращиваемых для создания топиария, наиболее популярными признаны следующие виды: самшит, можжевельник, туя, падуб, тисс, кизильник. Они требуют бережного ухода и стрижки 1–2 раза в год; при этом, средняя высота любого из перечисленных видов – около двух метров. Для создания живой изгороди и композиций из кустарников будет уместно использование растений с цветами, таких, как вереск, каллистемон, земляничное дерево, камелия, лаванда и другие.

Стоит подробнее остановиться на рассмотрении малых архитектурных форм. Как известно, это – архитектурные элементы или оборудование, выполняющие утилитарные или декоративные функции. Утилитарную функцию реализуют элементы, способствующие повышению комфортности окружающей среды, например, беседки, скамьи, урны. Декоративные функции предназначены для эстетического наполнения пространства. С этой целью используют, как правило, фонтаны, скульптуры, трельяжи.

Выбирая те или иные архитектурные элементы из всего многообразия малых архитектурных форм, желательно следовать двум несложным принципам. Первый принцип: архитектурные элементы не должны повторяться в пределах зоны видимости. Второй принцип: все элементы композиции должны находиться в едином стиле, который вписывается в общую концепцию жилой застройки.

Таким образом, обустройство и озеленение территории, прилегающей к жилым зданиям, направлено на создание комфортных условий обитания и отдыха всех категорий жителей многоквартирных домов.

Результат благоустройства проявляется: в улучшении экологической обстановки придомовой территории, в следовании основным принципам гармонии, целесообразности и функциональности, соответственно, в эстетической привлекательности территории, окружающей современный жилой комплекс.

Литература

1. Иванченко В.Г., Онищенко С.В. Автономные энергоэффективные дома: монография. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012. – 144 с.
2. Свод правил СП 82.13330.2016 «Благоустройство территорий» Актуализированная редакция СНиП III-10-75 (утверждено приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 16 декабря 2016 г. № 972/пр).
3. Дворная З.Л., Снозová А.А. Сравнительный анализ облицовочных материалов для вентилируемого фасада // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 4. – С. 337–339.

References

1. Ivanchenko V.G., Onishchenko S.V. Autonomous Energy Efficient Houses: Monograph. - Krasnodar : Publishing House – South, 2012. – 144 p.
2. Code of Practice SP 82.13330.2016 «Improvement of territories» updated edition of SNiP III-10-75 (approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation on December 16, 2016. № 972/pr).
3. Dvornaya Z.L., Snozovaya A.A. Comparative analysis of facing materials for ventilated facade. // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnic Bulletin). – 2019. – № 4. – P. 337–339.

УДК 62

**АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПЯТОГО ПОРЯДКА
С ОДНИМ КОРНЕМ КРАТНОСТЬЮ ТРИ И С ОДНИМ КОРНЕМ
КРАТНОСТЬЮ ДВА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ**



**ANALYSIS OF TRANSITIONAL CHARACTERISTICS OF THE FIFTH ORDER
SYSTEM WITH ONE ROOT MULTIPLE THREE AND WITH ONE ROOT
MULTIPLE TWO OF THE CHARACTERISTIC EQUATION**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлина Владислава Анатольевна

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры
информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Чувиллин Никита Александрович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Определены переходные характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени числителя передаточной функции.

Доказано, что переходные характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом первой степени не имеют перерегулирование при условии: постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка меньше или равна большей постоянной времени знаменателя передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы пятого порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Murlina Vladislava Anatolievna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Information Systems and Programming,
Kuban State Technological University

Chuvilin Nikita Aleksandrovich

Student,
Kuban State Technological University

Annotation. Transient characteristics of the fifth-order system with one root of multiplicity three and with one root of multiplicity two of the characteristic equation with a polynomial of zero degree and with a polynomial of the first degree of the numerator of the transfer function are determined.

It is proved that the transient characteristics of a fifth-order system with one root of multiplicity three and with one root of multiplicity two of the characteristic equation with a polynomial of the first degree do not have overshoot provided that the time constant of the polynomial of the numerator of the fifth order transfer function is less than or equal to the greater time constant of the denominator of the transfer function.

Keywords: transient response, characteristic equation of the fifth order system, roots of the characteristic equation.

В статье [1] выполнен анализ переходных характеристик систем пятого порядка с кратными корнями характеристического уравнения.

В данной работе анализируются переходные характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения.

Передаточная функция систем пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения:

$$W_{40}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^3 \cdot (T_2 p + 1)^2},$$

где $T_1 \neq T_2$ – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции пятого порядка.

Корни характеристического уравнения системы с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения:

$$P_{1;3} = -\frac{1}{T_1}; P_{4;5} = -\frac{1}{T_2}.$$

Переходная характеристика системы пятого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения имеет вид:

$$h_{50}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_3 \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_4 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_5 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_6.$$

Первая, вторая, третья и четвертая производные переходной характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} h_{50}^{(1)}(t) &= \left(-\frac{K_1}{T_1} + K_2\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1} + 2 \cdot K_3\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ &\quad \left(-\frac{K_3}{T_1}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_4}{T_2} + K_5\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_5}{T_2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}; \\ h_{50}^{(2)}(t) &= \left(\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2 \cdot K_3\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_2}{T_1^2} - 4 \cdot \frac{K_3}{T_1}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ &\quad + \frac{K_3}{T_1^2} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_4}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_5}{T_2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_5}{T_2^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}; \\ h_{50}^{(3)}(t) &= \left(-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1^3} + 6 \cdot \frac{K_3}{T_1^2}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\ &\quad - \frac{K_3}{T_1^3} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_4}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_5}{T_2^2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_5}{T_2^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}; \\ h_{50}^{(4)}(t) &= \left(\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_2}{T_1^4} - 8 \cdot \frac{K_3}{T_1^3}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ &\quad + \frac{K_3}{T_1^4} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_4}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_5}{T_2^3}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_5}{T_2^4} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}. \end{aligned}$$

Так как начальные и конечные значения системы пятого порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{50}(0) = 0; \\ h_{50}^{(1)}(0) = 0; \\ h_{50}^{(2)}(0) = 0; \\ h_{50}^{(3)}(0) = 0; \\ h_{50}^{(4)}(t) = 0; \\ h_{50}(\infty) = 1, \end{cases}$$

а начальные и конечные значения системы пятого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{50}(0) = K_1 + K_4 + K_6; \\ h_{50}^{(1)}(0) = -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_4}{T_2} + K_5; \\ h_{50}^{(2)}(0) = \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2 \cdot K_3 + \frac{K_4}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_5}{T_2}; \\ h_{50}^{(3)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} - \frac{K_4}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_5}{T_2^2}; \\ h_{50}^{(4)}(0) = \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} + \frac{K_4}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_5}{T_2^3}; \\ h_{50}(\infty) = K_6, \end{cases}$$

то справедливы соотношения:

$$K_6 = 1;$$

$$\begin{cases} K_1 + K_4 + 1 = 0; \\ -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_4}{T_2} + K_5 = 0; \\ \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2 \cdot K_3 + \frac{K_4}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_5}{T_2} = 0; \\ -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} - \frac{K_4}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_5}{T_2^2} = 0; \\ \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} + \frac{K_4}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_5}{T_2^3} = 0. \end{cases}$$

Остальные коэффициенты переходной характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения имеют вид:

$$K_1 = -\frac{T_1^2 - 4T_1T_2 + 6T_2^2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_1^2;$$

$$K_2 = -\frac{T_1 - 3T_2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot T_1;$$

$$K_3 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(T_1 - T_2)^2};$$

$$K_4 = \frac{4T_1 - T_2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_2^3;$$

$$K_5 = \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)^3}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$h_{50}(t) = -\frac{T_1^2 - 4T_1T_2 + 6T_2^2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_1^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1 - 3T_2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot T_1 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$-\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(T_1 - T_2)^2} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{4T_1 - T_2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_2^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1;$$

$$h_{50}^{(1)}(t) = \frac{3T_1T_2^2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{2T_2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{T_1 \cdot (T_1 - T_2)^2} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$-\frac{3T_1T_2^2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Передаточная функция системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$W_{51}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1)^3 \cdot (T_2 p + 1)^2},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка.

Переходная характеристика системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$h_{51}(t) = -\left[\frac{T_1^2 - 4T_1T_2 + 6T_2^2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_1^2 + \frac{3T_1T_2^2\tau}{(T_1 - T_2)^4} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$-\left[\frac{T_1 - 3T_2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot T_1 + \frac{2T_2\tau}{(T_1 - T_2)^3} \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(T_1 - T_2)^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\tau}{T_1 \cdot (T_1 - T_2)^2} \right] \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+ \left[\frac{4T_1 - T_2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_2^3 - \frac{3T_1T_2^2\tau}{(T_1 - T_2)^4} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \left[\frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)^3} - \frac{T_2\tau}{(T_1 - T_2)^3} \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Рассмотрим два варианта значения корней переходной характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе.

Вариант первый: $T_1 > T_2$.

При этом, если $\tau = T_1$, то

$$h_{51}(t) = -\frac{T_1-3T_2}{(T_1-T_2)^3} \cdot T_1^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1}{(T_1-T_2)^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{3T_1-T_2}{(T_1-T_2)^3} \cdot T_2^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_2}{(T_1-T_2)^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Предположим $T_1 = \frac{1}{4}T$ и $T_2 = \frac{1}{8}T$.

При $\tau=0$

$$h_{51}(t) = -8 \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + 16 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - 32 \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + 7 \cdot e^{-8\frac{t}{T}} + 8 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau=T_1$

$$h_{51}(t) = 4 \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + 16 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - 5 \cdot e^{-8\frac{t}{T}} - 8 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} + 1$$

При $\tau=2T_1$

$$h_{51}(t) = 16 \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - 48 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + 32 \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - 17 \cdot e^{-8\frac{t}{T}} - 24 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} + 1.$$

Проведена первая серия численного эксперимента, результаты которой представлены в таблице 1.

При этом $T_1 = \frac{1}{4}T$ и $T_2 = \frac{1}{8}T$.

Таблица 1 – Результаты первой серии численного эксперимента

$\frac{t}{T}$	h_{51}		
	$\tau = 0$	$\tau = T_1$	$\tau = 2T_1$
0	0	0	0
0,25	0,010740902	0,052653017	0,094565133
0,5	0,118789762	0,293818117	0,468846472
0,75	0,335204821	0,574437179	0,813669537
1	0,565456606	0,775851319	0,986246032
1,25	0,744729813	0,891511849	1,038293885
1,5	0,861306618	0,950320505	1,039334392
1,75	0,928890669	0,978099034	1,027307399
2	0,965114475	0,990604683	1,016094891
2,25	0,983463467	0,996050536	1,008637605
2,5	0,992372867	0,998365551	1,004358235
2,75	0,996559458	0,999331924	1,002104391
3	0,998476237	0,999729654	1,000983071
3,25	0,999335463	0,999891504	1,000447545
3,5	0,999713954	0,99995676	1,000199567
3,75	0,999878251	0,999982869	1,000087488
4	0,999948684	0,999993248	1,000037812
4,25	0,999978555	0,99999735	1,000016146
4,5	0,999991106	0,999998964	1,000006823
4,75	0,999996336	0,999999597	1,000002857
5	0,999998499	0,999999843	1,000001187

По результатам первой серии численного эксперимента на рисунке 1 представлены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

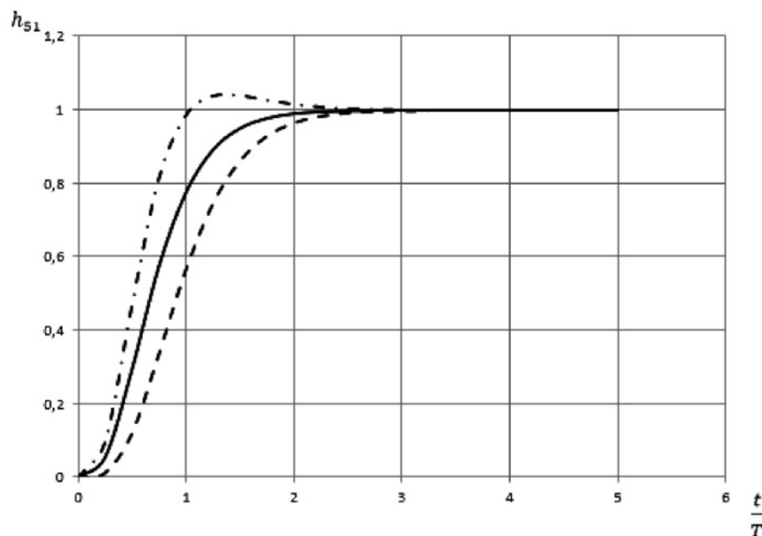


Рисунок 1 – Зависимость h_{51} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Вариант второй: $T_1 < T_2$.

При этом, если $\tau = T_2$, то

$$h_{51}(t) = -\frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1 - 2T_2}{(T_1 - T_2)^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{T_1 \cdot (T_1 - T_2)} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Предположим $T_1 = \frac{3}{20}T$ и $T_2 = \frac{11}{40}T$.

При $\tau=0$

$$h_{51}(t) = -\frac{17928}{625} \cdot e^{-\frac{20}{3} \frac{t}{T}} - \frac{1296}{25} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20}{3} \frac{t}{T}} - 32 \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{20}{3} \frac{t}{T}} + \frac{17303}{625} \cdot e^{-\frac{40}{11} \frac{t}{T}} - \frac{968}{25} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{40}{11} \frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau=T_2$

$$h_{51}(t) = \frac{1206}{125} \cdot e^{-\frac{20}{3} \frac{t}{T}} + \frac{128}{5} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20}{3} \frac{t}{T}} + \frac{80}{3} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{20}{3} \frac{t}{T}} - \frac{1331}{125} \cdot e^{-\frac{40}{11} \frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau=2T_2$

$$h_{51}(t) = \frac{29988}{625} \cdot e^{-\frac{20}{3} \frac{t}{T}} + \frac{2576}{25} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20}{3} \frac{t}{T}} + \frac{256}{3} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{20}{3} \frac{t}{T}} - \frac{30613}{625} \cdot e^{-\frac{40}{11} \frac{t}{T}} + \frac{968}{25} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{40}{11} \frac{t}{T}} + 1.$$

Проведена вторая серия численного эксперимента, результаты которой представлены в таблице 2.

При этом $T_1 = \frac{3}{20}T$ и $T_2 = \frac{11}{40}T$.

Таблица 2 – Результаты второй серии численного эксперимента

$\frac{t}{T}$	h_{51}		
	$\tau = 0$	$\tau = T_2$	$\tau = 2T_2$
1	2	3	4
0	0	0	0
0,25	0,01052175	0,055892202	0,101262654
0,5	0,117923405	0,310246557	0,502569709
0,75	0,334842352	0,59909395	0,863345549

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
1	0,566041898	0,798241398	1,030440898
1,25	0,745611609	0,906994094	1,068376579
1,5	0,861903809	0,959365789	1,056827768
1,75	0,92908261	0,982819718	1,036556826
2	0,965037453	0,992879293	1,020721133
2,25	0,983282383	0,997083698	1,010885013
2,5	0,992191013	0,998814009	1,005437005
2,75	0,996418194	0,999519656	1,002621118
3	0,99838071	0,999805908	1,001231107
3,25	0,999276452	0,999921677	1,000566902
3,5	0,999679789	0,999968417	1,000257045
3,75	0,999859419	0,99998727	1,00011512
4	0,999938698	0,99999487	1,000051041
4,25	0,999973423	0,999997933	1,000022443
4,5	0,999988535	0,999999167	1,000009799
4,75	0,999995076	0,999999664	1,000004253
5	0,999997893	0,999999865	1,000001836

По результатам второй серии численного эксперимента на рисунке 2 представлены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

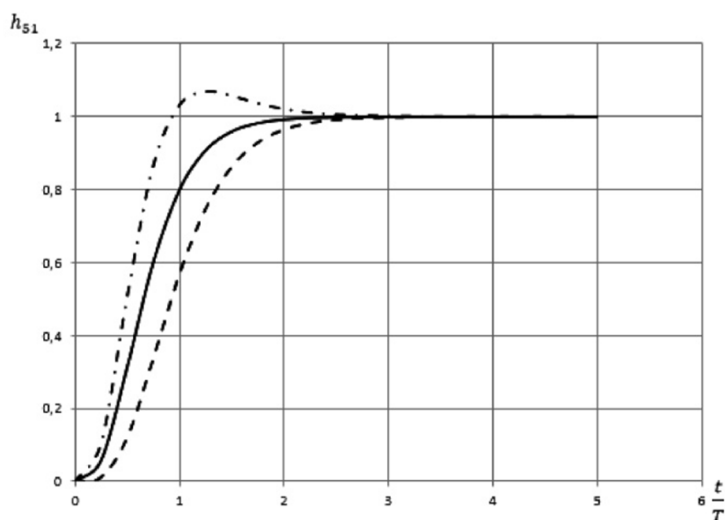


Рисунок 2 – Зависимость h_{s1} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Выводы:

Для систем пятого порядка с одним корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени числителя передаточной функции определены переходные характеристики.

Проведены первый и второй численные эксперименты, на основании которых получены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с одним

корнем кратностью три и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

Установлено: если постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка меньше или равна большей постоянной времени знаменателя передаточной функции, то переходные характеристики систем пятого порядка с одним корнем кратностью три и одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом первой степени числителя передаточной функции не имеют перерегулирования.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик систем пятого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 423-429.

References

1. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Serkin A.D. Analysis of transient characteristics of systems of the fifth order with multiple roots of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii. (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 1. – P. 423-429.

УДК 62

**АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПЯТОГО ПОРЯДКА
С ОДНИМ КОРНЕМ КРАТНОСТЬЮ ТРИ И С ДВУМЯ КОРНЯМИ
КРАТНОСТЬЮ ОДИН ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ**



**ANALYSIS OF TRANSITIONAL CHARACTERISTICS OF THE FIFTH ORDER
SYSTEM WITH ONE ROOT MULTIPLE THREE AND WITH ONE ROOT
MULTIPLE TWO OF THE CHARACTERISTIC EQUATION**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлина Владислава Анатольевна

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры
информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Чувиллин Никита Александрович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Определены переходные характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени числителя передаточной функции.

Доказано, что переходные характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени не имеют перерегулирование при условии: постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка меньше или равна большей постоянной времени знаменателя передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы пятого порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Murlina Vladislava Anatolievna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Information Systems and Programming,
Kuban State Technological University

Chuvilin Nikita Aleksandrovich

Student,
Kuban State Technological University

Annotation. Transient characteristics of the fifth-order system with one root of multiplicity three and with two roots of multiplicity one of the characteristic equation with a polynomial of zero degree and with a polynomial of the first degree of the numerator of the transfer function are determined.

It is proved that the transient characteristics of a fifth-order system with one root of multiplicity three and with two roots of multiplicity one of the characteristic equation with a polynomial of the first degree do not have overshoot provided that the time constant of the polynomial of the numerator of the fifth order transfer function is less than or equal to the greater time constant of the denominator of the transfer function.

Keywords: transient response, characteristic equation of the fifth order system, roots of the characteristic equation.

В статье [1] выполнен анализ переходных характеристик систем пятого порядка с кратными корнями характеристического уравнения.

В данной работе анализируются переходные характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения.

Передаточная функция систем пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения:

$$W_{50}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^3 \cdot (T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1)},$$

где $T_1 \neq T_2 \neq T_3$ – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции пятого порядка.

Корни характеристического уравнения системы:

$$P_{1 \div 3} = -\frac{1}{T_1}; P_4 = -\frac{1}{T_2}; P_5 = -\frac{1}{T_3}.$$

Переходная характеристика системы имеет вид:

$$h_{50}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_3 \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_4 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_5 \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + K_6.$$

Первая, вторая, третья и четвертая производные переходной характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения имеют вид:

$$h_{50}^{(1)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1} + K_2\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1} + 2K_3\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_3}{T_1} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_4}{T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_5}{T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{50}^{(2)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_2}{T_1^2} - 4 \cdot \frac{K_3}{T_1}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_3}{T_1^2} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_4}{T_2^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_5}{T_3^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{50}^{(3)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1^3} + 6 \cdot \frac{K_3}{T_1^2}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_3}{T_1^3} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_4}{T_2^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_5}{T_3^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{50}^{(4)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_2}{T_1^4} - 8 \cdot \frac{K_3}{T_1^3}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_3}{T_1^4} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_4}{T_2^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_5}{T_3^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}.$$

Так как начальные и конечные значения системы пятого порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{50}(0) = 0; \\ h_{50}^{(1)}(0) = 0; \\ h_{50}^{(2)}(0) = 0; \\ h_{50}^{(3)}(0) = 0; \\ h_{50}^{(4)}(0) = 0; \\ h_{50}(\infty) = 1, \end{cases}$$

а начальные и конечные значения системы пятого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{50}(0) = K_1 + K_4 + K_5 + K_6; \\ h_{50}^{(1)}(0) = -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_4}{T_2} - \frac{K_5}{T_3}; \\ h_{50}^{(2)}(0) = \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3 + \frac{K_4}{T_2^2} + \frac{K_5}{T_3^2}; \\ h_{50}^{(3)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} - \frac{K_4}{T_2^3} - \frac{K_5}{T_3^3}; \\ h_{50}^{(4)}(0) = \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} + \frac{K_4}{T_2^4} + \frac{K_5}{T_3^4}; \\ h_{50}(\infty) = K_6, \end{cases}$$

то справедливы соотношения:

$$K_6 = 1;$$

$$\begin{cases} K_1 + K_4 + K_5 + 1 = 0; \\ -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_4}{T_2} - \frac{K_5}{T_3} = 0; \\ \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3 + \frac{K_4}{T_2^2} + \frac{K_5}{T_3^2} = 0; \\ -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} - \frac{K_4}{T_2^3} + -\frac{K_5}{T_3^3} = 0; \\ \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} + \frac{K_4}{T_2^4} + \frac{K_5}{T_3^4} = 0. \end{cases}$$

Остальные коэффициенты переходной характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} K_1 &= -\frac{T_1^4 - 3T_1^3 \cdot (T_2 + T_3) + 3T_1^2 \cdot (T_2^2 + 3T_2 T_3 + T_3^2)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^3} \rightarrow \\ &\rightarrow -\frac{8T_1 T_2 T_3 \cdot (T_2 + T_3) + 6T_2^2 T_3^2}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^3} \cdot T_1^2; \\ K_2 &= -\frac{T_1^2 - 2T_1 \cdot (T_2 + T_3) + 3T_2 T_3}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot T_1; \\ K_3 &= -\frac{1}{2 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)}; \\ K_4 &= \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)}; \\ K_5 &= -\frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^3 \cdot (T_2 - T_3)}. \end{aligned}$$

Таким образом, переходная характеристика системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$\begin{aligned} h_{50}(t) &= -\frac{T_1^4 - 3T_1^3 \cdot (T_2 + T_3) + 3T_1^2 \cdot (T_2^2 + 3T_2 T_3 + T_3^2)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^3} - \frac{8T_1 T_2 T_3 \cdot (T_2 + T_3) + 6T_2^2 T_3^2}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^3} \cdot T_1^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\ &- \frac{T_1^2 - 2T_1 \cdot (T_2 + T_3) + 3T_2 T_3}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot T_1 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{2 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ &+ \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^3 \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1; \\ h_{50}^{(1)}(t) &= \frac{T_1^2 \cdot (T_2^2 + T_2 T_3 + T_3^2) - 3T_1 T_2 T_3 \cdot (T_2 + T_3) + 3T_2^2 T_3^2}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^3} \cdot T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1 \cdot (T_2 + T_3) - 2T_2 T_3}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ &+ \frac{1}{2T_1 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_3^3}{(T_1 - T_3)^3 \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}. \end{aligned}$$

Передаточная функция системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$W_{51}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1)^3 \cdot (T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1)},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка.

Переходная характеристика системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$\begin{aligned} h_{51}(t) &= \left[-\frac{T_1^4 - 3T_1^3 \cdot (T_2 + T_3) + 3T_1^2 \cdot (T_2^2 + 3T_2 T_3 + T_3^2)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^3} - \frac{8T_1 T_2 T_3 \cdot (T_2 + T_3) + 6T_2^2 T_3^2}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^3} \cdot T_1^2 + \right. \\ &\left. + \frac{T_1^2 \cdot (T_2^2 + T_2 T_3 + T_3^2) - 3T_1 T_2 T_3 \cdot (T_2 + T_3) + 3T_2^2 T_3^2}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^3} \cdot T_1 \tau \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \left[\frac{T_1^2 - 2T_1 \cdot (T_2 + T_3) + 3T_2 T_3}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot T_1 + \frac{T_1 \cdot (T_2 + T_3) - 2T_2 T_3}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot \tau \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\
 & + \left[-\frac{1}{2 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} + \frac{\tau}{2T_1 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \right] \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\
 & + \left[\frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)} - \frac{T_2^3 \tau}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \\
 & + \left[-\frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^3 \cdot (T_2 - T_3)} + \frac{T_3^3 \tau}{(T_1 - T_3)^3 \cdot (T_2 - T_3)} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1.
 \end{aligned}$$

Рассмотрим два варианта значения корней переходной характеристики системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе.

Вариант первый: $T_1 > T_2 > T_3$.

При этом, если $\tau = T_1$, то

$$\begin{aligned}
 h_{51}(t) = & -\frac{T_1^2 - 2T_1 \cdot (T_2 + T_3) + 3T_2 T_3}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot T_1^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot t \times \\
 & \times e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_3^3}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1.
 \end{aligned}$$

Предположим $T_1 = \frac{1}{4}T$; $T_2 = \frac{3}{20}T$; $T_3 = \frac{1}{10}T$.

При $\tau=0$

$$h_{51}(t) = -\frac{2275}{16} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + \frac{175}{9} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - \frac{100}{3} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + \frac{81}{8} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} - \frac{16}{27} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau=T_1$

$$h_{51}(t) = \frac{175}{36} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - \frac{50}{3} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - \frac{27}{4} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} + \frac{8}{9} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau=2T_1$

$$h_{51}(t) = \frac{4375}{216} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - \frac{475}{9} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + \frac{100}{3} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - \frac{189}{8} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} + \frac{64}{27} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

Проведена первая серия численного эксперимента, результаты которой представлены в таблице 1.

При этом $T_1 = \frac{1}{4}T$; $T_2 = \frac{3}{20}T$; $T_3 = \frac{1}{10}T$.

Таблица 1 – Результаты первой серии численного эксперимента

$\frac{t}{T}$	h_{51}		
	$\tau = 0$	$\tau = T_1$	$\tau = 2T_1$
0	0	0	0
0,25	0,010953702	0,053525958	0,096098214
0,5	0,119765657	0,295275653	0,47078565
0,75	0,336070154	0,574692605	0,813315056
1	0,565566869	0,775223785	0,9848807
1,25	0,744299535	0,890760832	1,037222128
1,5	0,86074279	0,949774508	1,038806225
1,75	0,92842386	0,97778344	1,027132827
2	0,964800587	0,990437703	1,01607482
2,25	0,983277069	0,995969976	1,008662884
2,5	0,992271037	0,99832864	1,004386244
2,75	0,996507058	0,999315621	1,002124183

Окончание таблицы 1

3	0,998450456	0,999722643	1,00099483
3,25	0,999323213	0,999888551	1,000453888
3,5	0,999708292	0,999955536	1,00020278
3,75	0,999875692	0,999982368	1,000089044
4	0,999947549	0,999993045	1,000038541
4,25	0,999978059	0,999997269	1,000016478
4,5	0,999990892	0,999998932	1,000006972
4,75	0,999996245	0,999999584	1,000002923
5	0,999998461	0,999999838	1,000001215

По результатам первой серии численного эксперимента на рисунке 1 представлены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

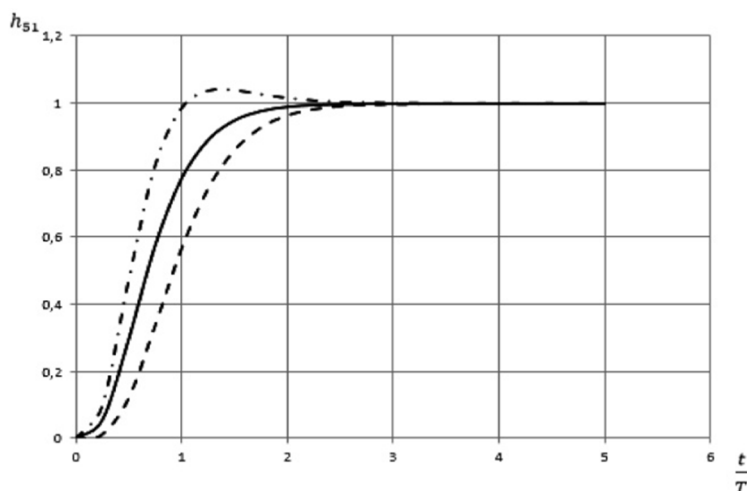


Рисунок 1 – Зависимость h_{51} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Вариант второй: $T_1 > T_2 > T_3$.
При этом, если $\tau = T_2$, то

$$h_{51}(t) = -\frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1 - 2T_2}{(T_1 - T_2)^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{T_1 \cdot (T_1 - T_2)} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_3^3}{(T_1 - T_2)^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1.$$

Предположим $T_1 = \frac{3}{20}T$ и $T_2 = \frac{11}{40}T$.

При $\tau=0$

$$h_{51}(t) = 40 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 60 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 50 \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{81}{2} \cdot e^{-\frac{10}{3}\frac{t}{T}} + \frac{1}{2} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau=T_2$

$$h_{51}(t) = -2 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 25 \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau=2T_2$

$$h_{51}(t) = -44 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 180 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 200 \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{81}{2} \cdot e^{-\frac{10}{3}\frac{t}{T}} + \frac{7}{2} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

Проведена вторая серия численного эксперимента, результаты которой представлены в таблице 2.

При этом $T_1 = \frac{3}{20}T$ и $T_2 = \frac{11}{40}T$.

Таблица 2 – Результаты второй серии численного эксперимента

$\frac{t}{T}$	h_{51}		
	$\tau = 0$	$\tau = T_2$	$\tau = 2T_2$
0	0	0	0
0,25	0,092906372	0,06141166	0,101262654
0,5	0,125919445	0,329536708	0,502569709
0,75	0,336279098	0,622799292	0,863345549
1	0,565918019	0,818120831	1,030440898
1,25	0,744914748	0,920734454	1,068376579
1,5	0,861236259	0,967783141	1,056827768
1,75	0,928645157	0,987550907	1,036556826
2	0,964802307	0,995369209	1,020721133
2,25	0,983168832	0,998327749	1,010885013
2,5	0,992137679	0,999410257	1,005437005
2,75	0,996391807	0,999796002	1,002621118
3	0,998366257	0,99993056	1,001231107
3,25	0,999267788	0,999976682	1,000566902
3,5	0,999674372	0,99999226	1,000257045
3,75	0,999856035	0,999997456	1,00011512
4	0,999936632	0,999999171	1,000051041
4,25	0,999972201	0,999999732	1,000022443
4,5	0,999987835	0,999999914	1,000009799
4,75	0,999994686	0,999999973	1,000004253
5	0,999997682	0,999999991	1,000001836

По результатам второй серии численного эксперимента на рисунке 2 представлены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

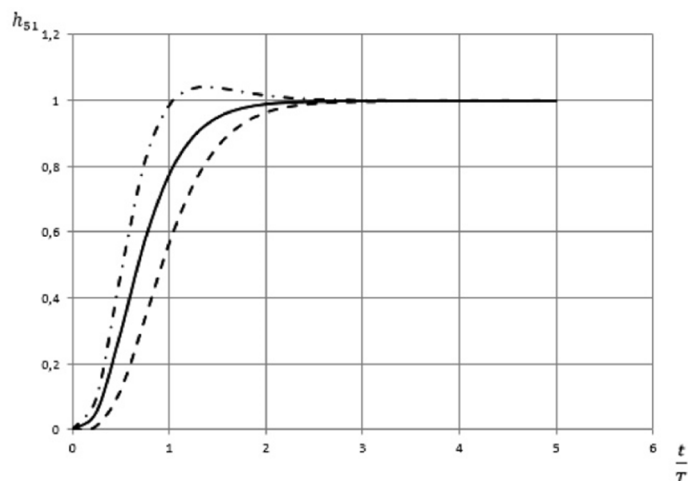


Рисунок 2 – Зависимость h_{51} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Выводы:

Для систем пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени числителя передаточной функции определены переходные характеристики.

Проведены первый и второй численные эксперименты, на основании которых получены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

Установлено: если постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка меньше или равна большей постоянной времени знаменателя передаточной функции, то переходные характеристики систем пятого порядка с одним корнем кратностью три и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени числителя передаточной функции не имеют перерегулирования.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик систем пятого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 423-429.

References

1. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Serkin A.D. Analysis of transient characteristics of systems of the fifth order with multiple roots of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii. (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 1. – P. 423-429.

УДК 62

**АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПЯТОГО ПОРЯДКА
С ДВУМЯ КОРНЯМИ КРАТНОСТЬЮ ДВА И С ОДНИМ КОРНЕМ
КРАТНОСТЬЮ ОДИН ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ**



**ANALYSIS OF TRANSITIONAL CHARACTERISTICS OF THE FIFTH ORDER
SYSTEM WITH TWO ROOTS MULTIPLE TWO AND ONE ROOT
MULTIPLE ONE OF THE CHARACTERISTIC EQUATION**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлина Владислава Анатольевна

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры
информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Чувиллин Никита Александрович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Определены переходные характеристики системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени числителя передаточной функции.

Доказано, что переходные характеристики системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени не имеют перерегулирование при условии: постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка меньше или равна большей постоянной времени знаменателя передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы пятого порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Murlina Vladislava Anatolievna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Information Systems and Programming,
Kuban State Technological University

Chuvilin Nikita Aleksandrovich

Student,
Kuban State Technological University

Annotation. Transient characteristics of the fifth-order system with two roots of multiplicity two and with one root of multiplicity one of the characteristic equation with a polynomial of zero degree and with a polynomial of the first degree of the numerator of the transfer function are determined.

It is proved that the transient characteristics of a fifth-order system with two roots of multiplicity two and with one root of multiplicity one of the characteristic equation with a polynomial of the first degree do not have overshoot provided that the time constant of the polynomial of the numerator of the fifth order transfer function is less than or equal to the greater time constant of the denominator of the transfer function.

Keywords: transient response, characteristic equation of the fifth order system, roots of the characteristic equation.

В статье [1] выполнен анализ переходных характеристик систем пятого порядка с кратными корнями характеристического уравнения.

В данной работе анализируются переходные характеристики системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения.

Передаточная функция систем пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения:

$$W_{50}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^2 \cdot (T_2 p + 1)^2 \cdot (T_3 p + 1)},$$

где $T_1 \neq T_2 \neq T_3$ – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции пятого порядка.

Корни характеристического уравнения системы с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения:

$$P_{1,2} = -\frac{1}{T_1}; P_{3,4} = -\frac{1}{T_2}; P_5 = -\frac{1}{T_3}.$$

Переходная характеристика системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения имеет вид:

$$h_{50}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_3 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_4 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_5 \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + K_6.$$

Первая, вторая, третья и четвертая производные переходной характеристики системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения имеют вид:

$$h_{50}^{(1)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1} + K_2\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_1} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_3}{T_2} + K_4\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_4}{T_2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_5}{T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{50}^{(2)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_2}{T_1} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_3}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_4}{T_2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_4}{T_2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_5}{T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{50}^{(3)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_1^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_3}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_4}{T_2^2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_4}{T_2^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_5}{T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{50}^{(4)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_2}{T_1^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_3}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_4}{T_2^3}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_4}{T_2^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_5}{T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}.$$

Так как начальные и конечные значения системы пятого порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{50}(0) = 0; \\ h_{50}^{(1)}(0) = 0; \\ h_{50}^{(2)}(0) = 0; \\ h_{50}^{(3)}(0) = 0; \\ h_{50}^{(4)}(0) = 0; \\ h_{50}(\infty) = 1, \end{cases}$$

а начальные и конечные значения системы пятого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{50}(0) = K_1 + K_3 + K_5 + K_6; \\ h_{50}^{(1)}(0) = -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_3}{T_2} + K_4 - \frac{K_5}{T_3}; \\ h_{50}^{(2)}(0) = \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + \frac{K_3}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_4}{T_2} + \frac{K_5}{T_3}; \\ h_{50}^{(3)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - \frac{K_3}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_4}{T_2^2} - \frac{K_5}{T_3}; \\ h_{50}^{(4)}(0) = \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + \frac{K_3}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_4}{T_2^3} + \frac{K_5}{T_3}; \\ h_{50}(\infty) = K_6, \end{cases}$$

то справедливы соотношения:

$$K_6 = 1;$$

$$\begin{cases} K_1 + K_3 + K_5 + 1 = 0; \\ -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_3}{T_2} + K_4 - \frac{K_5}{T_3} = 0; \\ \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + \frac{K_3}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_4}{T_2} + \frac{K_5}{T_3} = 0; \\ -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - \frac{K_3}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_4}{T_2^2} - \frac{K_5}{T_3} = 0; \\ \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + \frac{K_3}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_4}{T_2^3} + \frac{K_5}{T_3} = 0. \end{cases}$$

Остальные коэффициенты переходной характеристики системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения имеют вид:

$$K_1 = - \frac{T_1^2 - 3T_1T_2 - 2T_1T_3 + 4T_2T_3}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot T_1^3;$$

$$K_2 = - \frac{T_1^2}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3)};$$

$$K_3 = \frac{T_2^2 - 3T_1T_2 - 2T_2T_3 + 4T_1T_3}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)^2} \cdot T_2^3;$$

$$K_4 = - \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3)};$$

$$K_5 = - \frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_3)^2}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$\begin{aligned} h_{50}(t) = & - \frac{T_1^2 - 3T_1T_2 - 2T_1T_3 + 4T_2T_3}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot T_1^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\ & - \frac{T_1^2}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^2 - 3T_1T_2 - 2T_2T_3 + 4T_1T_3}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)^2} \cdot T_2^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \\ & - \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_3)^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1. \\ h_{50}^{(1)}(t) = & - \frac{2T_1T_2 + T_1T_3 - 3T_2T_3}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot T_1^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_1}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ & + \frac{2T_1T_2 - 3T_1T_3 + T_2T_3}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)^2} \cdot T_2^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_2}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_3^3}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_3)^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}. \end{aligned}$$

Передаточная функция системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$W_{51}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1)^2 \cdot (T_2 p + 1)^2 \cdot (T_3 p + 1)},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка.

Переходная характеристика системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$\begin{aligned} h_{51}(t) = & - \left[\frac{T_1^2 - 3T_1T_2 - 2T_1T_3 + 4T_2T_3}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot T_1^3 + \frac{2T_1T_2 + T_1T_3 - 3T_2T_3}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot T_1^2 \tau \right] \cdot \\ & \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left[- \frac{T_1^2}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3)} + \frac{T_1 \tau}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3)} \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ & + \left[\frac{T_2^2 - 3T_1T_2 - 2T_2T_3 + 4T_1T_3}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)^2} \cdot T_2^3 + \frac{2T_1T_2 - 3T_1T_3 + T_2T_3}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)^2} \cdot T_2^2 \tau \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \\ & + \left[- \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3)} + \frac{T_2 \tau}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3)} \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \\ & + \left[- \frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_3)^2} + \frac{T_3^3 \tau}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_3)^2} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1. \end{aligned}$$

Рассмотрим два варианта значения корней переходной характеристики системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе.

Вариант первый: $T_1 > T_2 > T_3$.

При этом, если $\tau = T_1$, то

$$h_{51}(t) = -\frac{T_1^3}{(T_1-T_2)^2 \cdot (T_1-T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2^2 - 2T_1T_2 - 2T_2T_3 + 3T_1T_3}{(T_1-T_2)^2 \cdot (T_2-T_3)^2} \cdot T_2^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_2}{(T_1-T_2) \cdot (T_2-T_3)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_3^3}{(T_1-T_3) \cdot (T_2-T_3)^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1.$$

Предположим $T_1 = \frac{1}{4}T$; $T_2 = \frac{1}{5}T$; $T_3 = \frac{1}{10}T$.

При $\tau=0$

$$h_{51}(t) = \frac{2875}{9} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - \frac{500}{3} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - 320 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 160 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} - \frac{4}{9} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau=T_1$

$$h_{51}(t) = -\frac{125}{3} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + 40 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 40 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{2}{3} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau=2T_1$

$$h_{51}(t) = -\frac{3625}{9} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + \frac{500}{3} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + 400 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 240 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{16}{9} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

Проведена первая серия численного эксперимента, результаты которой представлены в таблице 1.

При этом $T_1 = \frac{1}{4}T$; $T_2 = \frac{1}{5}T$; $T_3 = \frac{1}{10}T$.

Таблица 1 – Результаты первой серии численного эксперимента

$\frac{t}{T}$	h_{51}		
	$\tau = 0$	$\tau = T_1$	$\tau = 2T_1$
0	0	0	0
0,25	0,010524567	0,051653127	0,092781686
0,5	0,117170005	0,290621747	0,46407349
0,75	0,332764857	0,572149751	0,811534644
1	0,563987871	0,775914406	0,987840942
1,25	0,744822971	0,892995565	1,04116816
1,5	0,862408185	0,9520273	1,041646416
1,75	0,930253248	0,979435681	1,028618113
2	0,966284841	0,991470383	1,016655926
2,25	0,984298937	0,996548874	1,00879881
2,5	0,992902928	0,998630068	1,004357208
2,75	0,996868864	0,999464251	1,002059639
3	0,998645906	0,999792936	1,000939965
3,25	0,999424085	0,999920719	1,000417353
3,5	0,999758472	0,999969873	1,000181274
3,75	0,999899911	0,999988621	1,000077331
4	0,999958947	0,999995723	1,0000325
4,25	0,99998331	0,999998399	1,000013488
4,5	0,999993267	0,999999403	1,000005539
4,75	0,999997302	0,999999778	1,000002254
5	0,999998925	0,999999917	1,00000091

По результатам первой серии численного эксперимента на рисунке 1 представлены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

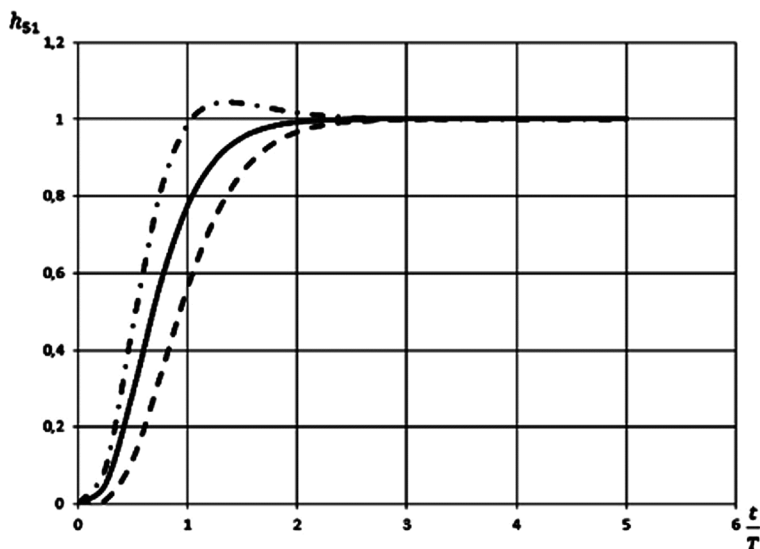


Рисунок 1 – Зависимость h_{51} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Вариант второй: $T_2 < T_1 < T_3$.

При этом, если $\tau = T_3$, то

$$h_{51}(t) = -\frac{T_1 - 3T_2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot T_1^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1}{(T_1 - T_2)^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{3T_1 - T_2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot T_2^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_2}{(T_1 - T_2)^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Предположим $T_1 = \frac{1}{5}T$; $T_2 = \frac{3}{20}T$; $T_3 = \frac{3}{10}T$.

При $\tau = 0$

$$h_{51}(t) = -64 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 160 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 99 \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} + 60 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} - 36 \cdot e^{-\frac{10}{3}\frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau = T_3$

$$h_{51}(t) = 80 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 80 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 81 \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} - 60 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} + 1.$$

При $\tau = 2T_3$

$$h_{51}(t) = 224 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 320 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 261 \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} - 180 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} + 36 \cdot e^{-\frac{10}{3}\frac{t}{T}} + 1.$$

Проведена вторая серия численного эксперимента, результаты которой представлены в таблице 2.

При этом $T_1 = \frac{1}{5}T$; $T_2 = \frac{3}{20}T$; $T_3 = \frac{3}{10}T$.

Таблица 2 – Результаты второй серии численного эксперимента

$\frac{t}{T}$	h_{51}		
	$\tau = 0$	$\tau = T_2$	$\tau = 2T_2$
1	2	3	4
0	0	0	0
0,25	0,010168093	0,058229939	0,106291786
0,5	0,115783418	0,323586683	0,531389949
0,75	0,332198185	0,621373595	0,910549005

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
1	0,564927926	0,820558634	1,076189342
1,25	0,746227322	0,923893279	1,101559236
1,5	0,863357344	0,970113237	1,076869131
1,75	0,930558145	0,988897382	1,047236619
2	0,966162257	0,996042467	1,025922676
2,25	0,984010704	0,998633195	1,013255687
2,5	0,992613241	0,999539455	1,006465669
2,75	0,996643628	0,999847837	1,003052045
3	0,998493433	0,999950518	1,001407602
3,25	0,999329773	0,999984117	1,000638461
3,5	0,999703779	0,999994957	1,000286134
3,75	0,999869701	0,999998413	1,000127125
4	0,999942883	0,999999504	1,000056126
4,25	0,999975024	0,999999846	1,000024668
4,5	0,999989099	0,999999953	1,000010807
4,75	0,999995248	0,999999985	1,000004723
5	0,99999793	0,999999996	1,000002061

По результатам второй серии численного эксперимента на рисунке 2 представлены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

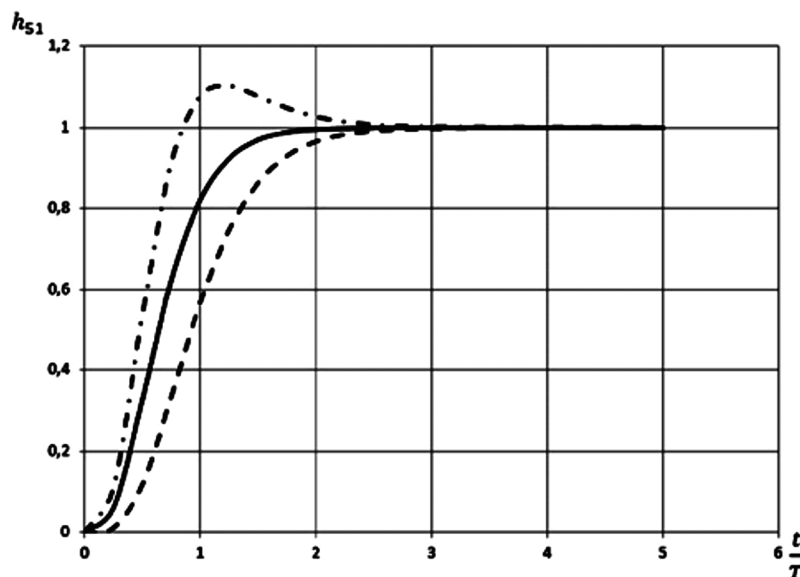


Рисунок 2 – Зависимость h_{s1} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Выводы:

Для систем пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени числителя передаточной функции определены переходные характеристики.

Проведены первый и второй численные эксперименты, на основании которых получены зависимости переходных характеристик системы пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

Установлено: если постоянная времени полинома числителя передаточной функции пятого порядка меньше или равна большей постоянной времени знаменателя передаточной функции, то переходные характеристики систем пятого порядка с двумя корнями кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени числителя передаточной функции не имеют перерегулирования.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик систем пятого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 423-429.

References

1. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Serkin A.D. Analysis of transient characteristics of systems of the fifth order with multiple roots of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii. (Polytechnicheskij Vestnik). – 2019. – № 1. – P. 423-429.

УДК 62

БЛИЗКАЯ К ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ ПО НАПРЯЖЕНИЮ, МАКСИМАЛЬНОМУ И МИНИМАЛЬНОМУ ЗНАЧЕНИЯМ ТОКА И СКОРОСТИ



THE DIAGRAM IS CLOSE TO THE OPTIMUM IN TERMS OF SPEED ACTUATOR MOVEMENT DIAGRAM AT VOLTAGE LIMITS, MAXIMUM AND MINIMUM VALUES OF CURRENT AND SPEED

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлина Владислава Анатольевна

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры
информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Чернуха Максим Валерьевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Кияшко Данил Сергеевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Разработана близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода при ограничении по напряжению, максимальному и минимальному значениям тока и скорости. Диаграмма состоит из семи этапов, определена область существования диаграммы.

Ключевые слова: близкая к оптимальной, с ограничением по напряжению, с ограничением по максимальному и минимальному значениям тока и скорости, семи этапная диаграмма.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Murlina Vladislava Anatolievna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Information Systems and Programming,
Kuban State Technological University

Chernukha Maksim Valerevich

Student,
Kuban State Technological University

Kiyashko Danil Sergeevich

Student,
Kuban State Technological University

Annotation. A diagram of the movement of the actuator's actuator, close to optimal in speed, was developed with a limitation on voltage, maximum and minimum values of current and speed. The diagram consist of seven stages, the area of existence of the diagram is determined.

Keywords: close to optimal, with voltage limitation, with maximum and minimum values of current and speed, seven-stage diagram.

В монографии [1] представлены оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода при различных ограничениях. Так как характеристическое уравнение силовой части электропривода имеет три варианта расклада корней, то возможны три вида переходных процессов. Поэтому необходимо разработать три алгоритма управления перемещением исполнительного органа электропривода.

Для устранения указанного недостатка предлагаются близкие к оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода при различных ограничениях.

В статье [2] приведена близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода при ограничении по напряжению.

В статье [3] приведена близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода при ограничениях по напряжению и максимальному току.

В данной работе предлагается близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода при ограничениях по напряжению, максимальному и минимальному значениям тока и скорости.

На рисунке 1 приведена близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода при ограничениях по напряжению, максимальному и минимальному значениям тока и скорости (механические контролируемые координаты).

На рисунке 2 приведена близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода при ограничениях по напряжению, максимальному и минимальному значениям тока и скорости (электрические контролируемые координаты).

На рисунках приняты обозначения:

φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}}$;

$\omega^{(1)}$ – первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^2}$;

$\omega^{(2)}$ – вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^3}$;

U – напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;

$I_{\text{я}}$ – ток якорной цепи электродвигателя, А

$I_{\text{я}}^{(1)}$ – первая производная тока якорной цепи электродвигателя, $\frac{\text{А}}{\text{с}}$;

$M_{\text{со}}$ – момент сопротивления электропривода, Н · м;

$\varphi_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\omega_{\text{доп}}$ – допустимое значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}}$;

$\omega_{\text{max}}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\text{min}}^{(1)}$ – минимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\text{max1}}^{(2)}$ – первое максимальное значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^3}$;

$\omega_{\text{max2}}^{(2)}$ – второе максимальное значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^3}$;

$\omega_{\text{max3}}^{(2)}$ – третье максимальное значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^3}$;

$\omega_{\text{max4}}^{(2)}$ – четвертое максимальное значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^3}$;

$U_{\text{доп}}$ – допустимое значение напряжения, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;

$I_{\text{доп}}$ – допустимое значение тока якорной цепи электродвигателя, А;

$I_{\text{max1}}^{(1)}$ – первое максимальное значение первой производной тока якорной цепи электродвигателя, $\frac{\text{А}}{\text{с}}$;

$I_{\text{max2}}^{(1)}$ – второе максимальное значение первой производной тока якорной цепи электродвигателя, $\frac{\text{А}}{\text{с}}$;

$I_{\max 3}^{(1)}$ – третье максимальное значение первой производной тока якорной цепи электродвигателя, $\frac{A}{c}$;

$I_{\max 4}^{(1)}$ – четвертое максимальное значение первой производной тока якорной цепи электродвигателя, $\frac{A}{c}$;

t – время, с;

t_1 – длительность первого этапа, с;

t_2 – длительность второго этапа, с;

t_3 – длительность третьего этапа, с;

t_4 – длительность четвертого этапа, с;

t_5 – длительность пятого этапа, с;

t_6 – длительность шестого этапа, с;

t_7 – длительность седьмого этапа, с;

$R_{я}$ – сопротивление якорной цепи, Ом.

C_m – коэффициент пропорциональности между током и моментом электродвигателя, $B \cdot c$;

Определим аналитические зависимости контролируемых координат электропривода от времени при его близком к оптимальному по быстродействию движению при ограничениях по напряжению, максимальному и минимальному значениям тока и скорости.

Этап 1. В интервале времени $0 \leq t \leq t_1$

$$\omega^{(2)}(t) = \omega_{\max 1}^{(2)};$$

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t;$$

$$\omega(t) = \frac{1}{2} \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t^2;$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t^3;$$

$$I_{я}(t) = \frac{1}{C_m} \cdot [M_{co} + J \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t];$$

$$I_{я}^{(1)}(t) = \frac{J}{C_m} \cdot \omega_{\max 1}^{(2)};$$

$$U(t) = \frac{1}{2} C_e \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t^2 + \frac{R_{я}}{C_m} \cdot [M_{co} + J \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t] + \frac{L_{я} J}{C_m} \cdot \omega_{\max 1}^{(2)},$$

где J – момент инерции исполнительного органа электропривода, $кг \cdot м^2$;

C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью и ЭДС электродвигателя, $\frac{B \cdot c}{рад}$;

$L_{я}$ – индуктивность якорной цепи электродвигателя, Гн.

При $t = 0$

$$\omega_0^{(2)} = 0;$$

$$\omega_0^{(1)} = 0;$$

$$\omega_0 = 0;$$

$$\varphi_0 = \varphi_{\text{нач}};$$

$$I_{я0} = \frac{M_{co}}{C_m};$$

$$I_{я0}^{(1)} = 0;$$

$$U_0 = \frac{R_{я} M_{co}}{C_m}.$$

При $t = 0_+$

$$\begin{aligned}\omega_{0+}^{(2)} &= \omega_{\max 1}^{(2)}; \\ \omega_{0+}^{(1)} &= 0; \\ \omega_{0+} &= 0; \\ \varphi_{0+} &= \varphi_{\text{нач}}; \\ I_{я0+} &= \frac{M_{\text{с0}}}{C_M}; \\ I_{я0+}^{(1)} &= \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 1}^{(2)}; \\ U_{0+} &= \frac{R_{я} M_{\text{с0}}}{C_M} + \frac{L_{я} J}{C_M} \cdot \omega_{\max 1}^{(2)}.\end{aligned}$$

При $t = t_1$

$$\begin{aligned}\omega_1^2 &= \omega_{\max 1}^{(2)}; \\ \omega_1^{(1)} &= \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1; \\ \omega_1 &= \frac{1}{2} \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1^2; \\ \varphi_1 &= \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1^3; \\ I_{я1} &= \frac{1}{C_M} \cdot [M_{\text{с0}} + J \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1]; \\ I_{я1}^{(1)} &= \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 1}^{(2)}; \\ U_1 &= \frac{1}{2} C_e \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1^2 + \frac{R_{я}}{C_M} \cdot [M_{\text{с0}} + J \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1] + \frac{L_{я} J}{C_M} \cdot \omega_{\max 1}^{(2)}.\end{aligned}$$

Так как $I_{я1} = I_{\text{доп}}$ и $\omega_{\max 1}^{(1)} = \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1$, то

$$\begin{aligned}I_{\text{доп}} &= \frac{1}{C_M} \cdot [M_{\text{с0}} + J \omega_{\max 1}^{(1)}]; \\ \omega_{\max 1}^{(1)} &= \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{с0}}}{J}.\end{aligned}$$

Так как $I_{я1}^{(1)} = I_{\max 1}^{(1)}$, то

$$I_{\max 1}^{(1)} = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 1}^{(2)}.$$

Так как $I_{\text{доп}} = \frac{M_{\text{с0}}}{C_M} + I_{\max 1}^{(1)} \cdot t_1$, то

$$t_1 = \frac{I_{\text{доп}} \frac{M_{\text{с0}}}{C_M}}{I_{\max 1}^{(1)}}.$$

Или

$$t_1 = \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{с0}}}{J \cdot \omega_{\max 1}^{(2)}}.$$

Так как $\omega_1 = \frac{1}{2} \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1^2$, то

$$\omega_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{(C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{с0}})^2}{J^2 \omega_{\max 1}^{(2)}}.$$

Так как $U_1 = U_{\text{доп}}$, то

$$\begin{aligned}U_{\text{доп}} &= C_e \omega_1 + R_{я} I_{\text{доп}} + \frac{L_{я} J}{C_M} \cdot \omega_{\max 1}^{(2)}; \\ (U_{\text{доп}} - R_{я} I_{\text{доп}}) &= \frac{1}{2} C_e \cdot \frac{(C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{с0}})^2}{J^2 \omega_{\max 1}^{(2)}} + \frac{L_{я} J}{C_M} \cdot \omega_{\max 1}^{(2)};\end{aligned}$$

$$\left[\omega_{\max 1}^{(2)} \right]^2 - \frac{C_M}{L_{яJ}} \cdot (U_{\text{доп}} - R_{я} I_{\text{доп}}) \cdot \omega_{\max 1}^{(2)} + \frac{1}{2} \frac{C_e C_M}{L_{яJ}} \cdot \frac{(C_M I_{\text{доп}} - M_{co})^2}{J^2} = 0.$$

$$\omega_{\max 1}^{(2)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_M \cdot (U_{\text{доп}} - R_{я} I_{\text{доп}})}{L_{яJ}} + \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \frac{C_M^2 \cdot (U_{\text{доп}} - R_{я} I_{\text{доп}})^2}{L_{я}^2 J^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e C_M}{L_{яJ}} \cdot \frac{(C_M I_{\text{доп}} - M_{co})^2}{J^2}}.$$

Этап 2. В интервале времени $t_1 \leq t \leq (t_1 + t_2)$:

$$\omega^{(2)}(t) = 0;$$

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1;$$

$$\omega(t) = \frac{1}{2} \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1^2 + \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1);$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1^3 + \frac{1}{2} \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1^2 \cdot (t - t_1) + \frac{1}{2} \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1)^2;$$

$$I_{я}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{co} + J \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1 \right];$$

$$I_{я}^{(1)}(t) = 0;$$

$$U(t) = C_e \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot \left[\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 \cdot (t - t_1) \right] + \frac{R_{я}}{C_M} \cdot \left[M_{co} + J \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1 \right].$$

При $t = t_{1+}$

$$\omega_{1+}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{1+}^{(1)} = \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{1+} = \frac{1}{2} \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1^2;$$

$$\varphi_{1+} = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{6} \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1^3;$$

$$I_{я1+} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{co} + J \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1 \right];$$

$$I_{я1+}^{(1)} = 0;$$

$$U_{1+} = \frac{1}{2} C_e \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1^2 + \frac{R_{я}}{C_M} \cdot \left[M_{co} + J \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1 \right].$$

При $t = (t_1 + t_2)$

$$\omega_2^{(2)} = 0;$$

$$\omega_2^{(1)} = \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1;$$

$$\omega_2 = \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$\varphi_2 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right);$$

$$I_{я2} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{co} + J \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1 \right];$$

$$I_{я2}^{(1)} = 0;$$

$$U_2 = C_e \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot \left[\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right] + \frac{R_{я}}{C_M} \cdot \left[M_{co} + J \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1 \right].$$

Этап 3. В интервале времени $(t_1 + t_2) \leq t \leq (t_1 + t_2 + t_3)$:

$$\omega^{(2)}(t) = -\omega_{\max 2}^{(2)};$$

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1 - \omega_{\max 2}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2);$$

$$\omega(t) = \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + \omega_{\max 1}^{(2)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2) - \frac{1}{2} \omega_{\max 2}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2)^2;$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max1}}^{(2)} \left(\frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right) + \omega_{\text{max1}}^{(2)} \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) \cdot (t - t_1 - t_2) + \frac{1}{2} \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2)^2 - \frac{1}{6} \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2)^3;$$

$$I_{\text{я}}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} + J \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot t_1 - J \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2) \right];$$

$$I_{\text{я}}^{(1)}(t) = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max2}}^{(2)};$$

$$U(t) = C_e \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot \left[\left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + t_1 \cdot (t - t_1 - t_2) \right] - \frac{1}{2} C_e \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2)^2 + \frac{R_{\text{я}}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} + J \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot t_1 - J \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2) \right] - \frac{L_{\text{я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max2}}^{(2)}.$$

При $t = (t_1 + t_2)_+$

$$\omega_{2+}^{(2)} = -\omega_{\text{max2}}^{(2)};$$

$$\omega_{2+}^{(1)} = \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{2+} = \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$\varphi_{2+} = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 \right);$$

$$I_{\text{я}2+} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} + J \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot t_1 \right];$$

$$I_{\text{я}2+}^{(1)} = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max2}}^{(2)};$$

$$U_{2+} = C_e \cdot \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot \left[\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right] + \frac{R_{\text{я}}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} + J \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot t_1 \right] - \frac{L_{\text{я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max2}}^{(2)}.$$

При $t = (t_1 + t_2 + t_3)_+$

$$\omega_3^{(2)} = -\omega_{\text{max2}}^{(2)};$$

$$\omega_3^{(1)} = \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot t_1 - \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot t_3;$$

$$\omega_3 = \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 + t_1 t_3 \right) - \frac{1}{2} \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot t_3^2;$$

$$\varphi_3 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max1}}^{(2)} \left(\frac{1}{6} t_1^3 + \frac{1}{2} t_1^2 t_2 + \frac{1}{2} t_1 t_2^2 + \frac{1}{2} t_1^2 t_3 + t_1 t_2 t_3 + \frac{1}{2} t_1 t_3^2 \right) - \frac{1}{6} \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot t_3^3;$$

$$I_{\text{я}3} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} + J \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot t_1 - J \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot t_3 \right];$$

$$I_{\text{я}3}^{(1)} = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max2}}^{(2)};$$

$$U_3 = C_e \cdot \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot \left[\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 + t_1 t_3 \right] - \frac{1}{2} C_e \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot t_3^2 +$$

$$+ \frac{R_{\text{я}}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} + J \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot t_1 - J \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot t_3 \right] - \frac{L_{\text{я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max2}}^{(2)}.$$

Так как $\omega_3^{(1)} = 0$, то

$$\omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot t_1 - \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot t_3 = 0.$$

При этом $I_{\text{я}3} = \frac{M_{\text{co}}}{C_M}$.

Так как $\omega_3 = \omega_{\text{доп}}$, то

$$\omega_{\text{доп}} = \omega_{\text{max1}}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 + t_1 t_3 \right) - \frac{1}{2} \omega_{\text{max2}}^{(2)} \cdot t_3^2.$$

Так как $U_3 = -U_{\text{доп}}$, то

$$-U_{\text{доп}} = C_e \omega_{\text{доп}} + \frac{R_{\text{я}} M_{\text{co}}}{C_M} - \frac{L_{\text{я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max2}}^{(2)};$$

$$\omega_{\max 2}^{(2)} = \frac{C_M U_{\text{доп}}}{L_{яJ}} + \frac{C_e C_M}{L_{яJ}} \cdot \omega_{\text{доп}} + \frac{R_{я} M_{\text{с0}}}{L_{яJ}}.$$

$$t_3 = \frac{\omega_{\max 1}^{(2)}}{\omega_{\max 2}^{(2)}} \cdot t_1.$$

Так как $\omega_{\text{доп}} = \omega_2 + \omega_{\max}^{(2)} \cdot t_1 t_3 - \frac{1}{2} \omega_{\max 2}^{(2)} \cdot t_3^2$, то

$$\omega_2 = \omega_{\text{доп}} - \omega_{\max}^{(2)} \cdot t_1 t_3 + \frac{1}{2} \omega_{\max 2}^{(2)} \cdot t_3^2.$$

$$t_2 = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_{\max}^{(1)}}.$$

Так как $I_{я3}^{(1)} = I_{\max 2}^{(1)}$, то

$$I_{\max 2}^{(1)} = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 2}^{(2)}.$$

Этап 4. В интервале времени $(t_1 + t_2 + t_3) \leq t \leq (t_1 + t_2 + t_3 + t_4)$:

$$\omega^{(2)}(t) = 0;$$

$$\omega^{(1)}(t) = 0;$$

$$\omega(t) = \omega_{\text{доп}};$$

$$\varphi(t) = \varphi_3 + \omega_{\text{доп}} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3);$$

$$I_{я}(t) = \frac{M_{\text{с0}}}{C_M};$$

$$I_{я}^{(1)}(t) = 0;$$

$$U(t) = C_e \omega_{\text{доп}} + \frac{R_{я} M_{\text{с0}}}{C_M}.$$

При $t = (t_1 + t_2 + t_3)_+$:

$$\omega_{3+}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{3+}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{3+} = \omega_{\text{доп}};$$

$$\varphi_{3+} = \varphi_3;$$

$$I_{я3+} = \frac{M_{\text{с0}}}{C_M};$$

$$I_{я3+}^{(1)} = 0;$$

$$U_{3+} = C_e \omega_{\text{доп}} + \frac{R_{я} M_{\text{с0}}}{C_M}.$$

При $t = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4)$:

$$\omega_4^{(2)} = 0;$$

$$\omega_4^{(1)} = 0;$$

$$\omega_4 = \omega_{\text{доп}};$$

$$\varphi_4 = \varphi_3 + \omega_{\text{доп}} \cdot t_4;$$

$$I_{я4} = \frac{M_{\text{с0}}}{C_M};$$

$$I_{я4}^{(1)} = 0;$$

$$U_4 = C_e \omega_{\text{доп}} + \frac{R_{я} M_{\text{с0}}}{C_M}.$$

Этап 5. В интервале времени $(t_1+t_2+t_3+t_4) \leq t \leq (t_1+t_2+t_3+t_4+t_5)$:

$$\omega^{(2)}(t) = -\omega_{\max 3}^{(2)};$$

$$\omega^{(1)}(t) = -\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4);$$

$$\omega(t) = \omega_{\text{доп}} - \frac{1}{2} \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4)^2;$$

$$\varphi(t) = \varphi_4 + \omega_{\text{доп}} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4) - \frac{1}{6} \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4)^3;$$

$$I_{\text{я}}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} - J \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4) \right];$$

$$I_{\text{я}}^{(1)}(t) = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 3}^{(2)};$$

$$U(t) = C_e \cdot \left[\omega_{\text{доп}} - \frac{1}{2} \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4)^2 \right] + \\ + \frac{R_{\text{я}}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} - J \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4) \right] - \frac{L_{\text{я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\max 3}^{(2)}.$$

При $t = (t_1+t_2+t_3+t_4)_+$:

$$\omega_{4+}^{(2)} = -\omega_{\max 3}^{(2)};$$

$$\omega_{4+}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{4+} = \omega_{\text{доп}};$$

$$\varphi_{4+} = \varphi_4;$$

$$I_{\text{я}4+} = \frac{M_{\text{co}}}{C_M};$$

$$I_{\text{я}4+}^{(1)} = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 3}^{(2)};$$

$$U_{4+} = C_e \omega_{\text{доп}} + \frac{R_{\text{я}} M_{\text{co}}}{C_M} - \frac{L_{\text{я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\max 3}^{(2)}.$$

При $t = (t_1+t_2+t_3+t_4+t_5)$:

$$\omega_5^{(2)} = -\omega_{\max 3}^{(2)};$$

$$\omega_5^{(1)} = -\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5;$$

$$\omega_5 = \omega_{\text{доп}} - \frac{1}{2} \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5^2;$$

$$\varphi_5 = \varphi_4 + \omega_{\text{доп}} \cdot t_5 - \frac{1}{6} \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5^3;$$

$$I_{\text{я}5} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} - J \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 \right];$$

$$I_{\text{я}5}^{(1)} = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 3}^{(2)};$$

$$U_5 = C_e \cdot \left[\omega_{\text{доп}} - \frac{1}{2} \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5^2 \right] + \frac{R_{\text{я}}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} - J \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 \right] - \frac{L_{\text{я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\max 3}^{(2)}.$$

Так как $I_{\text{я}5} = -I_{\text{доп}}$ и $\omega_{\min}^{(1)} = -\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5$, то

$$-I_{\text{доп}} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} + J \omega_{\min}^{(1)} \right];$$

$$\omega_{\min}^{(1)} = -\frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{co}}}{J}.$$

Так как $I_{\text{я}5}^{(1)} = -I_{\max 3}^{(1)}$, то

$$I_{\max 3}^{(1)} = -\frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 3}^{(2)}.$$

Так как $-I_{\text{доп}} = \frac{M_{\text{co}}}{C_M} - I_{\max 3}^{(1)} \cdot t_5$, то

$$t_5 = \frac{I_{\text{доп}} + \frac{M_{\text{co}}}{C_M}}{I_{\text{max3}}^{(1)}}$$

Или

$$t_5 = \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{co}}}{J \omega_{\text{max3}}^{(2)}}$$

Так как $\omega_5 = \omega_{\text{доп}} - \frac{1}{2} \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5^2$, то

$$\omega_5 = \omega_{\text{доп}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{(C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{co}})^2}{J^2 \omega_{\text{max3}}^{(2)}}$$

Так как $U_5 = -U_{\text{доп}}$, то

$$-U_{\text{доп}} = C_e \omega_5 - R_{\text{я}} I_{\text{доп}} - \frac{L_{\text{я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max3}}^{(2)};$$

$$-U_{\text{доп}} = C_e \omega_{\text{доп}} - \frac{1}{2} C_e \cdot \frac{(C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{co}})^2}{J^2 \omega_{\text{max3}}^{(2)}} - R_{\text{я}} I_{\text{доп}} + \frac{L_{\text{я}} J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max3}}^{(2)};$$

$$\left[\omega_{\text{max3}}^{(2)} \right]^2 - \frac{C_M}{L_{\text{я}} J} \cdot (U_{\text{доп}} + C_e \omega_{\text{доп}} - R_{\text{я}} I_{\text{доп}}) \cdot \omega_{\text{max3}}^{(2)} + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e C_M}{L_{\text{я}} J} \cdot \frac{(C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{co}})^2}{J^2} = 0.$$

$$\omega_{\text{max3}}^{(2)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_M (U_{\text{доп}} + C_e \omega_{\text{доп}} - R_{\text{я}} I_{\text{доп}})}{L_{\text{я}} J} + \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \frac{C_M^2 (U_{\text{доп}} + C_e \omega_{\text{доп}} - R_{\text{я}} I_{\text{доп}})^2}{L_{\text{я}}^2 \cdot J^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e \cdot C_M}{L_{\text{я}} \cdot J} \cdot \frac{(C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{co}})^2}{J^2}}.$$

Этап 6. В интервале времени $(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) \leq t \leq (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6)$:

$$\omega^{(2)}(t) = 0;$$

$$\omega^{(1)}(t) = -\omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5;$$

$$\omega(t) = \omega_{\text{доп}} - \frac{1}{2} \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5^2 - \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5 \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5);$$

$$\varphi(t) = \varphi_4 + \omega_{\text{доп}} \cdot t_5 - \frac{1}{6} \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5^3 + \omega_{\text{доп}} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5) - \frac{1}{2} \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5^3 \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5) - \frac{1}{2} \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5 \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5)^2;$$

$$I_{\text{я}}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot [M_{\text{co}} - J \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5];$$

$$I_{\text{я}}^{(1)}(t) = 0;$$

$$U(t) = C_e \cdot \left[\omega_{\text{доп}} - \frac{1}{2} \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5^2 - \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5 \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5) \right] + \frac{R_{\text{я}}}{C_M} \cdot [M_{\text{co}} - J \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5].$$

При $t = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5)_+$:

$$\omega_{5+}^{(2)} = 0;$$

$$\omega_{5+}^{(1)} = -\omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5;$$

$$\omega_{5+} = \omega_{\text{доп}} - \frac{1}{2} \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5^2;$$

$$\varphi_{5+} = \varphi_4 + \omega_{\text{доп}} \cdot t_5 - \frac{1}{6} \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5^3;$$

$$I_{\text{я}5+} = \frac{1}{C_M} \cdot [M_{\text{co}} - J \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5];$$

$$I_{\text{я}5+}^{(1)} = 0;$$

$$U_{5+} = C_e \cdot \left[\omega_{\text{доп}} - \frac{1}{2} \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5^2 \right] + \frac{R_{\text{я}}}{C_M} \cdot [M_{\text{co}} - J \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5].$$

При $t = (t_1+t_2 + t_3 + t_4+t_5 + t_6)$:

$$\omega_6^{(2)} = 0;$$

$$\omega_6^{(1)} = -\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5;$$

$$\omega_6 = \omega_{\text{доп}} - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2}t_5^2 + t_5t_6\right);$$

$$\varphi_6 = \varphi_4 + \omega_{\text{доп}} \cdot (t_5 + t_6) - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{6}t_5^3 + \frac{1}{2}t_5^2t_6 + \frac{1}{2}t_5t_6^2\right);$$

$$I_{я6} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} - J\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 \right];$$

$$I_{я6}^{(1)} = 0;$$

$$U_6 = C_e \cdot \left[\omega_{\text{доп}} - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2}t_5^2 + t_5t_6\right) \right] + \frac{R_{я}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} - J\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 \right].$$

Этап 7. В интервале времени $(t_1+t_2 + t_3 + t_4+t_5 + t_6) \leq t \leq (t_1+t_2+t_3 + t_4+t_5 + t_6 + t_7)$:

$$\omega^{(2)}(t) = \omega_{\max 4}^{(2)};$$

$$\omega^{(1)}(t) = -\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 + \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6);$$

$$\omega(t) = \omega_{\text{доп}} - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2}t_5^2 + t_5t_6\right) - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6) + \\ + \frac{1}{2}\omega_{\max 4}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6)^2;$$

$$\varphi(t) = \varphi_4 + \omega_{\text{доп}} \cdot (t_5 + t_6) - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{6}t_5^3 + \frac{1}{2}t_5^2t_6 + \frac{1}{2}t_5t_6^2\right) + \\ + \omega_{\text{доп}} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6) - \\ - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2}t_5^2 + t_5t_6\right) \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6) - \\ - \frac{1}{2}\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6)^2 + \\ + \frac{1}{6}\omega_{\max 4}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6)^3;$$

$$I_{я}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} - J\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 + J\omega_{\max 4}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6) \right];$$

$$I_{я}^{(1)}(t) = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 4}^{(2)};$$

$$U(t) = C_e \left\{ \omega_{\text{доп}} - \omega_{\max 3}^{(2)} \left[\left(\frac{1}{2}t_5^2 + t_5t_6\right) - t_5(t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6) \right] + \right. \\ \left. + \frac{1}{2}\omega_{\max 4}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6) \right\} + \frac{R_{я}}{C_M} \cdot \\ \cdot \left[M_{\text{co}} - J\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 + J\omega_{\max 4}^{(2)} \cdot (t - t_1 - t_2 - t_3 - t_4 - t_5 - t_6) \right] + \frac{L_{я}J}{C_M} \cdot \omega_{\max 4}^{(2)}.$$

При $t = (t_1+t_2 + t_3 + t_4+t_5 + t_6)_+$:

$$\omega_{6+}^{(2)} = \omega_{\max 4}^{(2)};$$

$$\omega_{6+}^{(1)} = -\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5;$$

$$\omega_{6+} = \omega_{\text{доп}} - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2}t_5^2 + t_5t_6\right);$$

$$\varphi_{6+} = \varphi_4 + \omega_{\text{доп}} \cdot (t_5 + t_6) - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{6}t_5^3 + \frac{1}{2}t_5^2t_6 + \frac{1}{2}t_5t_6^2\right);$$

$$I_{я6+} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} - J\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 \right];$$

$$I_{я6+}^{(1)} = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 4}^{(2)};$$

$$U_{6+} = C_e \cdot \left[\omega_{\text{доп}} - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_5^2 + t_5 t_6 \right) \right] + \frac{R_{я}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} - J \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 \right] + \frac{L_{яJ}}{C_M} \cdot \omega_{\max 4}^{(2)}.$$

При $t = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7)$:

$$\omega_7^{(2)} = \omega_{\max 4}^{(2)};$$

$$\omega_7^{(1)} = -\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 + \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot t_7;$$

$$\omega_7 = \omega_{\text{доп}} - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_5^2 + t_5 t_6 + t_5 t_7 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot t_7^2;$$

$$\varphi_7 = \varphi_4 + \omega_{\text{доп}} \cdot (t_5 + t_6 + t_7) - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{6} t_5^3 + \frac{1}{2} t_5^2 t_6 + \frac{1}{2} t_5 t_6^2 + \frac{1}{2} t_5^2 t_7 + t_5 t_6 t_7 + \frac{1}{2} t_5 t_7^2 \right) + \frac{1}{6} \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot t_7^3;$$

$$I_{я7} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} - J \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 + J \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot t_7 \right];$$

$$I_{я7}^{(1)} = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 4}^{(2)};$$

$$U_7 = C_e \cdot \left[\omega_{\text{доп}} - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_5^2 + t_5 t_6 + t_5 t_7 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot t_7^2 \right] + \frac{R_{я}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{co}} - J \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 + J \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot t_7 \right] + \frac{L_{яJ}}{C_M} \cdot \omega_{\max 4}^{(2)}.$$

Так как $\omega_7^{(1)} = 0$, то

$$-\omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 + \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot t_7 = 0.$$

При этом $I_{я7} = \frac{M_{\text{co}}}{C_M}$.

Так как $\omega_7 = 0$, то

$$\omega_{\text{доп}} - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_5^2 + t_5 t_6 + t_5 t_7 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot t_7^2 = 0.$$

Так как $U_7 = U_{\text{доп}}$, то

$$U_{\text{доп}} = \frac{R_{я}}{C_M} \cdot M_{\text{co}} + \frac{L_{яJ}}{C_M} \cdot \omega_{\max 4}^{(2)};$$

$$\omega_{\max 4}^{(2)} = \frac{C_M U_{\text{доп}} - R_{я} M_{\text{co}}}{L_{яJ}}.$$

$$t_7 = \frac{\omega_{\max 3}^{(2)}}{\omega_{\max 4}^{(2)}} \cdot t_5.$$

$$\omega_6 = \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot t_5 t_7 - \frac{1}{2} \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot t_7^2.$$

$$t_6 = \frac{\omega_6 - \omega_5}{\omega_{\min}}.$$

Так как $I_{я7}^{(1)} = I_{\max 4}^{(1)}$, то

$$I_{\max 4}^{(1)} = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\max 4}^{(2)}.$$

Так как $\varphi_7 = \varphi_{\text{кон}}$, то

$$\varphi_{\text{кон}} = \varphi_6 + \omega_{\text{доп}} \cdot t_7 - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_5^2 t_7 + t_5 t_6 t_7 + \frac{1}{2} t_5 t_7^2 \right) + \frac{1}{6} \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot t_7^3;$$

$$\varphi_6 = \varphi_{\text{кон}} - \omega_{\text{доп}} \cdot t_7 + \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_5^2 t_7 + t_5 t_6 t_7 + \frac{1}{2} t_5 t_7^2 \right) - \frac{1}{6} \omega_{\max 4}^{(2)} \cdot t_7^3.$$

Так как $\varphi_6 = \varphi_5 + \omega_{\text{доп}} \cdot t_6 - \omega_{\max 3}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_5^2 t_6 + \frac{1}{2} t_5 t_6^2 \right)$, то

$$\varphi_5 = \varphi_6 - \omega_{\text{доп}} \cdot t_6 + \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_5^2 t_6 + \frac{1}{2} t_5 t_6^2 \right).$$

Так как $\varphi_5 = \varphi_4 + \omega_{\text{доп}} \cdot t_5 - \frac{1}{6} \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5^3$, то

$$\varphi_4 = \varphi_5 - \omega_{\text{доп}} \cdot t_5 + \frac{1}{6} \omega_{\text{max3}}^{(2)} \cdot t_5^3.$$

$$t_4 = \frac{\varphi_4 - \varphi_3}{\omega_{\text{доп}}}.$$

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7.$$

В данной статье рассматривается электропривод, имеющий следующие параметры: $C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$; $C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}$; $R_{\text{я}} = 5 \text{ Ом}$; $L_{\text{я}} = 0,1 \text{ Гн}$; $J = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. На контролируемые координаты электропривода наложены ограничения: $U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}$; $I_{\text{доп}} = 8 \text{ А}$; $\omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Момент сопротивления электропривода $M_{\text{со}} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

В таблице 1 представлены результаты численного эксперимента рассматриваемого электропривода (механические контролируемые координаты).

Таблица 1

t, с	$\omega^{(2)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$	$\omega^{(1)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$	$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$(\varphi_{\text{нач}} - \varphi_{\text{нач}}), \text{ рад}$
0	0 → 52470,2212	0	0	0
$1,905842928 \cdot 10^{-3}$	52470,2212 → 0	100	0,095292146	0,000060537
1,60052739	0 → - 117500	100	159,9574468	127,9319392
1,601378454	- 117500 → 0	0	160	128,0680973
3,024321235	0 → - 102362,6208	0	160	355,7389423
3,027251992	- 102362,6208 → 0	- 300	159,5603864	356,207434
3,556511251	0 → 57500	- 300	0,782608696	398,6389414
3,561728642	57500 → 0	0	0	400

В таблице 2 представлены результаты численного эксперимента рассматриваемого электропривода (электрические контролируемые координаты).

Таблица 2

t, с	$I_{\text{я}}, \text{ А}$	$I_{\text{я}}^{(1)}, \frac{\text{А}}{\text{с}}$	U, В
0	4	0 → 2098,808848	20 → 229,8808848
$1,905842928 \cdot 10^{-3}$	8	2098,808848 → 0	250 → 40,11911518
1,60052739	8	0 → - 4700	239,9468086 → → - 230,0531914
1,601378454	4	- 4700 → 0	- 250 → 220
3,024321235	4	0 → - 4094,504832	220 → - 189,4504832
3,027251992	- 8	- 4094,504832 → 0	- 250 → 159,450483
3,556511251	- 8	0 → 2300	- 39,02173904 → → 190,978261
3,561728642	4	2300 → 0	250 → 20

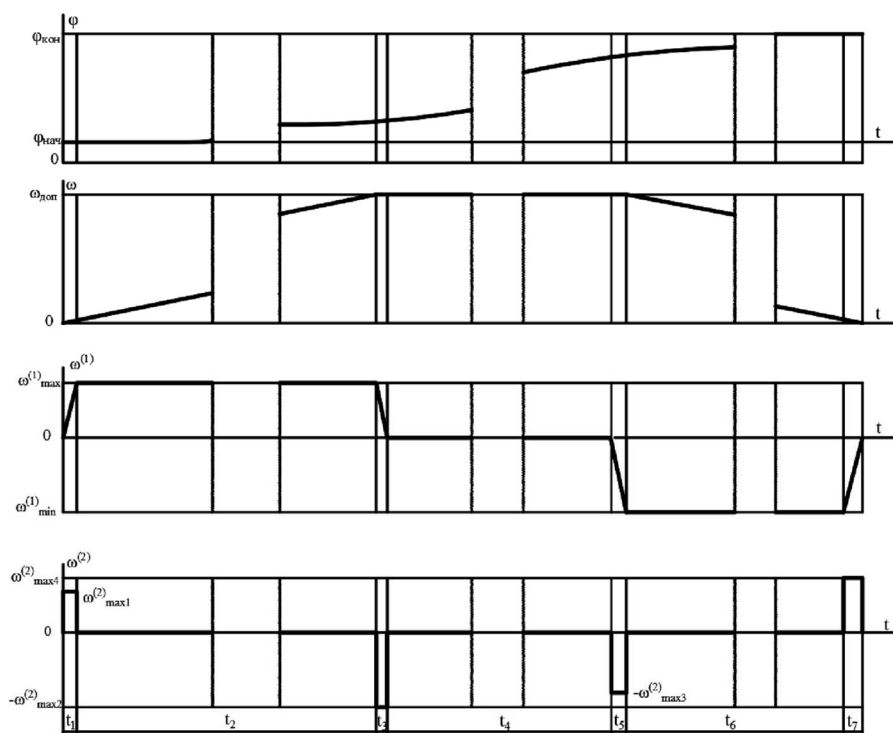


Рисунок 1 – Близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода при ограничениях по напряжению, максимальному и минимальному значениям тока и скорости (механические контролируемые координаты)

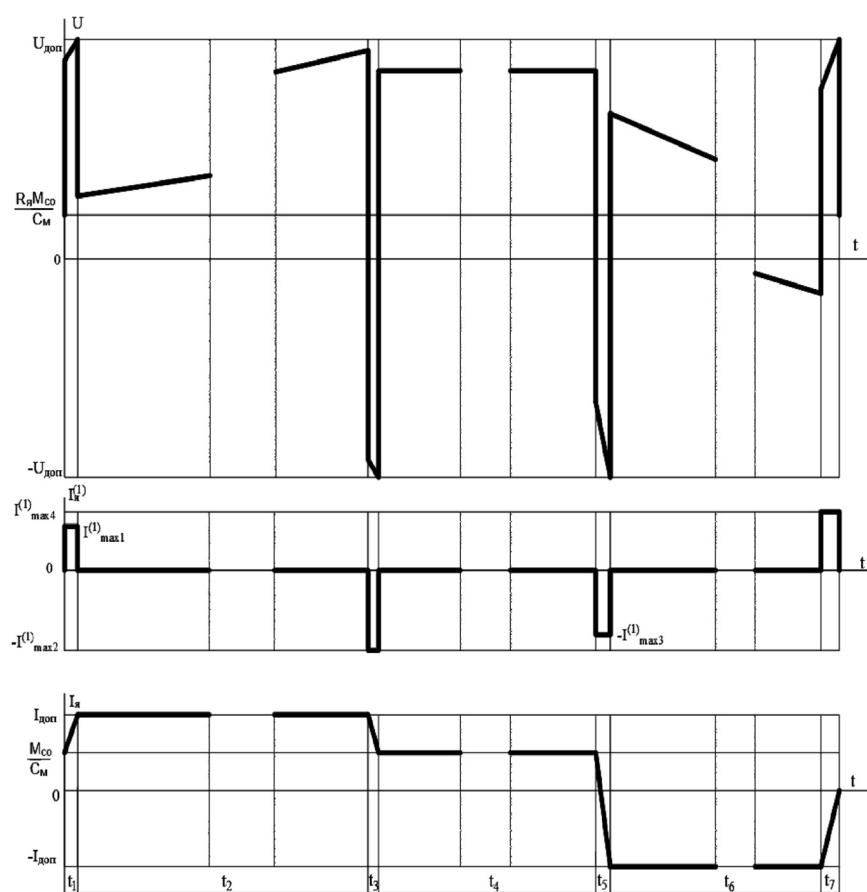


Рисунок 2 – Близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода при ограничениях по напряжению, максимальному и минимальному значениям тока и скорости (электрические контролируемые координаты)

Выводы

В качестве варьируемых параметров близкой к оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода при ограничениях по напряжению, максимальному и минимальному значениям тока и скорости используются длительности семи этапов и четыре разных максимальных значения второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода.

Разработан алгоритм, позволяющий определить все параметры близкой к оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода при ограничениях по напряжению, максимальному и минимальному значениям тока и скорости.

Так как получены аналитические значения для всех параметров близкой к оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода при ограничениях по напряжению, максимальному и минимальному значениям тока и скорости, то при внедрении требуется более простое и дешевое оборудование.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Литаш Б.С. Квазиоптимальный по быстродействию программно-управляемый позиционный электропривод: монография / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар : Изд. ГУО ВПО «КубГТУ», 2009. – 178 с.
2. Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Чернуха М.В. Близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода при ограничении по напряжению // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – С. 404–413.
3. Добробаба Ю.П., Мурлина В.А., Чернуха М.В. Близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода при ограничениях по напряжению и максимальному значению тока // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 4. – С. 374–385.

References

1. Dobrobaba S.P., Litash B.S. Quasi-optimal in terms of speed of the program-controlled positional electric drive: monograph / Kuban State Technological University. – Krasnodar : Publishing house of State Educational Institution of Higher Professional Education «KubGTU», 2009. – 178 p.
2. Dobrobaba S.P., Murlina, V.A., Chernukha, M.V. The close to optimal diagram of the motion of the actuator under the voltage limit // Nauka. Technique. Tekhnologii (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 1. – P. 404–413.
3. Dobrobaba S.P., Murlina V.A., Chernukha M.V. Close to the optimal speed diagram of actuator movement under restrictions on voltage and maximum current value // Nauka. Technique. Tekhnologii (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 4. – P. 374–385.

УДК 62

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРИ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ЕГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА



DETERMINATION OF ENERGY CHARACTERISTICS OF ELECTRIC ACTUATORS AT LARGE DISPLACEMENTS OF ITS ACTUATING BODY

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Кушнаренко Андрей Петрович

аспирант
института энергетики и теплотехники,
Кубанский государственный
технологический университет
energodraiv@yandex.ru

Аннотация. В работе получены аналитические зависимости координат электропривода от времени при больших перемещениях его исполнительного органа. Показано какую диаграмму потребляемой якорной цепью электропривода мощности должен обеспечить электромеханический источник бесперебойного питания.

Ключевые слова: энергетические характеристики электропривода, большие перемещения исполнительного органа электропривода, электромеханический источник бесперебойного питания.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Kushnarenko Andrei Petrovich

Postgraduate Student,
Institute of Power Engineering and
Thermal Engineering,
Kuban State Technological University
energodraiv@yandex.ru

Annotation. The paper obtained analytical dependences of the actuator coordinates on time at large displacements of its actuator. It is shown what diagram of power consumed by the anchor circuit of the actuator should provide an electromechanical source of uninterrupted power supply.

Keywords: energy characteristics of the actuator, large movements of the actuator's executive body, electromechanical uninterruptible power supply.

В данной работе разработана методика расчета мощности и потребляемой электроэнергии электроприводом при отработке больших перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой. При этом не учитывается влияние индуктивности якорной цепи электропривода.

На рисунке 1 представлены механические координаты электропривода при отработке больших перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой. На рисунке приняты следующие обозначения:

φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega^{(1)}$ – первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

t – время, с;

$\varphi_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\omega_{\text{доп}}$ – допустимое значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega_{\max}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\min}^{(1)}$ – минимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

t_1 – длительность первого этапа, с;

t_2 – длительность второго этапа, с;

t_3 – длительность третьего этапа, с.

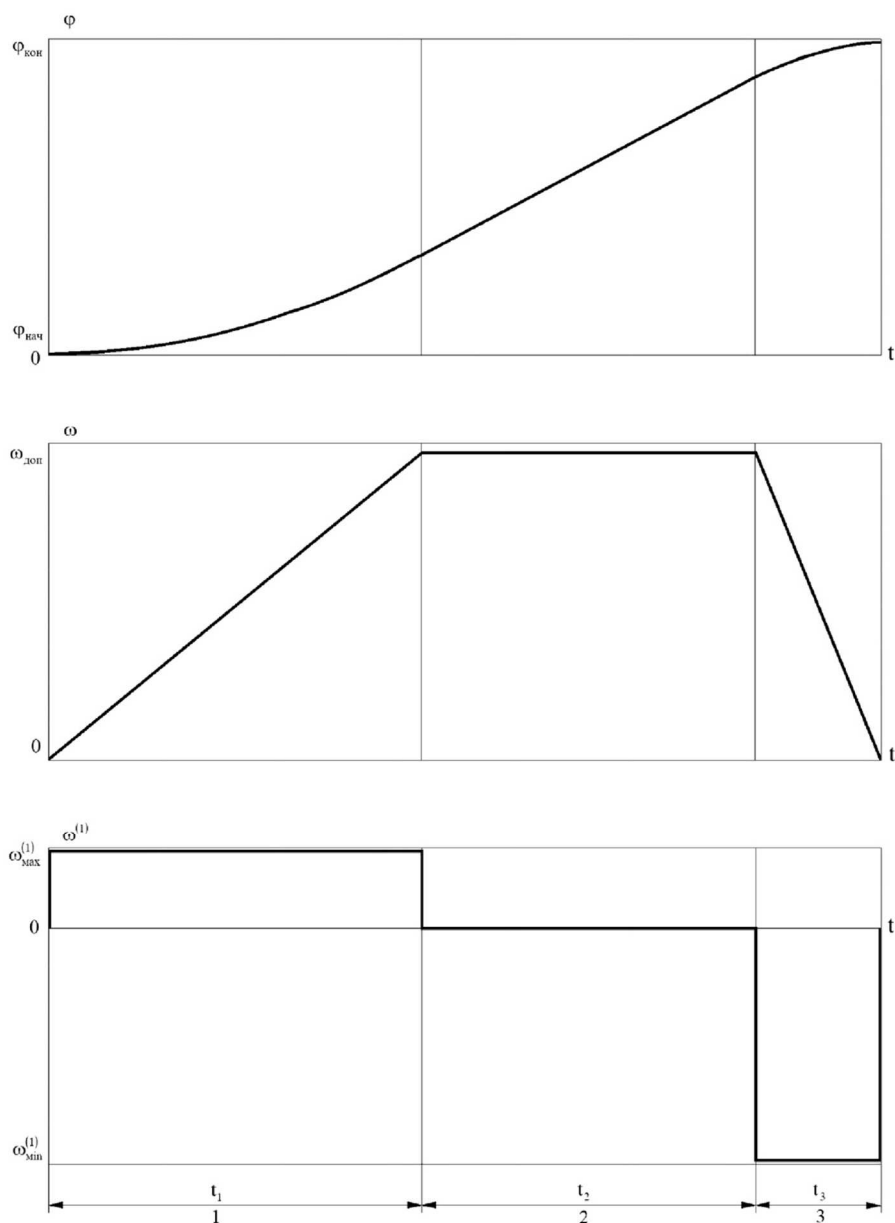


Рисунок 1 – Механические координаты электропривода при обработке больших перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой

На рисунке 2 представлены электрические координаты электропривода при обработке больших перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой. На рисунке приняты следующие обозначения:

U – напряжение, приложенное к якорной цепи электропривода, В;

- $I_{я}$ – ток якорной цепи электропривода, А;
 $U_{доп}$ – допустимое значение напряжения, приложенного к якорной цепи электропривода, В;
 $I_{доп}$ – допустимое значение тока якорной цепи электропривода, А;
 $R_{я}$ – сопротивление якорной цепи электропривода, Ом;
 C_M – коэффициент пропорциональности между током и моментом двигателя, В·с;
 $M_{со}$ – момент сопротивления электропривода, Н·м.

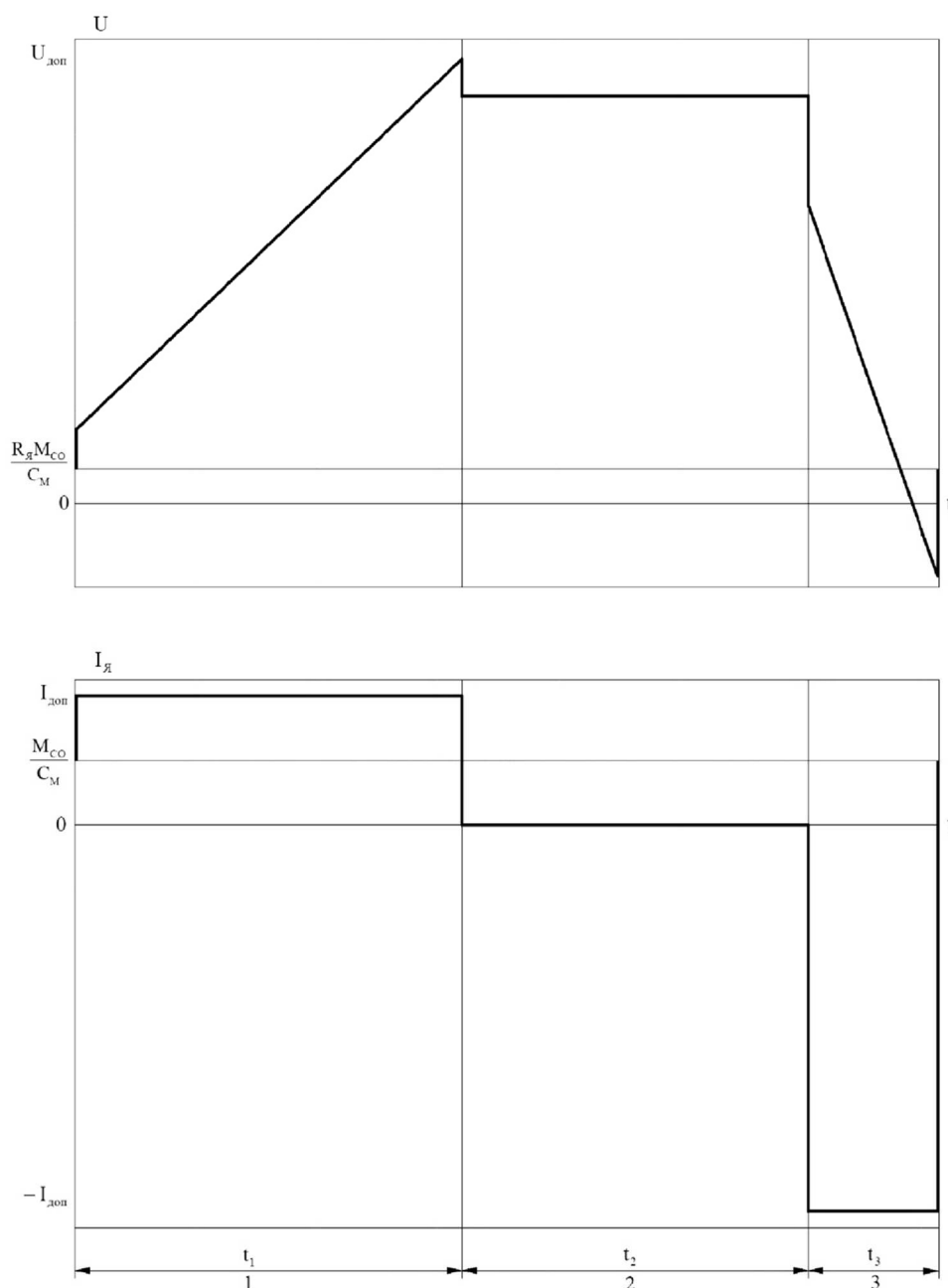


Рисунок 2 – Электрические координаты электропривода при обработке больших перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой

Для оптимальной по быстродействию диаграммы при больших перемещениях исполнительного органа электропривода справедливы уравнения:

$$C_M I_{доп} = M_{со} + J \omega_{max}^{(1)};$$

$$-C_M I_{\text{доп}} = M_{\text{CO}} + J\omega_{\text{min}}^{(1)};$$

$$\omega_{\text{доп}} = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\omega_{\text{доп}} = -\omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot t_3;$$

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \omega_{\text{доп}} \cdot \left(\frac{1}{2}t_1 + t_2 + \frac{1}{2}t_3 \right);$$

$$T_{\text{Ц}} = t_1 + t_2 + t_3.$$

где J – момент инерции исполнительного органа электропривода, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $T_{\text{Ц}}$ – длительность цикла, с.

Для параметров оптимальной по быстродействию диаграммы при больших перемещениях исполнительного органа электропривода справедливы следующие зависимости:

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J};$$

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = -\frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J};$$

$$t_1 = \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}};$$

$$t_3 = \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}};$$

$$t_2 = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}};$$

$$T_{\text{Ц}} = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}.$$

Если $t_2 = 0$, то $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр}}$.

Граничное значение угла поворота:

$$\varphi_{\text{гр}} = \frac{C_M I_{\text{доп}} J \omega_{\text{доп}}^2}{C_M^2 I_{\text{доп}}^2 - M_{\text{CO}}^2}.$$

Напряжение, приложенное к якорной цепи электропривода, без учета влияния индуктивности якорной цепи определяется из уравнения:

$$U(t) = C_e \omega(t) + R_{\text{я}} I_{\text{я}}(t),$$

где C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа и ЭДС электропривода, $\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$.

Определим аналитические зависимости координат электропривода от времени при больших перемещениях его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой.

Этап 1. В интервале времени $0 \leq t \leq t_1$:

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\text{max}}^{(1)};$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t;$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t^2;$$

$$I_{\text{я}}(t) = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{СО}} + J\omega_{\max}^{(1)}];$$

$$U(t) = C_e \omega_{\max}^{(1)} \cdot t + \frac{R_{\text{я}}}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{СО}} + J\omega_{\max}^{(1)}]$$

При $t = 0$

$$\omega_0^{(1)} = 0;$$

$$\omega_0 = 0;$$

$$\varphi_0 = \varphi_{\text{нач}};$$

$$I_{\text{я}0} = \frac{M_{\text{СО}}}{C_{\text{М}}};$$

$$U_0 = \frac{R_{\text{я}} M_{\text{СО}}}{C_{\text{М}}}.$$

При $t = 0_+$

$$\omega_{0+}^{(1)} = \omega_{\max}^{(1)};$$

$$\omega_{0+} = 0;$$

$$\varphi_{0+} = \varphi_{\text{нач}};$$

$$I_{\text{я}0+} = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{СО}} + J\omega_{\max}^{(1)}];$$

$$U_{0+} = \frac{R_{\text{я}}}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{СО}} + J\omega_{\max}^{(1)}]$$

При $t = t_1$

$$\omega_1^{(1)} = \omega_{\max}^{(1)};$$

$$\omega_1 = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi_1 = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1^2;$$

$$I_{\text{я}1} = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{СО}} + J\omega_{\max}^{(1)}];$$

$$U_1 = C_e \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{я}}}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{СО}} + J\omega_{\max}^{(1)}]$$

Этап 2. В интервале времени $t_1 \leq t \leq (t_1 + t_2)$:

$$\omega^{(1)}(t) = 0;$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1^2 + \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1);$$

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}};$$

$$U(t) = C_e \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{Я}} M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}}.$$

При $t = t_{1+}$

$$\omega_{1+}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{1+} = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi_{1+} = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1^2;$$

$$I_{\text{Я}1+} = \frac{M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}};$$

$$U_{1+} = C_e \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{Я}} M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}}.$$

При $t = (t_1 + t_2)$

$$\omega_2^{(1)} = 0;$$

$$\omega_2 = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi_2 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$I_{\text{Я}2} = \frac{M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}};$$

$$U_2 = C_e \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{Я}} M_{\text{CO}}}{C_{\text{M}}}.$$

Этап 3. В интервале времени $(t_1 + t_2) \leq t \leq (t_1 + t_2 + t_3)$:

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\text{min}}^{(1)};$$

$$\omega(t) = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot (t - t_1 - t_2);$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1 - t_2) + \frac{1}{2} \omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot (t - t_1 - t_2)^2;$$

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_{\text{M}}} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\text{min}}^{(1)} \right];$$

$$U(t) = C_e \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1 + C_e \omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot (t - t_1 - t_2) + \frac{R_{\text{Я}}}{C_{\text{M}}} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\text{min}}^{(1)} \right].$$

При $t = (t_1 + t_2)_+$

$$\omega_{2+}^{(1)} = \omega_{\text{min}}^{(1)};$$

$$\omega_{2+} = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi_{2+} = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right);$$

$$I_{\text{Я}2+} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\min}^{(1)} \right];$$

$$U_{2+} = C_e \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\min}^{(1)} \right].$$

При $t = (t_1 + t_2 + t_3)$

$$\omega_3^{(1)} = \omega_{\min}^{(1)};$$

$$\omega_3 = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3;$$

$$\varphi_3 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 + t_1 t_3 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3^2;$$

$$I_{\text{Я}3} = \frac{1}{C_M} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\min}^{(1)} \right];$$

$$U_3 = C_e \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3 \right] + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot \left[M_{\text{CO}} + J \omega_{\min}^{(1)} \right].$$

При $t = (t_1 + t_2 + t_3)_+$

$$\omega_{3+}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{3+} = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3;$$

$$\varphi_{3+} = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 + t_1 t_3 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3^2;$$

$$I_{\text{Я}3+} = \frac{M_{\text{CO}}}{C_M};$$

$$U_{3+} = C_e \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3 \right] + \frac{R_{\text{Я}} M_{\text{CO}}}{C_M}.$$

Определим энергетические характеристики электропривода при больших перемещениях его исполнительного органа.

Этап 1. В интервале времени $0 \leq t \leq t_1$:

$$P(t) = \frac{C_e}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left[M_{\text{CO}} \cdot t + J \omega_{\max}^{(1)} \cdot t \right] + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M^2} \cdot \left\{ M_{\text{CO}}^2 + 2 M_{\text{CO}} J \omega_{\max}^{(1)} + J^2 \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \right]^2 \right\};$$

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{\text{CO}} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot J \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \right]^2 \cdot t_1^2 + \\ + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}}^2 \cdot t_1 + 2 \cdot \frac{R_{\text{Я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}} J \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M^2} \cdot J^2 \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \right]^2 \cdot t_1,$$

где P – мощность, потребляемая якорной цепью электропривода, Вт; W_1 – энергия, потребляемая якорной цепью электропривода на первом этапе, Дж.

Этап 2. В интервале времени $t_1 \leq t \leq (t_1 + t_2)$:

$$P(t) = \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{CO} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO}^2;$$

$$W_2 = \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{CO} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 t_2 + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO}^2 \cdot t_2,$$

где W_2 – энергия, потребляемая якорной цепью электропривода на втором этапе, Дж.

Этап 3. В интервале времени $(t_1 + t_2) \leq t \leq (t_1 + t_2 + t_3)$:

$$P(t) = \frac{C_e}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(1)} \cdot [M_{CO} \cdot t_1 + J \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1] + \frac{C_e}{C_M} \cdot \omega_{\min}^{(1)} \cdot [M_{CO} \cdot (t - t_1 - t_2) + J \omega_{\min}^{(1)} \cdot (t - t_1 - t_2)] + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot \left\{ M_{CO}^2 + 2M_{CO} J \omega_{\min}^{(1)} + J^2 \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \right\};$$

$$W_3 = \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{CO} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 t_3 + \frac{C_e}{C_M} \cdot J \omega_{\max}^{(1)} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1 t_3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{CO} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot J \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3^2 + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO}^2 \cdot t_3 + 2 \cdot \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO} J \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3 + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot J^2 \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3,$$

где W_3 – энергия, потребляемая якорной цепью электропривода на третьем этапе, Дж.

Энергия, потребляемая якорной цепью электропривода за цикл, равна

$$W = \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{CO} \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 + t_1 t_3 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3^2 \right] + \frac{C_e}{C_M} \cdot J \cdot \left\{ \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1^2 + \omega_{\max}^{(1)} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1 t_3 + \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3^2 \right\} + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO}^2 \cdot (t_1 + t_2 + t_3) + 2 \cdot \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO} J \cdot [\omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3] + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot J^2 \cdot \left\{ [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1 + [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3 \right\}.$$

Так как

$$\left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 + t_1 t_3 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3^2 \right] = (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}});$$

$$\left\{ \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1^2 + \omega_{\max}^{(1)} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1 t_3 + \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3^2 \right\} = \left[\frac{1}{2} \omega_{\text{доп}}^2 - \omega_{\text{доп}}^2 + \frac{1}{2} \omega_{\text{доп}}^{(2)} \right] = 0;$$

$$(t_1 + t_2 + t_3) = T_{Ц};$$

$$\left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_3 \right] = (\omega_{\text{доп}} - \omega_{\text{доп}}) = 0;$$

$$\left\{ [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1 + [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_3 \right\} = [\omega_{\text{доп}} \omega_{\max}^{(1)} - \omega_{\text{доп}} \omega_{\min}^{(1)}] =$$

$$= \omega_{\text{доп}} \cdot \left[\frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{CO}}{J} + \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{CO}}{J} \right] = 2 \omega_{\text{доп}} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}}}{J}, \text{ то}$$

$$W = \frac{C_e}{C_M} \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot M_{CO} + \frac{R_{Я}}{C_M^2} \cdot M_{CO}^2 T_{Ц} + 2 \cdot \frac{R_{Я}}{C_M} \cdot J \omega_{\text{доп}} I_{\text{доп}}.$$

В данной работе рассматривается электропривод, имеющий следующие параметры: $C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$; $C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}$; $R_{Я} = 5 \text{ Ом}$, $J = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. На контролируемые координаты электропривода наложены ограничения: $U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}$; $I_{\text{доп}} = 8 \text{ А}$;

$\omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Момент сопротивления электропривода равен $M_{\text{CO}} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Начальное значение угла поворота равно $\varphi_{\text{нач}} = 0 \text{ рад}$.

При этом граничное значение угла поворота исполнительного органа электропривода равно $\varphi_{\text{гр}} = 170 \frac{2}{3} \text{ рад}$.

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 170 \frac{2}{3} \text{ рад}$, то

$$t_1 = 1,6 \text{ с}; t_2 = 0 \text{ с}; t_3 = \frac{8}{15} \text{ с}; T_{\text{Ц}} = 2 \frac{2}{15} \text{ с}.$$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 400 \text{ рад}$, то

$$t_1 = 1,6 \text{ с}; t_2 = 1 \frac{13}{30} \text{ с}; t_3 = \frac{8}{15} \text{ с}; T_{\text{Ц}} = 3 \frac{17}{30} \text{ с}.$$

В таблице 1 представлены результаты численного эксперимента рассматриваемого электропривода: определены значения длительности первого этапа t_1 , первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(1)}$, угловой скорости исполнительного органа электропривода ω , угла поворота исполнительного органа электропривода φ , тока якорной цепи электропривода $I_{\text{я}}$, напряжения U и мощности P в начале и в конце каждого этапа при перемещении (повороте) исполнительного органа электропривода равного $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 400 \text{ рад}$. При этом якорная цепь электропривода потребила $2797 \frac{1}{3} \text{ Дж}$ (2000 Дж полезной энергии и $797 \frac{1}{3} \text{ Дж}$ энергии потерь).

Таблица 1 – Результаты численного эксперимента

$t_1, \text{ с}$	$\omega^{(1)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$	$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\varphi_1, \text{ рад}$	$I_{\text{я}}, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$P, \text{ Вт}$
0	0	0	$\varphi_{\text{нач}} + 0$	4	20	80
0	100	0	$\varphi_{\text{нач}} + 0$	8	40	320
1,6	100	160	$\varphi_{\text{нач}} + 128$	8	240	1920
1,6 +	0	160	$\varphi_{\text{нач}} + 128$	4	220	880
$3 \frac{17}{30}$	0	160	$\varphi_{\text{нач}} + 357 \frac{1}{3}$	4	220	880
$3 \frac{17}{30}$	-300	160	$\varphi_{\text{нач}} + 357 \frac{1}{3}$	-8	160	-1280
$3 \frac{17}{30}$	-300	0	$\varphi_{\text{нач}} + 400$	-8	-40	320
$3 \frac{17}{30}$	0	0	$\varphi_{\text{нач}} + 400$	4	20	80

На рисунке 3 представлена диаграмма потребляемой якорной цепью электропривода мощности при обработке в соответствии с оптимальной по быстрдействию диаграммой большого перемещения (поворота) исполнительного органа электропривода $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 400 \text{ рад}$.

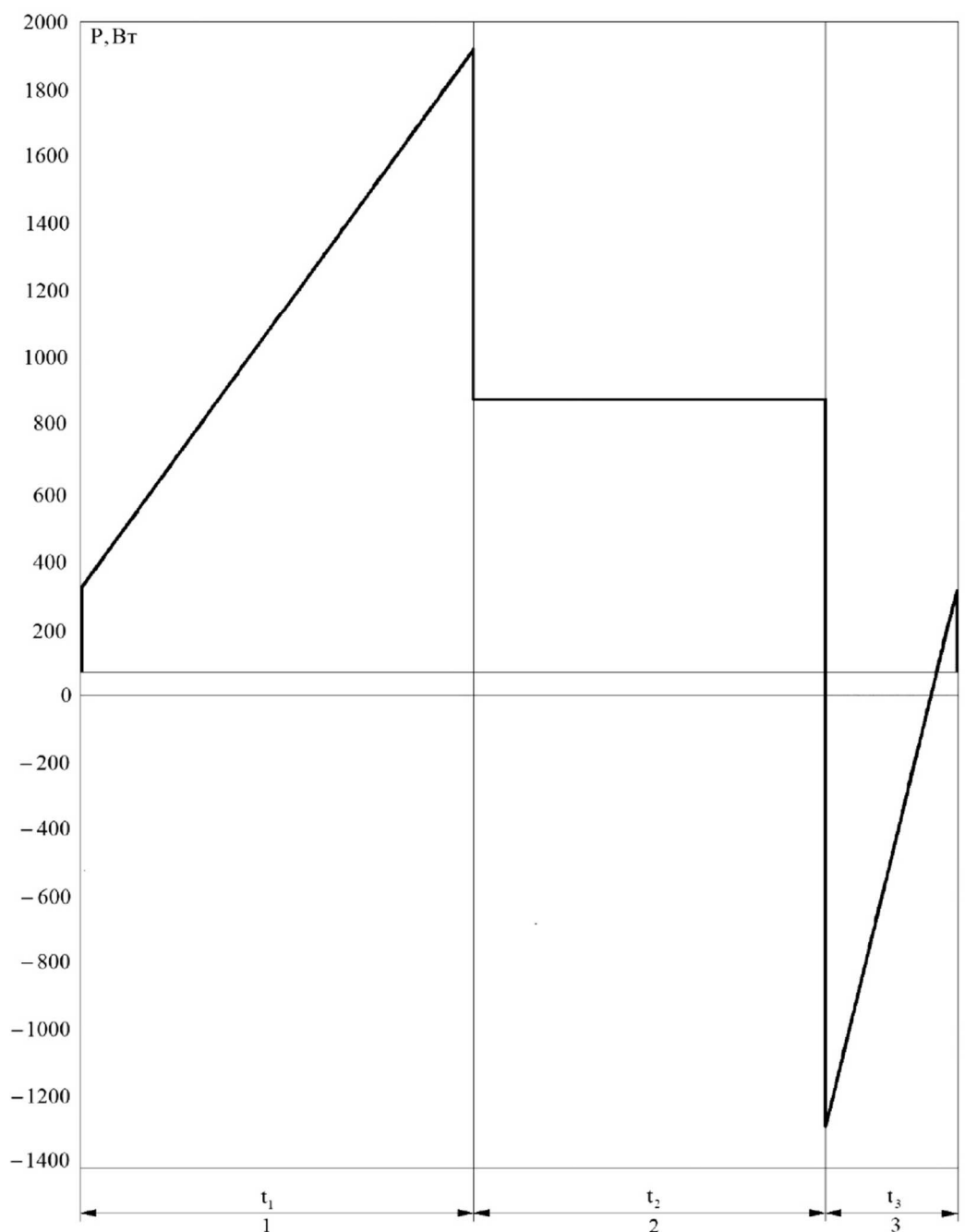


Рисунок 3 – Диаграмма потребляемой якорной цепью электропривода мощности при отработке в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой большого перемещения (поворота) исполнительного органа электропривода ($\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}} = 400$ рад)

Выводы

Получены аналитические зависимости координат электропривода от времени при больших перемещениях его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой.

Определена зависимость потребляемой якорной цепью электропривода мощности от времени при больших перемещениях исполнительного органа электропривода.

Электромеханический источник бесперебойного питания должен обеспечить реализацию требуемой диаграммы потребляемой якорной цепью электропривода мощности.

Так как данные исследования выполнены без учета влияния индуктивности якорной цепи электропривода, то в дальнейшем необходимо провести исследования с учетом влияния индуктивности якорной цепи электропривода.

УДК 62

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ
ПРИ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ЕГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА**



**DETERMINATION OF ENERGY CHARACTERISTICS OF ELECTRIC ACTUATORS
AT SMALL DISPLACEMENTS OF ITS ACTUATING BODY**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Кушнаренко Андрей Петрович

аспирант
института энергетики и теплотехники,
Кубанский государственный
технологический университет
energodraiv@yandex.ru

Аннотация. В работе получены аналитические зависимости координат электропривода от времени при малых перемещениях его исполнительного органа. Показано какую диаграмму потребляемой якорной цепью электропривода мощности должен обеспечить электромеханический источник бесперебойного питания.

Ключевые слова: энергетические характеристики электропривода, малые перемещения исполнительного органа электропривода, электромеханический источник бесперебойного питания.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Kushnarenko Andrei Petrovich

Postgraduate Student,
Institute of Power Engineering and
Thermal Engineering,
Kuban State Technological University
energodraiv@yandex.ru

Annotation. The paper obtained analytical dependences of the actuator coordinates on time at small movements of its actuator. It is shown what diagram of power consumed by the anchor circuit of the actuator should provide an electromechanical source of uninterrupted power supply.

Keywords: energy characteristics of the electric actuator, small movements of the actuator's executive body, electromechanical uninterruptible power supply.

В настоящее время электромеханические источники бесперебойного питания находят все более широкое использование в различных отраслях промышленности. При выборе электромеханических источников бесперебойного питания необходимо знать мощность нагрузки, потребляемую энергию и время для завершения технологического процесса.

В данной работе разработана методика расчета мощности и потребляемой электроэнергии электроприводом при отработке малых перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой. При этом не учитывается влияние индуктивности якорной цепи электропривода.

На рисунке 1 представлены механические координаты электропривода при отработке малых перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой. На рисунке приняты следующие обозначения:

φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega^{(1)}$ – первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\varphi_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\omega_{\text{мах}}$ – максимальное значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega_{\max}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\min}^{(1)}$ – минимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

t_1 – длительность первого этапа, с;

t_2 – длительность второго этапа, с.

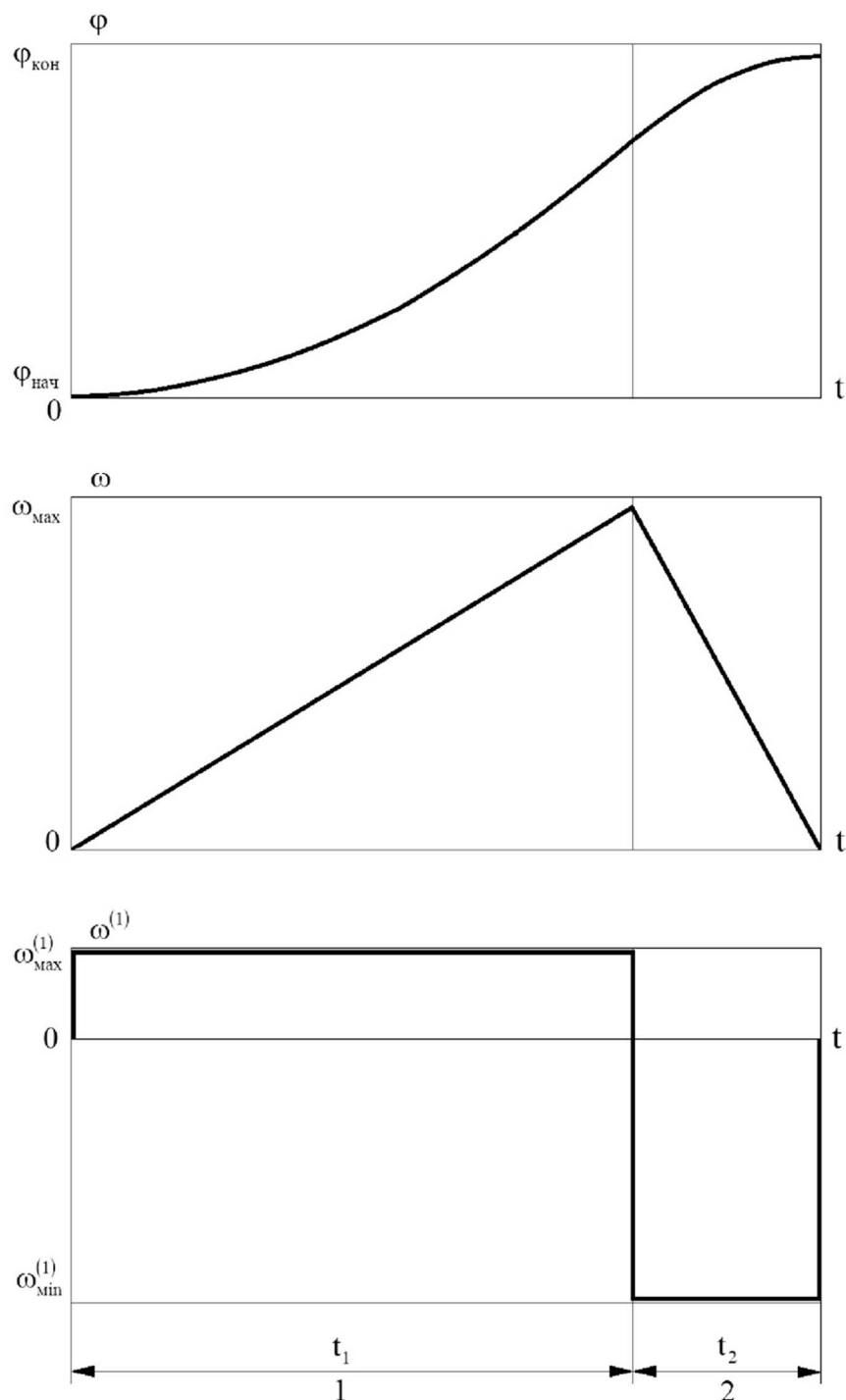


Рисунок 1 – Механические координаты электропривода при отработке малых перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой t – время, с;

На рисунке 2 представлены электрические координаты электропривода при отработке малых перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой. На рисунке приняты следующие обозначения:

U – напряжение, приложенное к якорной цепи электропривода, В;

$I_{\text{я}}$ – ток якорной цепи электропривода, А;

$U_{\text{доп}}$ – допустимое значение напряжения, приложенного к якорной цепи электропривода, В;

$I_{\text{доп}}$ – допустимое значение тока якорной цепи электропривода, А;

$R_{\text{я}}$ – сопротивление якорной цепи электропривода, Ом;

$C_{\text{м}}$ – коэффициент пропорциональности между током и моментом двигателя,

В·с;

$M_{\text{со}}$ – момент сопротивления электропривода, Н·м.

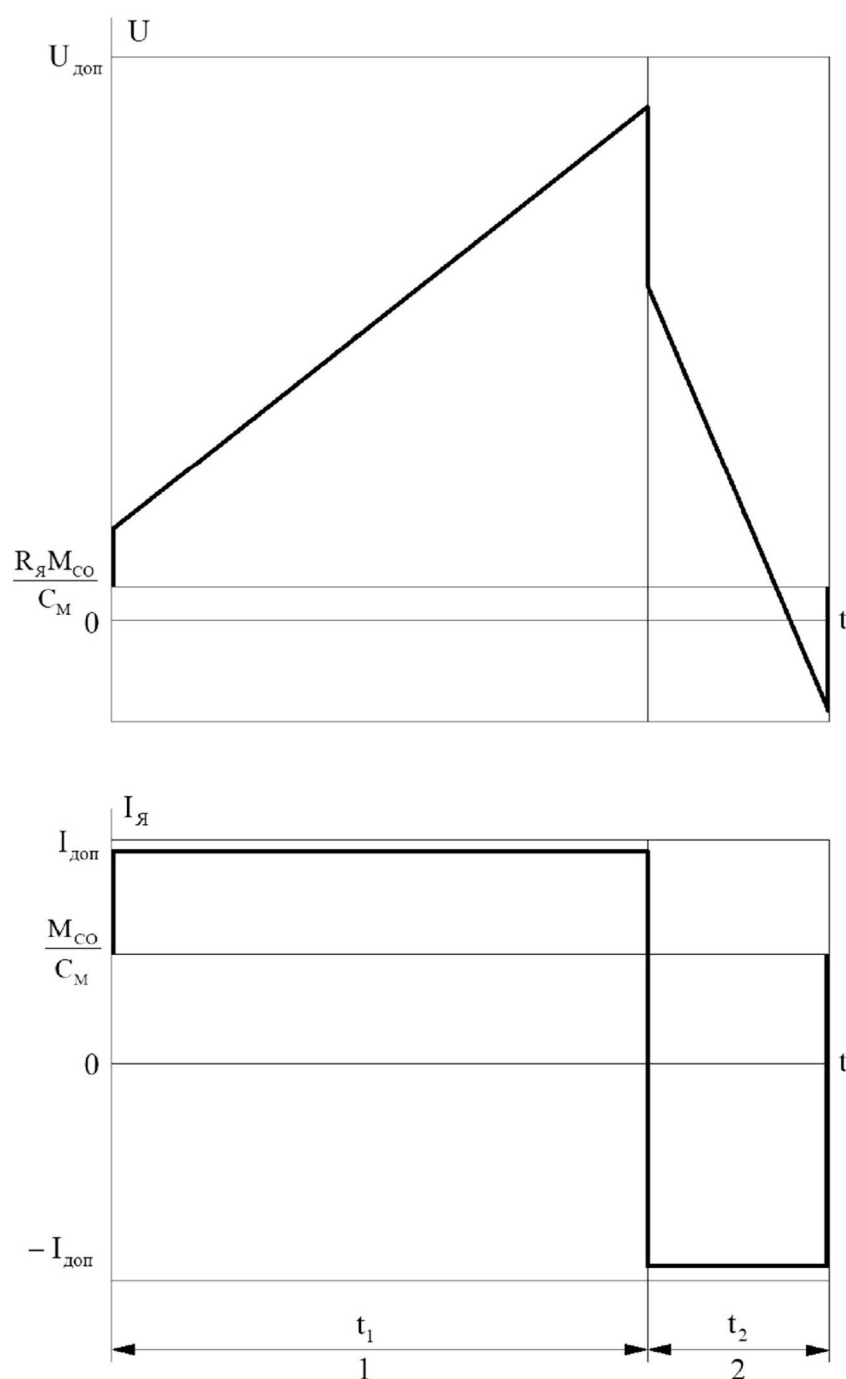


Рисунок 2 – Электрические координаты электропривода при отработке малых перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой

Для оптимальной по быстродействию диаграммы при малых перемещениях исполнительного органа электропривода справедливы уравнения:

$$\begin{aligned} C_{M\text{доп}} &= M_{CO} + J\omega_{\text{max}}^{(1)}; \\ -C_{M\text{доп}} &= M_{CO} + J\omega_{\text{min}}^{(1)}; \\ \omega_{\text{max}} &= \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1; \\ \omega_{\text{max}} &= -\omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot t_2; \\ (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) &= \omega_{\text{max}} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1 + \frac{1}{2} t_2 \right); \\ T_{\text{ц}} &= t_1 + t_2, \end{aligned}$$

где J – момент инерции исполнительного органа электропривода, кг·м²; $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с.

Для параметров оптимальной по быстродействию диаграммы при малых перемещениях исполнительного органа электропривода справедливы следующие зависимости:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{max}}^{(1)} &= \frac{C_{M\text{доп}} - M_{CO}}{J}; \\ \omega_{\text{min}}^{(1)} &= -\frac{C_{M\text{доп}} + M_{CO}}{J}; \\ t_1 &= \sqrt{\frac{C_{M\text{доп}} + M_{CO}}{C_{M\text{доп}} - M_{CO}} \cdot \frac{J \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})}{C_{M\text{доп}}}}; \\ t_2 &= \sqrt{\frac{C_{M\text{доп}} - M_{CO}}{C_{M\text{доп}} + M_{CO}} \cdot \frac{J \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})}{C_{M\text{доп}}}}; \\ T_{\text{ц}} &= \left[\sqrt{\frac{C_{M\text{доп}} + M_{CO}}{C_{M\text{доп}} - M_{CO}}} + \sqrt{\frac{C_{M\text{доп}} - M_{CO}}{C_{M\text{доп}} + M_{CO}}} \right] \cdot \sqrt{\frac{J \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})}{C_{M\text{доп}}}}; \\ \omega_{\text{max}} &= \sqrt{\frac{C_{M\text{доп}}^2 - M_{CO}^2}{J C_{M\text{доп}}}} \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}). \end{aligned}$$

Если $\omega_{\text{max}} = \omega_{\text{доп}}$, то $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр}}$.

Граничное значение угла поворота равно

$$\varphi_{\text{гр}} = \frac{C_{M\text{доп}} J \omega_{\text{доп}}^2}{C_{M\text{доп}}^2 - M_{CO}^2}.$$

Напряжение, приложенное к якорной цепи электропривода, без учета влияния индуктивности якорной цепи определяется из уравнения:

$$U(t) = C_e \omega(t) + R_{\text{я}} i_{\text{я}}(t),$$

где C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа и ЭДС электропривода, $\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$.

Определим аналитические зависимости координат электропривода от времени при малых перемещениях его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой.

Этап 1. В интервале времени $0 \leq t \leq t_1$:

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\max}^{(1)};$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t;$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t^2;$$

$$I_{\text{я}}(t) = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}];$$

$$U(t) = C_{\text{е}}\omega_{\max}^{(1)} \cdot t + \frac{R_{\text{я}}}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}].$$

При $t = 0$

$$\omega_0^{(1)} = 0;$$

$$\omega_0 = 0;$$

$$\varphi_0 = \varphi_{\text{нач}};$$

$$I_{\text{я}0} = \frac{M_{\text{CO}}}{C_{\text{М}}};$$

$$U_0 = \frac{R_{\text{я}}M_{\text{CO}}}{C_{\text{М}}}.$$

При $t = 0_+$

$$\omega_{0+}^{(1)} = \omega_{\max}^{(1)};$$

$$\omega_{0+} = 0;$$

$$\varphi_{0+} = \varphi_{\text{нач}};$$

$$I_{\text{я}0+} = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}];$$

$$U_{0+} = \frac{R_{\text{я}}}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}]$$

При $t = t_1$

$$\omega_1^{(1)} = \omega_{\max}^{(1)};$$

$$\omega_1 = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi_1 = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1^2;$$

$$I_{\text{я}1} = \frac{1}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}];$$

$$U_1 = C_{\text{е}}\omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{я}}}{C_{\text{М}}} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\max}^{(1)}]$$

Этап 2. В интервале времени $t_1 \leq t \leq (t_1 + t_2)$:

$$\omega^{(1)}(t) = \omega_{\min}^{(1)};$$

$$\omega(t) = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot (t - t_1);$$

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1^2 + \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 \cdot (t - t_1) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot (t - t_1)^2;$$

$$I_{\text{Я}}(t) = \frac{1}{C_M} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\min}^{(1)}];$$

$$U(t) = C_e \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + C_e \omega_{\min}^{(1)} \cdot (t - t_1) + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\min}^{(1)}]$$

При $t = t_{1+}$

$$\omega_{1+}^{(1)} = \omega_{\min}^{(1)};$$

$$\omega_{1+} = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\varphi_{1+} = \varphi_{\text{нач}} + \frac{1}{2} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1^2;$$

$$I_{\text{Я}1+} = \frac{1}{C_M} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\min}^{(1)}];$$

$$U_{1+} = C_e \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\min}^{(1)}]$$

При $t = (t_1 + t_2)$

$$\omega_2^{(1)} = \omega_{\min}^{(1)};$$

$$\omega_2 = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2;$$

$$\varphi_2 = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2^2;$$

$$I_{\text{Я}2} = \frac{1}{C_M} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\min}^{(1)}];$$

$$U_2 = C_e \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + C_e \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2 + \frac{R_{\text{Я}}}{C_M} \cdot [M_{\text{CO}} + J\omega_{\min}^{(1)}]$$

При $t = (t_1 + t_2)_+$

$$\omega_{2+}^{(1)} = 0;$$

$$\omega_{2+} = \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2;$$

$$\varphi_{2+} = \varphi_{\text{нач}} + \omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2^2;$$

$$I_{\text{Я}2+} = \frac{M_{\text{CO}}}{C_M};$$

$$U_{2+} = C_e \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + C_e \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2 + \frac{R_{\text{я}} M_{\text{CO}}}{C_M}$$

Определим энергетические характеристики электропривода при малых перемещениях его исполнительного органа.

Этап 1. В интервале времени $0 \leq t \leq t_1$:

$$P(t) = \frac{C_e}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(1)} \cdot [M_{\text{CO}} \cdot t + J \omega_{\max}^{(1)} \cdot t] + \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot \left\{ M_{\text{CO}}^2 + 2M_{\text{CO}} J \omega_{\max}^{(1)} + J^2 \cdot [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \right\};$$

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{\text{CO}} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot J \cdot [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1^2 + \\ + \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}}^2 \cdot t_1 + 2 \cdot \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}} J \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot J^2 \cdot [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1.$$

где P – мощность, потребляемая якорной цепью электропривода, Вт; W_1 – энергия, потребляемая якорной цепью электропривода на первом этапе, Дж.

Этап 2. В интервале времени $t_1 \leq t \leq (t_1 + t_2)$:

$$P(t) = \frac{C_e}{C_M} \cdot \omega_{\max}^{(1)} \cdot [M_{\text{CO}} \cdot t_1 + J \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1] + \frac{C_e}{C_M} \cdot \omega_{\min}^{(1)} \cdot \\ \cdot [M_{\text{CO}} \cdot (t - t_1) + J \omega_{\min}^{(1)} \cdot (t - t_1)] + \\ + \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot \left\{ M_{\text{CO}}^2 + 2M_{\text{CO}} J \omega_{\min}^{(1)} + J^2 \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \right\};$$

$$W_2 = \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{\text{CO}} \omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 t_2 + \frac{C_e}{C_M} \cdot J \omega_{\max}^{(1)} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1 t_2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{\text{CO}} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2^2 + \\ + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_e}{C_M} \cdot J \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_2^2 + \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}}^2 \cdot t_2 + 2 \cdot \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}} J \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2 + \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot J^2 \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_2.$$

где W_2 – энергия, потребляемая якорной цепью электропривода на втором этапе, Дж.

Энергия, потребляемая якорной цепью электропривода за цикл равна

$$W = \frac{C_e}{C_M} \cdot M_{\text{CO}} \cdot \left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2^2 \right] + \frac{C_e}{C_M} \cdot J \cdot \\ \cdot \left\{ \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1^2 + \omega_{\max}^{(1)} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1 t_2 + \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_2^2 \right\} + \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}}^2 \cdot (t_1 + t_2) + \\ + 2 \cdot \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}} J \cdot [\omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2] + \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot J^2 \cdot \left\{ [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1 + [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_2 \right\}.$$

Так как

$$\left[\omega_{\max}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2} t_1^2 + t_1 t_2 \right) + \frac{1}{2} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2^2 \right] = (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}); \\ \left\{ \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\max}^{(1)}]^2 \cdot t_1^2 + \omega_{\max}^{(1)} \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_1 t_2 + \frac{1}{2} \cdot [\omega_{\min}^{(1)}]^2 \cdot t_2^2 \right\} = \left[\frac{1}{2} \omega_{\max}^2 - \omega_{\max}^2 + \frac{1}{2} \omega_{\max}^2 \right] = 0; \\ (t_1 + t_2) = T_{\text{ц}};$$

$$[\omega_{\max}^{(1)} \cdot t_1 + \omega_{\min}^{(1)} \cdot t_2] = (\omega_{\max} - \omega_{\max}) = 0;$$

$$\left\{ \left[\omega_{\max}^{(1)} \right]^2 \cdot t_1 + \left[\omega_{\min}^{(1)} \right]^2 \cdot t_2 \right\} = \left[\omega_{\max} \omega_{\max}^{(1)} - \omega_{\max} \omega_{\min}^{(1)} \right] =$$

$$= \omega_{\max} \cdot \left[\frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J} + \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J} \right] = 2 \omega_{\max} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}}}{J}, \text{ то}$$

$$W = \frac{C_e}{C_M} \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) \cdot M_{\text{CO}} + \frac{R_{\text{я}}}{C_M^2} \cdot M_{\text{CO}}^2 T_{\text{ц}} + 2 \cdot \frac{R_{\text{я}}}{C_M} \cdot J \omega_{\max} I_{\text{доп}}.$$

Первое слагаемое в зависимости соответствует полезной энергии, а сумма второго и третьего слагаемых соответствует энергии тепловых потерь.

В данной работе рассматривается электропривод, имеющий следующие параметры: $C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$; $C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}$; $R_{\text{я}} = 5 \text{ Ом}$; $J = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. На контролируемые координаты электропривода наложены ограничения: $U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}$; $I_{\text{доп}} = 8 \text{ А}$; $\omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Момент сопротивления электропривода равен $M_{\text{CO}} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Начальное значение угла поворота равно $\varphi_{\text{нач}} = 0 \text{ рад}$.

При этом граничное значение угла поворота исполнительного органа электропривода равно $\varphi_{\text{гр}} = 170 \frac{2}{3} \text{ рад}$.

В таблице 1 представлены результаты первого численного эксперимента рассматриваемого электропривода: определены значения длительностей первого t_1 , второго t_2 этапов и цикла $T_{\text{ц}}$, максимального значения угловой скорости исполнительного органа электропривода ω_{\max} для различных значений заданного перемещения (поворота) исполнительного органа электропривода $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})$.

Таблица 1 – Результаты первого численного эксперимента

$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}), \text{ рад}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$T_{\text{ц}}, \text{ с}$	$\omega_{\max}, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$
0	0	0	0	0
6	0,3	0,1	0,4	30
24	0,6	0,2	0,8	60
54	0,9	0,3	1,2	90
96	1,2	0,4	1,6	120
150	1,5	0,5	2	150
$170 \frac{2}{3}$	1,6	$\frac{8}{15}$	$2 \frac{2}{15}$	160

При этом остальные параметры диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода имели постоянные значения: $\omega_{\max}^{(1)} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; $\omega_{\min}^{(1)} = -300 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$.

В таблице 2 представлены результаты второго численного эксперимента рассматриваемого электропривода: определены значения первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(1)}$, угловой скорости исполнительного органа электропривода ω , угла поворота исполнительного органа электропривода φ , тока якорной цепи электропривода $I_{\text{я}}$, напряжения U и мощности P в начале и в конце каждого этапа при перемещении (повороте) исполнительного органа электропривода равного $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 150 \text{ рад}$. При этом якорная цепь электропривода потребила 1390 Дж (750 Дж полезной энергии и 640 Дж энергии потерь).

Таблица 2 – Результаты второго численного эксперимента

$t_1, \text{с}$	$\omega^{(i)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$	$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\varphi_1, \text{рад}$	$I_{\text{я}}, \text{А}$	$U, \text{В}$	$P, \text{Вт}$
0	0	0	$\varphi_{\text{нач}} + 0$	4	20	80
0+	100	0	$\varphi_{\text{нач}} + 0$	8	40	320
1,5	100	150	$\varphi_{\text{нач}} + 112,5$	8	227,5	1820
1,5+	-300	150	$\varphi_{\text{нач}} + 112,5$	-8	147,5	-1180
2	-300	0	$\varphi_{\text{нач}} + 150$	-8	-40	320
2+	0	0	$\varphi_{\text{нач}} + 150$	4	20	80

На рисунке 3 представлена диаграмма потребляемой якорной цепью электропривода мощности при отработке в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой малого перемещения (поворота) исполнительного органа электропривода ($\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}} = 150 \text{ рад}$).

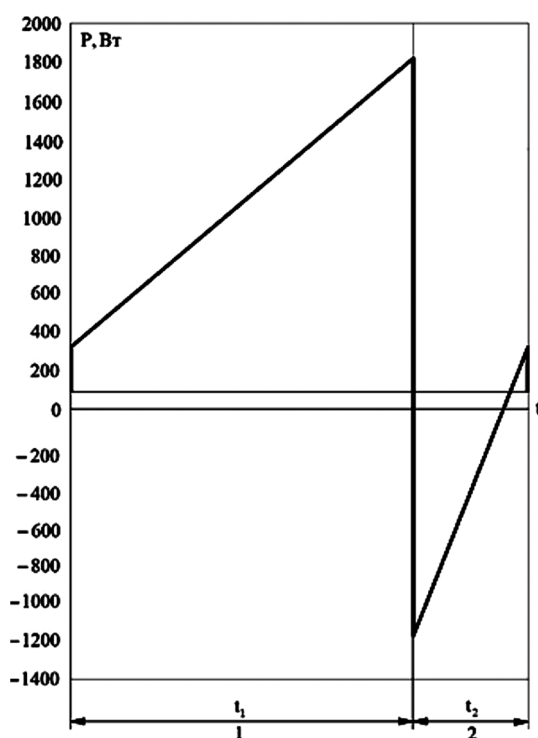


Рисунок 3 – Диаграмма потребляемой якорной цепью электропривода мощности при отработке в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой малого перемещения (поворота) исполнительного органа электропривода ($\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}} = 150 \text{ рад}$)

Выводы:

1. Получены аналитические зависимости координат электропривода от времени при малых перемещениях его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой.
2. Определена зависимость потребляемой якорной цепью электропривода мощности от времени при малых перемещениях исполнительного органа электропривода.
3. Электромеханический источник бесперебойного питания должен обеспечить реализацию требуемой диаграммы потребляемой якорной цепью электропривода мощности.
4. Так как данные исследования выполнены без учета влияния индуктивности якорной цепи электропривода, то в дальнейшем необходимо провести исследования с учетом влияния индуктивности якорной цепи электропривода.

УДК 62

**ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
С ОГРАНИЧЕНИЯМИ МАКСИМАЛЬНОГО И МИНИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЙ
ТОКА, СКОРОСТИ, ВТОРОЙ И ТРЕТЬЕЙ ПРОИЗВОДНЫХ СКОРОСТИ**



**THE SPEED-OPTIMIZED MOTION DIAGRAM
OF AN ACTUATOR OF A PRECISION ELECTRIC ACTUATOR
WITH LIMITATIONS OF THE MAXIMUM AND MINIMUM CURRENT VALUES,
VELOCITY, SECOND AND THIRD DERIVATIVES OF VELOCITY**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Кушнаренко Андрей Петрович

аспирант
института энергетики и теплотехники,
Кубанский государственный
технологический университет
energodraiv@yandex.ru

Аннотация. Разработана оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального и минимального значений тока, скорости, второй и третьей производных скорости, состоящая из пятнадцати этапов. Использование ограничения по минимальному току якоря электропривода позволило интенсифицировать процесс торможения и как следствие повысить быстродействие перемещений исполнительных органов промышленных механизмов.

Ключевые слова: оптимальная по быстродействию диаграмма, прецизионный электропривод, вторая производная скорости, третья производная скорости.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Kushnarenko Andrei Petrovich

Postgraduate Student,
Institute of Power Engineering and
Thermal Engineering,
Kuban State Technological University
energodraiv@yandex.ru

Annotation. The speed-optimal movement diagram of the executive organ of precision electric drive with limitations of maximum and minimum values of current, speed, second and third derivatives of speed, which consists of fifteen stages, has been developed. The use of the electric drive armature minimum current limitation made it possible to intensify the braking process and, as a consequence, to increase the speed of the motion of the industrial mechanisms actuators.

Keywords: speed-optimal diagram, precision electric drive, second derivative of speed, third derivative of speed.

В настоящее время широко используются симметричные оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями по скорости и её производным.

При реализации симметричных оптимальных диаграмм не полностью используются возможности электропривода в достижении максимально возможной интенсивности при торможении.

Для устранения данного недостатка в монографии [1] предложено использовать оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с интенсивным торможением в несимметричном исполнении.

В данной статье предлагается оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального и минимального значений тока, скорости, второй и третьей производных скорости. Диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода, выполненная в несимметричном исполнении, обеспечивает интенсивное торможение.

На рисунке 1 приведены механические координаты электропривода при обработке перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой, имеющей ограничения максимального и минимального значений тока, скорости, второй и третьей производных скорости.

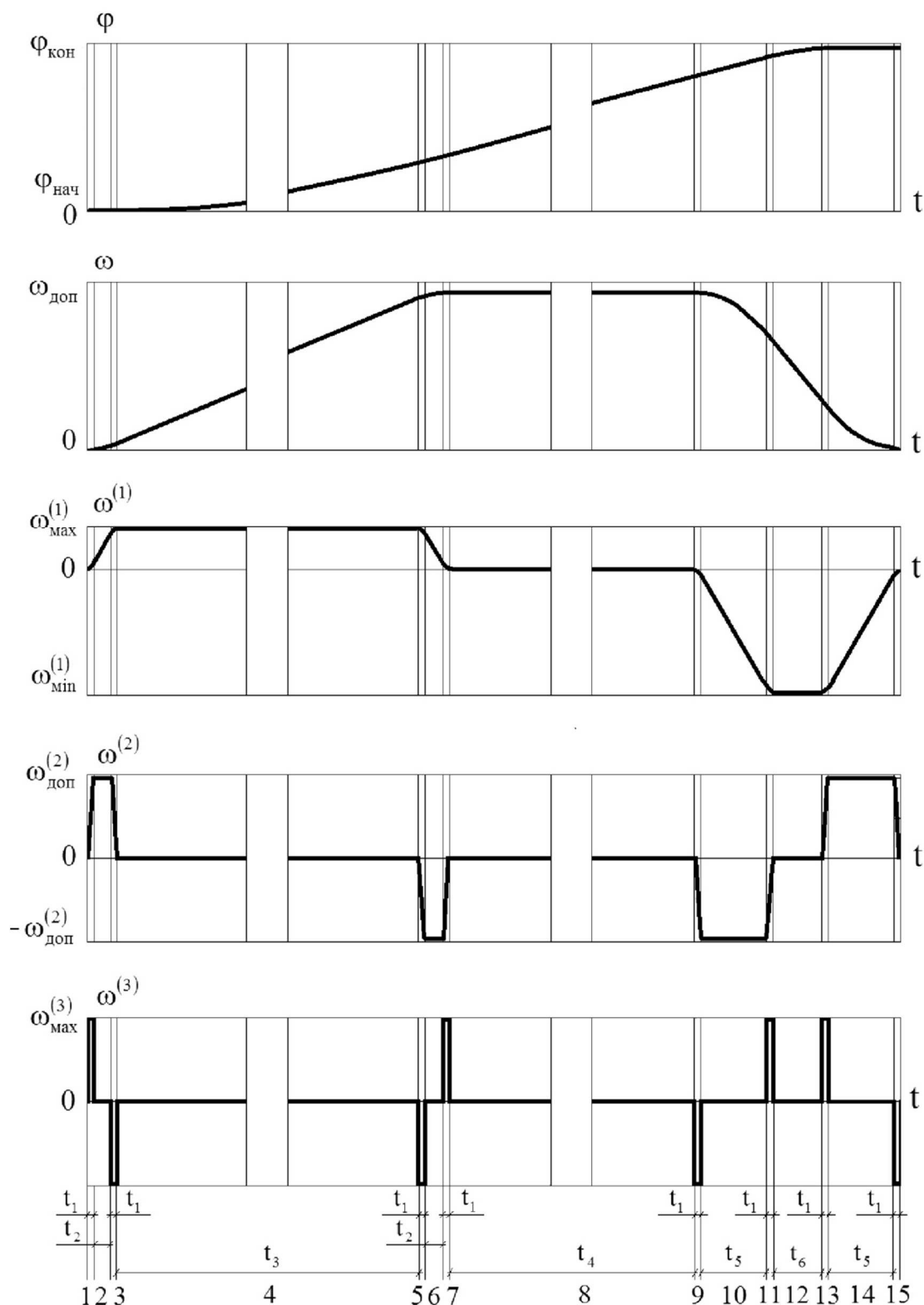


Рисунок 1 – Механические координаты электропривода при обработке перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой, имеющей ограничения максимального и минимального значений тока, скорости, второй и третьей производных скорости

На рисунке приняты обозначения:

φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}}$;

$\omega^{(1)}$ – первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^2}$;

$\omega^{(2)}$ – вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^2}$;

$\omega^{(3)}$ – третья производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^2}$;

t – время, с;

$\varphi_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\omega_{\text{доп}}$ – допустимое значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}}$;

$\omega_{\text{max}}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\text{доп}}^{(2)}$ – допустимое значение второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^3}$;

$\omega_{\text{max}}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад.}}{\text{с}^4}$;

t_1 – длительность первого, третьего, пятого, седьмого, девятого, одиннадцатого, тринадцатого и пятнадцатого этапов, с;

t_2 – длительность второго и шестого этапов, с;

t_3 – длительность четвертого этапа, с;

t_4 – длительность восьмого этапа, с;

t_5 – длительность десятого и четырнадцатого этапов, с;

t_6 – длительность двенадцатого этапа, с.

На рисунке 2 приведены электрические координаты электропривода при обработке перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой, имеющей ограничения максимального и минимального значений тока, скорости, второй и третьей производных скорости. На рисунке приняты обозначения:

U – напряжение, приложенное к якорной цепи электропривода, В;

$I_{\text{я}}$ – ток якорной цепи электропривода, А;

$I_{\text{я}}^{(1)}$ – первая производная тока якорной цепи электропривода, $\frac{\text{А}}{\text{с}}$;

$U_{\text{доп}}$ – допустимое значение напряжения, приложенного к якорной цепи электропривода, В;

$I_{\text{яmax}}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной тока якорной цепи электропривода, $\frac{\text{А}}{\text{с}}$;

$I_{\text{доп}}$ – допустимое значение тока якорной цепи электропривода, А;
 $R_{\text{я}}$ – сопротивление якорной цепи электропривода, Ом;
 $C_{\text{М}}$ – коэффициент пропорциональности между током и моментом двигателя, В·с;
 $M_{\text{со}}$ – момент сопротивления электропривода, Н·м.

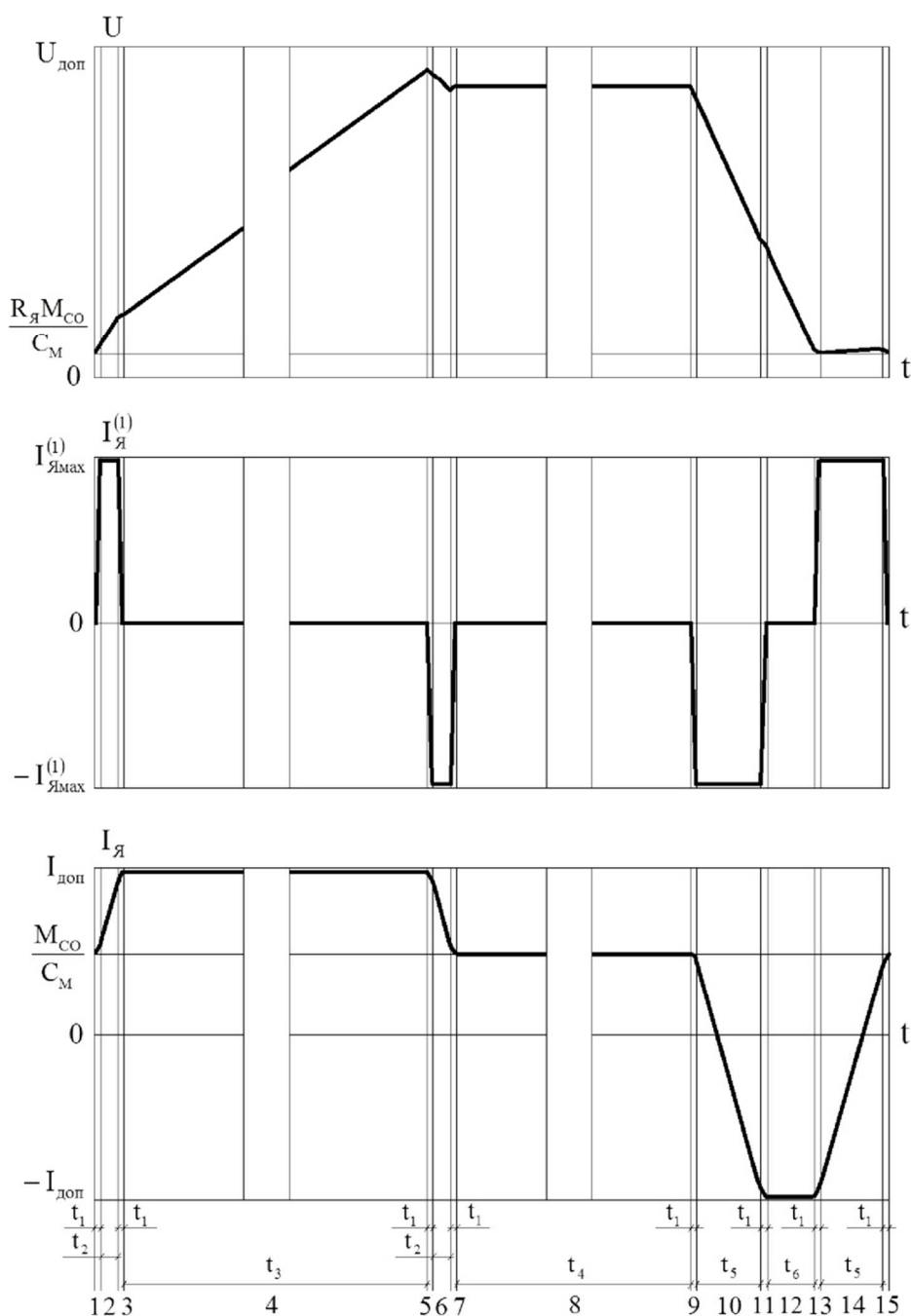


Рисунок 2 – Электрические координаты электропривода при отработке перемещений его исполнительного органа в соответствии с оптимальной по быстродействию диаграммой, имеющей ограничения максимального и минимального значений тока, скорости, второй и третьей производных скорости

Для оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального и минимального значений тока, скорости, второй и третьей производных скорости справедливы уравнения:

$$C_{\text{М}} I_{\text{доп}} = M_{\text{со}} + J \omega_{\text{макс}}^{(1)};$$

$$\begin{aligned}
 -C_M I_{\text{доп}} &= M_{\text{CO}} + J \omega_{\text{min}}^{(1)}; \\
 \omega_{\text{max}} &= \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1; \\
 \omega_{\text{доп}}^{(2)} &= \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1; \\
 \omega_{\text{max}}^{(1)} &= \omega_{\text{доп}}^{(2)} \cdot (t_1 + t_2); \\
 \omega_{\text{min}}^{(1)} &= -\omega_{\text{доп}}^{(2)} \cdot (t_1 + t_5); \\
 \omega_{\text{доп}} &= \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot (2t_1 + t_2 + t_3); \\
 \omega_{\text{доп}} &= -\omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot (2t_1 + t_5 + t_6); \\
 (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) &= \omega_{\text{доп}} \cdot \left(4t_1 + t_2 + \frac{1}{2}t_3 + t_4 + t_5 + \frac{1}{2}t_6 \right); \\
 T_{\text{ц}} &= 8t_1 + 2t_2 + t_3 + t_4 + 2t_5 + t_6.
 \end{aligned}$$

где J – момент инерции исполнительного органа электропривода, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с.

Для параметров оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода с ограничениями максимального и минимального значений тока, скорости, второй и третьей производных скорости справедливы следующие зависимости:

$$\begin{aligned}
 \omega_{\text{max}}^{(1)} &= \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J}; \\
 \omega_{\text{min}}^{(1)} &= -\frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J}; \\
 t_1 &= \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}; \\
 t_2 &= \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} - \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}; \\
 t_5 &= \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} - \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}; \\
 t_3 &= \frac{J \omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}} - \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} - \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}; \\
 t_6 &= \frac{J \omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}} - \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} - \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}; \\
 t_4 &= \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{J \omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{J \omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}} - \\
 &\quad - \frac{1}{2} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{CO}}}{J \omega_{\text{доп}}^{(2)}} - \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}};
 \end{aligned}$$

$$T_{Ц} = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{СО}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{СО}}} +$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{СО}}}{J\omega_{\text{доп}}^{(2)}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{СО}}}{J\omega_{\text{доп}}^{(2)}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}}.$$

Если $t_4 = 0$, то $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр.3}}$.

Третье граничное значение угла поворота равно

$$\varphi_{\text{гр.3}} = \omega_{\text{доп}} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{СО}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{J\omega_{\text{доп}}}{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{СО}}} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{СО}}}{J\omega_{\text{доп}}^{(2)}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{СО}}}{J\omega_{\text{доп}}^{(2)}} + \frac{\omega_{\text{доп}}^{(2)}}{\omega_{\text{max}}^{(3)}} \right].$$

Напряжение, приложенное к якорной цепи электропривода, без учета влияния индуктивности якорной цепи определяется из уравнения:

$$U(t) = C_e \omega(t) + R_{я} I_{я}(t) + L_{я} I_{я}^{(1)}(t),$$

где C_e – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа и ЭДС электропривода, $\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$; $L_{я}$ – индуктивность якорной цепи электропривода, Гн.

В данной работе рассматривается электропривод, имеющий следующие параметры: $C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$; $C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}$; $R_{я} = 5 \text{ Ом}$; $L_{я} = 0,1 \text{ Гн}$; $J = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. На контролируемые координаты электропривода наложены ограничения: $U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}$; $I_{\text{доп}} = 8 \text{ А}$; $\omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Момент сопротивления электропривода равен $M_{\text{СО}} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Начальное значение угла поворота равно $\varphi_{\text{нач}} = 0 \text{ рад}$.

При этом третье граничное значение угла поворота исполнительного органа электропривода равно $\varphi_{\text{гр.3}} = 205 \frac{13}{15} \text{ рад}$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 205 \frac{13}{15} \text{ рад}$, то

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}; \quad \omega_{\text{min}}^{(1)} = -300 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}; \quad t_1 = 0,02 \text{ с}; \quad t_2 = 0,08 \text{ с}; \quad t_5 = 0,28 \text{ с};$$

$$t_3 = 1,48 \text{ с}; \quad t_6 = \frac{16}{75} \text{ с}; \quad t_4 = 0 \text{ с}; \quad T_{Ц} = 2 \frac{43}{75} \text{ с}.$$

Если $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 400 \text{ рад}$, то

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}; \quad \omega_{\text{min}}^{(1)} = -300 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}; \quad t_1 = 0,02 \text{ с}; \quad t_2 = 0,08 \text{ с}; \quad t_5 = 0,28 \text{ с};$$

$$t_3 = 1,48 \text{ с}; \quad t_6 = \frac{16}{75} \text{ с}; \quad t_4 = 1 \frac{16}{75} \text{ с}; \quad T_{Ц} = 3 \frac{59}{75} \text{ с}.$$

В таблице 1 представлены результаты численного эксперимента рассматриваемого электропривода: определены значения первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(1)}$; угловой скорости исполнительного органа электропривода ω ; угла поворота исполнительного органа электропривода φ ; тока якорной цепи электропривода $I_{я}$; напряжения, приложенного к якорной цепи электропривода U ; мощности, потребляемой якорной цепью электропривода $P = UI$ в моменты переключений третьей производной угловой скорости исполнительного органа электропривода $\omega^{(3)}$.

Таблица 1 – Результаты численного эксперимента

t, с	$\omega^{(1)}, \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$	$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\varphi, \text{рад}$	$I_{Я}, \text{А}$	$i_{Я}^{(1)}, \frac{\text{А}}{\text{с}}$	U, В	P, Вт
0	0	0	0	4	0	20	80
0,02	10	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{3000}$	4,4	40	$26\frac{1}{12}$	$114\frac{23}{30}$
0,1	90	$4\frac{1}{15}$	0,123	7,6	40	$47\frac{1}{12}$	$357\frac{5}{6}$
0,12	100	6	$\frac{67}{300}$	8	0	47,5	380
1,6	100	154	$118\frac{187}{300}$	8	0	232,5	1860
1,62	90	$155\frac{14}{15}$	121,75	7,6	-40	$228\frac{11}{12}$	$1739\frac{23}{30}$
1,7	10	$159\frac{14}{15}$	$134\frac{1201}{3000}$	4,4	-40	$217\frac{11}{12}$	$958\frac{5}{6}$
1,72	0	160	137,6	4	0	220	880
$2\frac{14}{15}$	0	160	$331\frac{11}{15}$	4	0	220	880
$2\frac{143}{150}$	-10	$159\frac{14}{15}$	334,933	3,6	-40	$213\frac{11}{12}$	770,1
$3\frac{7}{30}$	-290	$117\frac{14}{15}$	$375\frac{1991}{3000}$	-7,6	-40	$105\frac{5}{12}$	$-801\frac{1}{6}$
$3\frac{19}{75}$	-300	112	$377\frac{289}{300}$	-8	0	100	-800
$3\frac{7}{15}$	-300	48	394,103	-8	0	20	-160
$3\frac{73}{150}$	-290	$42\frac{1}{15}$	$395\frac{2791}{3000}$	-7,6	40	$18\frac{7}{12}$	$-141\frac{7}{30}$
$3\frac{23}{30}$	-10	$\frac{1}{15}$	$399\frac{2999}{3000}$	3,6	40	$22\frac{1}{12}$	79,5
$3\frac{59}{75}$	0	0	400	4	0	20	80

В дальнейшей работе необходимо определить какой энергией должен обладать электромеханический источник бесперебойного питания при реализации предлагаемой диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Кошкин Г.А., Громницкий Е.Е. Оптимальные по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом : монография // Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2018. – 160 с.

References

1. Dobrobaba S.P., Koshkin G.A., Gromnitskiy E.E. Optimal in terms of speed movement diagrams of the executive body of a precision DC electric drive with elastic shaft train: monograph // Kuban State Technological University. – Krasnodar : Izd. FGBOU VO «KubGTU», 2018. – 160 p.

УДК 62

**АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ШЕСТОГО ПОРЯДКА
С ОДНИМ КОРНЕМ КРАТНОСТЬЮ ДВА И С ЧЕТЫРЬМА КОРНЯМИ
КРАТНОСТЬЮ ОДИН ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ**



**THE ANALYSIS OF TRANSIENT CHARACTERISTICS OF A SIXTH ORDER
SYSTEM WITH ONE DOUBLE AND FOUR ONE-TIME SOLUTIONS OF THE
CHARACTERISTIC EQUATION**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлин Алексей Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры
информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Печёнкин Олег Андреевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
+7-909-464-94-67
pchn257@mail.ru

Аннотация. В статьях выполнен анализ переходных характеристик систем шестого порядка: с одним корнем кратности шесть характеристического уравнения [1]; с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один [2]; с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два [3]; с одним корнем кратностью четыре и с двумя корнями кратностью один [4]; с двумя корнями кратностью три [5]; с одним корнем кратностью три, с одним корнем кратностью два и одним корнем кратностью один [6]; с одним корнем кратностью три и с тремя корнями кратностью один [7]; с шестью корнями кратностью один [8]; с тремя корнями кратностью два [9]. В данной статье анализируются переходные характеристики системы шестого порядка с одним корнем кратностью два и с четырьмя корнями кратностью один характеристического уравнения.

Найдены переходные характеристики систем шестого порядка с одним корнем кратностью два и с четырьмя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы шестого порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Murlin Aleksey Georgievich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Information Systems and Programming,
Kuban State Technological University

Pechonkin Oleg Andreevich

Student,
Kuban State Technological University
+7-909-464-94-67
pchn257@mail.ru

Annotation. Articles analyze the transient characteristics of a sixth order systems: with six-time solution [1]; with five-time solution and one-time solutions [2]; with four-time solution and double solution of the characteristic equation [3]; with four-time solution and two one-time solutions [4]; with two triple solutions [5]; with triple solution, double solution and one-time solution [6]; with triple solution and three one-time solutions [7]; with six one-time solutions [8]; with three double solutions of the characteristic equation [9]. This article analyzes the transient characteristics of a sixth order system with three double solutions of the characteristic equation.

Transitional characteristics of sixth order systems with three double solutions of the characteristic equation with a zero-degree polynomial and a first-degree polynomial in numerator of transfer function are found.

Keywords: transition characteristic, sixth order characteristic equation system, the solution of the characteristic equation.

Передаточная функция системы шестого порядка с одним корнем кратностью два и с четырьмя корнями кратностью один характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{60}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^2 \cdot (T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1) \cdot (T_4 p + 1) \cdot (T_5 p + 1)},$$

где T_1, T_2, T_3, T_4 и T_5 – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции шестого порядка.

Корни характеристического уравнения системы шестого порядка с одним корнем кратностью два и с четырьмя корнями кратностью один характеристического уравнения:

$$p_{1+2} = -\frac{1}{T_1}, \quad p_3 = -\frac{1}{T_2}, \quad p_4 = -\frac{1}{T_3}, \quad p_5 = -\frac{1}{T_4}, \quad p_6 = -\frac{1}{T_5}.$$

Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью два и с четырьмя корнями кратностью один характеристического уравнения и её первых пяти производных соответственно равны:

$$\begin{aligned} h_{60}(t) &= K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_3 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_4 \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + K_5 \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + K_6 \cdot e^{-\frac{t}{T_5}} + K_7; \\ h_{60}^{(1)}(t) &= \left(-\frac{K_1}{T_1} + K_2\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_1} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_3}{T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_4}{T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{K_5}{T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} - \frac{K_6}{T_5} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}}; \\ h_{60}^{(2)}(t) &= \left(\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_2}{T_1^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_3}{T_2^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_4}{T_3^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{K_5}{T_4^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + \frac{K_6}{T_5^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}}; \\ h_{60}^{(3)}(t) &= \left(-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_1^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_3}{T_2^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_4}{T_3^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{K_5}{T_4^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} - \frac{K_6}{T_5^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}}; \\ h_{60}^{(4)}(t) &= \left(\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_2}{T_1^4} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_3}{T_2^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_4}{T_3^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{K_5}{T_4^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + \frac{K_6}{T_5^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}}; \\ h_{60}^{(5)}(t) &= \left(-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_1^5} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_3}{T_2^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_4}{T_3^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{K_5}{T_4^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} - \frac{K_6}{T_5^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}}. \end{aligned}$$

Так как начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$\begin{aligned} h_{60}(0) &= 0; \\ h_{60}^{(1)}(0) &= 0; \\ h_{60}^{(2)}(0) &= 0; \\ h_{60}^{(3)}(0) &= 0; \\ h_{60}^{(4)}(0) &= 0; \\ h_{60}^{(5)}(0) &= 0; \\ h_{60}(\infty) &= 1, \end{aligned}$$

а начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$\begin{aligned} h_{60}(0) &= K_1 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7; \\ h_{60}^{(1)}(0) &= -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_3}{T_2} - \frac{K_4}{T_3} - \frac{K_5}{T_4} - \frac{K_6}{T_5}; \\ h_{60}^{(2)}(0) &= \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + \frac{K_3}{T_2^2} + \frac{K_4}{T_3^2} + \frac{K_5}{T_4^2} + \frac{K_6}{T_5^2}; \\ h_{60}^{(3)}(0) &= -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - \frac{K_3}{T_2^3} - \frac{K_4}{T_3^3} - \frac{K_5}{T_4^3} - \frac{K_6}{T_5^3}; \\ h_{60}^{(4)}(0) &= \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + \frac{K_3}{T_2^4} + \frac{K_4}{T_3^4} + \frac{K_5}{T_4^4} + \frac{K_6}{T_5^4}; \\ h_{60}^{(5)}(0) &= -\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - \frac{K_3}{T_2^5} - \frac{K_4}{T_3^5} - \frac{K_5}{T_4^5} - \frac{K_6}{T_5^5}; \\ h_{60}(\infty) &= K_7, \end{aligned}$$

то справедлива зависимость

$$K_7 = 1.$$

При этом справедлива система уравнений:

$$K_1 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + 1 = 0; \quad (1)$$

$$-\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_3}{T_2} - \frac{K_4}{T_3} - \frac{K_5}{T_4} - \frac{K_6}{T_5} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + \frac{K_3}{T_2^2} + \frac{K_4}{T_3^2} + \frac{K_5}{T_4^2} + \frac{K_6}{T_5^2} = 0; \quad (3)$$

$$-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - \frac{K_3}{T_2^3} - \frac{K_4}{T_3^3} - \frac{K_5}{T_4^3} - \frac{K_6}{T_5^3} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + \frac{K_3}{T_2^4} + \frac{K_4}{T_3^4} + \frac{K_5}{T_4^4} + \frac{K_6}{T_5^4} = 0; \quad (5)$$

$$-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - \frac{K_3}{T_2^5} - \frac{K_4}{T_3^5} - \frac{K_5}{T_4^5} - \frac{K_6}{T_5^5} = 0. \quad (6)$$

Из уравнения (2) следует, что

$$K_2 = \frac{K_1}{T_1} + \frac{K_3}{T_2} + \frac{K_4}{T_3} + \frac{K_5}{T_4} + \frac{K_6}{T_5}. \quad (7)$$

Из уравнений (3) и (7) следует, что

$$K_1 = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_1 - 2T_2}{T_2} \cdot K_3 + \frac{T_1}{T_3} \cdot \frac{T_1 - 2T_3}{T_3} \cdot K_4 + \frac{T_1}{T_4} \cdot \frac{T_1 - 2T_4}{T_4} \cdot K_5 + \frac{T_1}{T_5} \cdot \frac{T_1 - 2T_5}{T_5} \cdot K_6. \quad (8)$$

Из уравнений (4), (7) и (8) следует, что

$$K_3 = -\frac{T_2^3}{T_3^3} \cdot \frac{(T_1 - T_3)^2}{(T_1 - T_2)^2} \cdot K_4 - \frac{T_2^3}{T_4^3} \cdot \frac{(T_1 - T_4)^2}{(T_1 - T_2)^2} \cdot K_5 - \frac{T_2^3}{T_5^3} \cdot \frac{(T_1 - T_5)^2}{(T_1 - T_2)^2} \cdot K_6. \quad (9)$$

Из уравнений (5), (7), (8), и (9) следует, что

$$K_4 = -\frac{T_3^4}{T_4^4} \cdot \frac{(T_1 - T_4)^2}{(T_1 - T_3)^2} \cdot \frac{(T_2 - T_4)}{(T_2 - T_3)} \cdot K_5 - \frac{T_3^4}{T_5^4} \cdot \frac{(T_1 - T_5)^2}{(T_1 - T_3)^2} \cdot \frac{(T_2 - T_5)}{(T_2 - T_3)} \cdot K_6. \quad (10)$$

Из уравнений (6), (7), (8), (9) и (10) следует, что

$$K_6 = \frac{T_5^5}{T_4^5} \cdot \frac{(T_1 - T_4)^2 \cdot (T_2 - T_4) \cdot (T_3 - T_4)}{(T_1 - T_5)^2 \cdot (T_2 - T_5) \cdot (T_3 - T_5)} \cdot K_5. \quad (11)$$

Из уравнений (1), (7), (8), (9), (10) и (11) следует, что

$$K_1 = -\frac{1 - \frac{T_2}{T_1 - T_2} - \frac{T_3}{T_1 - T_3} - \frac{T_4}{T_1 - T_4} - \frac{T_5}{T_1 - T_5}}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4) \cdot (T_1 - T_5)} \cdot T_1^4;$$

$$K_2 = -\frac{T_1^3}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4) \cdot (T_1 - T_5)};$$

$$K_3 = -\frac{T_2^5}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4) \cdot (T_2 - T_5)};$$

$$K_4 = \frac{T_3^5}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_3 - T_4) \cdot (T_3 - T_5)};$$

$$K_5 = -\frac{T_4^5}{(T_1 - T_4)^2 \cdot (T_2 - T_4) \cdot (T_3 - T_4) \cdot (T_4 - T_5)};$$

$$K_6 = \frac{T_5^5}{(T_1 - T_5)^2 \cdot (T_2 - T_5) \cdot (T_3 - T_5) \cdot (T_4 - T_5)}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью два и с четырьмя корнями кратностью один характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$h_{60}(t) = -\frac{1 - \frac{T_2}{T_1 - T_2} - \frac{T_3}{T_1 - T_3} - \frac{T_4}{T_1 - T_4} - \frac{T_5}{T_1 - T_5}}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4) \cdot (T_1 - T_5)} \cdot T_1^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1^3}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4) \cdot (T_1 - T_5)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{T_2^5}{(T_1-T_2)^2 \cdot (T_2-T_3) \cdot (T_2-T_4) \cdot (T_2-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_3^5}{(T_1-T_3)^2 \cdot (T_2-T_3) \cdot (T_3-T_4) \cdot (T_3-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \\
 & - \frac{T_4^5}{(T_1-T_4)^2 \cdot (T_2-T_4) \cdot (T_3-T_4) \cdot (T_4-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + \frac{T_5^5}{(T_1-T_5)^2 \cdot (T_2-T_5) \cdot (T_3-T_5) \cdot (T_4-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}} + 1; \\
 h_{60}^{(1)}(t) = & - \frac{\frac{T_2}{T_1-T_2} + \frac{T_3}{T_1-T_3} + \frac{T_4}{T_1-T_4} + \frac{T_5}{T_1-T_5}}{(T_1-T_2) \cdot (T_1-T_3) \cdot (T_1-T_4) \cdot (T_1-T_5)} \cdot T_1^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_1^2}{(T_1-T_2) \cdot (T_1-T_3) \cdot (T_1-T_4) \cdot (T_1-T_5)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\
 & + \frac{T_2^4}{(T_1-T_2)^2 \cdot (T_2-T_3) \cdot (T_2-T_4) \cdot (T_2-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_3^4}{(T_1-T_3)^2 \cdot (T_2-T_3) \cdot (T_3-T_4) \cdot (T_3-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \\
 & + \frac{T_4^4}{(T_1-T_4)^2 \cdot (T_2-T_4) \cdot (T_3-T_4) \cdot (T_4-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} - \frac{T_5^4}{(T_1-T_5)^2 \cdot (T_2-T_5) \cdot (T_3-T_5) \cdot (T_4-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}}.
 \end{aligned}$$

Передаточная функция системы шестого порядка с одним корнем кратностью два и с четырьмя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции имеет вид:

$$W_{61}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1)^2 \cdot (T_2 p + 1)^2 \cdot (T_3 p + 1) \cdot (T_4 p + 1)},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции шестого порядка.

Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью два и с четырьмя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции принимает вид:

$$\begin{aligned}
 h_{61}(t) = & - \frac{T_1 - \left(\frac{T_2}{T_1-T_2} + \frac{T_3}{T_1-T_3} + \frac{T_4}{T_1-T_4} + \frac{T_5}{T_1-T_5}\right) \cdot (T_1 - \tau)}{(T_1-T_2) \cdot (T_1-T_3) \cdot (T_1-T_4) \cdot (T_1-T_5)} \cdot T_1^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1^2 \cdot (T_1 - \tau)}{(T_1-T_2) \cdot (T_1-T_3) \cdot (T_1-T_4) \cdot (T_1-T_5)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\
 & - \frac{T_2^3 \cdot (T_2 - \tau)}{(T_1-T_2)^2 \cdot (T_2-T_3) \cdot (T_2-T_4) \cdot (T_2-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_3^3 \cdot (T_3 - \tau)}{(T_1-T_3)^2 \cdot (T_2-T_3) \cdot (T_3-T_4) \cdot (T_3-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \\
 & - \frac{T_4^3 \cdot (T_4 - \tau)}{(T_1-T_4)^2 \cdot (T_2-T_4) \cdot (T_3-T_4) \cdot (T_4-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + \frac{T_5^3 \cdot (T_5 - \tau)}{(T_1-T_5)^2 \cdot (T_2-T_5) \cdot (T_3-T_5) \cdot (T_4-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}} + 1.
 \end{aligned}$$

Для системы возможно два варианта.

Вариант первый: когда выполняются условия $T_1 > T_2$, $T_1 > T_3$, $T_1 > T_4$, $T_1 > T_5$, при этом, если $\tau = T_1$, то

$$\begin{aligned}
 h_{61}(t) = & - \frac{T_1^4}{(T_1-T_2) \cdot (T_1-T_3) \cdot (T_1-T_4) \cdot (T_1-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\
 & + \frac{T_2^4}{(T_1-T_2) \cdot (T_2-T_3) \cdot (T_2-T_4) \cdot (T_2-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_3^4}{(T_1-T_3) \cdot (T_2-T_3) \cdot (T_3-T_4) \cdot (T_3-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \\
 & + \frac{T_4^4}{(T_1-T_4) \cdot (T_2-T_4) \cdot (T_3-T_4) \cdot (T_4-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} - \frac{T_5^4}{(T_1-T_5) \cdot (T_2-T_5) \cdot (T_3-T_5) \cdot (T_4-T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}} + 1.
 \end{aligned}$$

Предположим, $T_1 = \frac{1}{4}T$, $T_2 = \frac{1}{5}T$, $T_3 = \frac{3}{20}T$, $T_4 = \frac{1}{10}T$, а $T_5 = \frac{1}{20}T$, тогда при $\tau = 0$

$$\begin{aligned}
 H_{61}(t) = & \frac{40625}{288} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - \frac{625}{6} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - \frac{512}{3} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \\
 & + \frac{243}{8} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} - \frac{16}{9} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + \frac{1}{96} \cdot e^{-20\frac{t}{T}} + 1,
 \end{aligned}$$

при $\tau = T_1$

$$h_{61}(t) = -\frac{625}{24} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + \frac{128}{3} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{81}{4} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} + \frac{8}{3} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} - \frac{1}{24} \cdot e^{-20\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = 2T_1$

$$h_{61}(t) = -\frac{55625}{288} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + \frac{625}{6} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + 256 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{567}{8} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} + \frac{64}{9} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} - \frac{3}{32} \cdot e^{-20\frac{t}{T}} + 1.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 1 в относительных единицах.

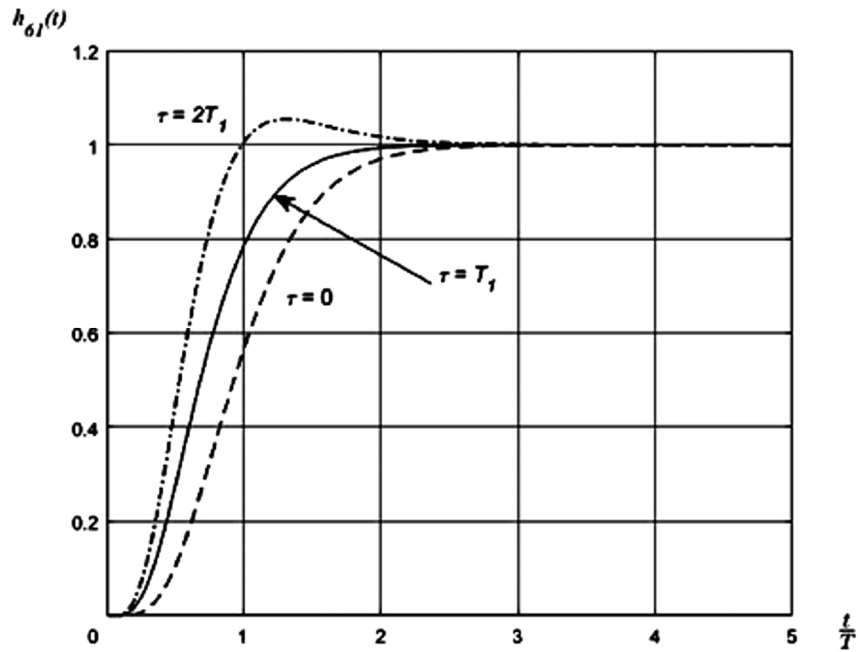


Рисунок 1 – Зависимость h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Вариант второй: когда выполняются условия $T_2 > T_1, T_2 > T_3, T_2 > T_4, T_2 > T_5$,
При этом, если $\tau = T_2$, то

$$h_{61}(t) = -\frac{T_1 - \left(\frac{T_2}{T_1 - T_2} + \frac{T_3}{T_1 - T_3} + \frac{T_4}{T_1 - T_4} + \frac{T_5}{T_1 - T_5}\right)}{(T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4) \cdot (T_1 - T_5)} \cdot T_1^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$-\frac{T_1^2}{(T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4) \cdot (T_1 - T_5)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_3 - T_4) \cdot (T_3 - T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} +$$

$$+\frac{T_4^4}{(T_1 - T_4)^2 \cdot (T_3 - T_4) \cdot (T_4 - T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} - \frac{T_5^4}{(T_1 - T_5)^2 \cdot (T_3 - T_5) \cdot (T_4 - T_5)} \cdot e^{-\frac{t}{T_5}} + 1.$$

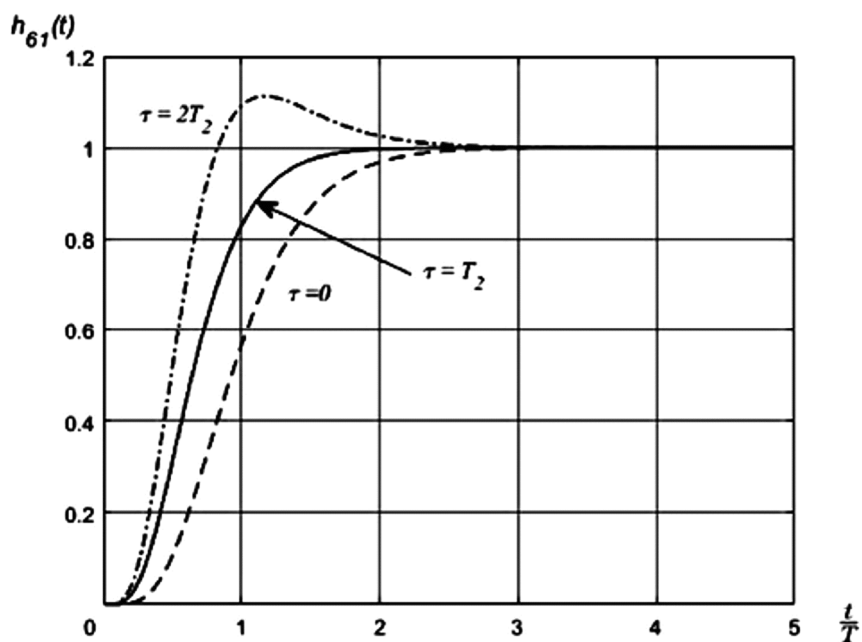


Рисунок 2 – Зависимость h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Предположим, $T_1 = \frac{1}{5}T$, $T_2 = \frac{3}{10}T$, $T_3 = \frac{3}{20}T$, $T_4 = \frac{1}{10}T$, а $T_5 = \frac{1}{20}T$, тогда при $\tau = 0$

$$h_{61}(t) = -\frac{64}{9} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{320}{3} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{162}{5} \cdot e^{-\frac{10}{3}\frac{t}{T}} + \frac{81}{2} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} - 2 \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + \frac{1}{90} \cdot e^{-20\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = T_2$

$$h_{61}(t) = \frac{320}{9} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{160}{3} \cdot t \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{81}{2} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} + 4 \cdot e^{-10\frac{t}{T}} - \frac{1}{18} \cdot e^{-20\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = 2T_2$

$$h_{61}(t) = \frac{704}{9} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{640}{3} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{162}{5} \cdot e^{-\frac{10}{3}\frac{t}{T}} - \frac{243}{2} \cdot e^{-\frac{20}{3}\frac{t}{T}} + 10 \cdot e^{-10\frac{t}{T}} - \frac{11}{90} \cdot e^{-20\frac{t}{T}} + 1.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 2 в относительных единицах.

Вывод: получены переходные характеристики систем шестого порядка с одним корнем кратностью два и с четырьмя корнями кратностью один характеристического уравнения как с полиномом нулевой степени, так и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции. Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью два и с четырьмя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции не имеет перерегулирования, если постоянная времени числителя меньше или равна большей по величине постоянной времени знаменателя.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 430–437.
2. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 3. – С. 234–239.
3. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 3. – С. 240–247.
4. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 3. – С. 248–254.
5. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с двумя корнями кратностью три характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 4. – С. 376–381.
6. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью три, с одним корнем кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 4. – С. 382–390.
7. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью три и с тремя корнями кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 4. – С. 391–398.
8. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А. Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 6. – С. 281–286.
9. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с тремя корнями кратностью два характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2020. – № 3. – С. 372–378.

References

1. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Serkin A.D. Analysis of transient characteristics of the sixth-order system with multiple roots of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 1. – P. 430–437.

2. Dobrobaba Y.P., Dobrobaba A.G., Murlin O.A. Pechenkin, Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with one root multiple of five and with one root multiple of one characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 3. – P. 234–239.
3. Dobrobaba Y.P., Dobrobaba A.G., Murlin O.A. Pechenkin, Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with one root multiple of four and with one root multiple of two of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 3. – P. 240–247.
4. Dobrobaba Y.P. Dobrobaba A.G., Murlin O.A. Pechenkin, Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with one root multiple of four and with two roots multiple of one of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 3. – P. 248–254.
5. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Pechenkin O.A. Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with two roots of multiplicity three of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 4. – P. 376–381.
6. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Pechenkin O.A. Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with one root multiple of three, with one root multiple of two and with one root multiple of one of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 4. – P. 382–390.
7. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Pechenkin O.A. Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with one root multiple of three and with three roots multiple of one characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 4. – P. 391–398.
8. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Pechyonkin O.A. Analysis of the transient characteristics of the system of the sixth order with six roots multiple of one characteristic equation // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 6. – P. 281–286.
9. Dobrobaba Y.P., Dobrobaba A.G., Murlin O.A. Pechenkin, Analysis of the transient characteristics of the sixth-order system with three roots of multiplicity two of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2020. – № 3. – P. 372–378.

УДК 62

**АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ШЕСТОГО ПОРЯДКА
С ДВУМЯ КОРНЯМИ КРАТНОСТЬЮ ДВА И С ДВУМЯ КОРНЯМИ
КРАТНОСТЬЮ ОДИН ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ**



**THE ANALYSIS OF TRANSIENT CHARACTERISTICS OF A SIXTH ORDER
SYSTEM WITH TWO DOUBLE AND TWO ONE-TIME SOLUTIONS OF THE
CHARACTERISTIC EQUATION**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлин Алексей Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры
информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Печёнкин Олег Андреевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
+7-909-464-94-67
pchn257@mail.ru

Аннотация. В статье выполнен анализ переходных характеристик систем шестого порядка: с одним корнем кратности шесть характеристического уравнения [1]; с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один [2]; с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два [3]; с одним корнем кратностью четыре и с двумя корнями кратностью один [4]; с двумя корнями кратностью три [5]; с одним корнем кратностью три, с одним корнем кратностью два и одним корнем кратностью один [6]; с одним корнем кратностью три и с тремя корнями кратностью один [7]; с шестью корнями кратностью один [8]; с тремя корнями кратностью два [9]. В данной статье анализируются переходные характеристики системы шестого порядка с двумя корнями кратностью два и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения. Найдены переходные характеристики систем шестого порядка с двумя корнями кратностью два и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы шестого порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Murlin Aleksey Georgievich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Information Systems and Programming,
Kuban State Technological University

Pechonkin Oleg Andreevich

Student,
Kuban State Technological University
+7-909-464-94-67
pchn257@mail.ru

Annotation. Articles analyze the transient characteristics of a sixth order systems: with six-time solution [1]; with five-time solution and one-time solutions [2]; with four-time solution and double solution of the characteristic equation [3]; with four-time solution and two one-time solutions [4]; with two triple solutions [5]; with triple solution, double solution and one-time solution [6]; with triple solution and three one-time solutions [7]; with six one-time solutions [8]; with three double solutions of the characteristic equation [9]. This article analyzes the transient characteristics of a sixth order system with three double solutions of the characteristic equation. Transitional characteristics of sixth order systems with three double solutions of the characteristic equation with a zero degree polynomial and a first degree polynomial in numerator of transfer function are found.

Keywords: transition characteristic, sixth order characteristic equation system, the solution of the characteristic equation.

Передаточная функция системы шестого порядка с двумя корнями кратностью два и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{60}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^2 \cdot (T_2 p + 1)^2 \cdot (T_3 p + 1) \cdot (T_4 p + 1)},$$

где T_1, T_2, T_3 и T_4 – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции шестого порядка.

Корни характеристического уравнения системы шестого порядка с двумя корнями кратностью два и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения:

$$p_{1 \div 2} = -\frac{1}{T_1}, \quad p_{3 \div 4} = -\frac{1}{T_2}, \quad p_5 = -\frac{1}{T_3}, \quad p_6 = -\frac{1}{T_4}.$$

Переходная характеристика системы шестого порядка с двумя корнями кратностью два и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения и её первых пяти производных соответственно равны:

$$h_{60}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_3 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_4 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_5 \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + K_6 \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + K_7;$$

$$h_{60}^{(1)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1} + K_2\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_1} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_3}{T_2} + K_4\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_4}{T_2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_5}{T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{K_6}{T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}};$$

$$h_{60}^{(2)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_2}{T_1^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_3}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_4}{T_2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_4}{T_2^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_5}{T_3^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{K_6}{T_4^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}};$$

$$h_{60}^{(3)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_1^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_3}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_4}{T_2^2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_4}{T_2^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_5}{T_3^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{K_6}{T_4^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}};$$

$$h_{60}^{(4)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_2}{T_1^4} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_3}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_4}{T_2^3}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_4}{T_2^4} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_5}{T_3^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{K_6}{T_4^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}};$$

$$h_{60}^{(5)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_1^5} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_3}{T_2^5} + 5 \cdot \frac{K_4}{T_2^4}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_4}{T_2^5} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_5}{T_3^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{K_6}{T_4^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}}.$$

Так как начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$h_{60}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(1)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(2)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(3)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(4)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(5)}(0) = 0;$$

$$h_{60}(\infty) = 1,$$

а начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$h_{60}(0) = K_1 + K_3 + K_5 + K_6 + K_7;$$

$$h_{60}^{(1)}(0) = -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_3}{T_2} + K_4 - \frac{K_5}{T_3} - \frac{K_6}{T_4};$$

$$\begin{aligned}
 h_{60}^{(2)}(0) &= \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + \frac{K_3}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_4}{T_2} + \frac{K_5}{T_3^2} + \frac{K_6}{T_4^2}; \\
 h_{60}^{(3)}(0) &= -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - \frac{K_3}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_4}{T_2^2} - \frac{K_5}{T_3^3} - \frac{K_6}{T_4^3}; \\
 h_{60}^{(4)}(0) &= \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + \frac{K_3}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_4}{T_2^3} + \frac{K_5}{T_3^4} + \frac{K_6}{T_4^4}; \\
 h_{60}^{(5)}(0) &= -\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - \frac{K_3}{T_2^5} + 5 \cdot \frac{K_4}{T_2^4} - \frac{K_5}{T_3^5} - \frac{K_6}{T_4^5}; \\
 h_{60}(\infty) &= K_7,
 \end{aligned}$$

то справедлива зависимость

$$K_7 = 1.$$

При этом справедлива система уравнений:

$$K_1 + K_3 + K_5 + K_6 + 1 = 0; \quad (1)$$

$$-\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_3}{T_2} + K_4 - \frac{K_5}{T_3} - \frac{K_6}{T_4} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + \frac{K_3}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_4}{T_2} + \frac{K_5}{T_3^2} + \frac{K_6}{T_4^2} = 0; \quad (3)$$

$$-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - \frac{K_3}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_4}{T_2^2} - \frac{K_5}{T_3^3} - \frac{K_6}{T_4^3} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + \frac{K_3}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_4}{T_2^3} + \frac{K_5}{T_3^4} + \frac{K_6}{T_4^4} = 0; \quad (5)$$

$$-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - \frac{K_3}{T_2^5} + 5 \cdot \frac{K_4}{T_2^4} - \frac{K_5}{T_3^5} - \frac{K_6}{T_4^5} = 0. \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует, что

$$K_4 = K_1 \cdot \frac{T_2^4}{5T_1^5} - K_2 \cdot \frac{T_2^4}{T_1^4} + K_3 \cdot \frac{1}{5T_2} + K_5 \cdot \frac{T_2^4}{5T_3^5} + K_6 \cdot \frac{T_2^4}{5T_4^5}. \quad (7)$$

Из уравнений (5) и (7) следует, что

$$K_2 = K_1 \cdot \frac{(5T_1 - 4T_2)}{20T_1 \cdot (T_1 - T_2)} + K_3 \cdot \frac{T_1^4}{20T_2^4 \cdot (T_1 - T_2)} - K_5 \cdot \frac{T_1^4 \cdot (4T_2 - 5T_3)}{20T_3^5 \cdot (T_1 - T_2)} - K_6 \cdot \frac{T_1^4 \cdot (4T_2 - 5T_4)}{20T_4^5 \cdot (T_1 - T_2)}. \quad (8)$$

Из уравнений (4), (7) и (8) следует, что

$$\begin{aligned}
 K_6 = & -K_1 \cdot \frac{T_4^5 \cdot (5T_1 - 3T_2)}{T_1^4 \cdot (12T_1T_2 - 15T_1T_4 - 15T_2T_4 + 20T_4^2)} + K_3 \cdot \frac{T_4^5 \cdot (3T_1 - 5T_2)}{T_2^4 \cdot (12T_1T_2 - 15T_1T_4 - 15T_2T_4 + 20T_4^2)} - \\
 & - K_5 \cdot \frac{T_4^5 \cdot (12T_1T_2 - 15T_1T_3 - 15T_2T_3 + 20T_3^2)}{T_3^4 \cdot (12T_1T_2 - 15T_1T_4 - 15T_2T_4 + 20T_4^2)}. \quad (9)
 \end{aligned}$$

Из уравнений (3), (7), (8), и (9) следует, что

$$\begin{aligned}
 K_5 = & -K_1 \cdot \frac{T_3^5 \cdot (4T_1T_2 - 5T_1T_4 - 2T_2^2 + 3T_2T_4) \cdot (T_1 - T_4)^2}{T_1^4 \cdot (T_3 - T_4)} \cdot [6T_1^2T_2^2 - 8T_1^2T_2T_3 - 8T_1^2T_2T_4 + 10T_1^2T_3T_4 - \\
 & - 8T_1T_2^2T_3 - 8T_1T_2^2T_4 + 12T_1T_2T_3^2 + 22T_1T_2T_3T_4 + 12T_1T_2T_4^2 - 15T_1T_3^2T_4 - \\
 & - 15T_1T_3T_4^2 + 10T_2^2T_3T_4 - 15T_2T_3^2T_4 - 15T_2T_3T_4^2 + 20T_3^2T_4^2]^{-1} + \\
 & + K_3 \cdot \frac{T_3^5 \cdot (2T_1^2 - 4T_1T_2 - 3T_1T_4 + 5T_2T_4) \cdot (T_2 - T_4)^2}{(T_3 - T_4) \cdot T_2^4} \cdot [T_1^2T_2^2 - 8T_1^2T_2T_3 - 8T_1^2T_2T_4 + 10T_1^2T_3T_4 - \\
 & - 8T_1T_2^2T_3 - 8T_1T_2^2T_4 + 12T_1T_2T_3^2 + 22T_1T_2T_3T_4 + 12T_1T_2T_4^2 - 15T_1T_3^2T_4 - \\
 & - 15T_1T_3T_4^2 + 10T_2^2T_3T_4 - 15T_2T_3^2T_4 - 15T_2T_3T_4^2 + 20T_3^2T_4^2]^{-1}. \quad (10)
 \end{aligned}$$

Из уравнений (2), (7), (8), (9) и (10) следует, что

$$\begin{aligned}
 K_3 = & K_1 \cdot \frac{T_2^4 \cdot (T_1 - T_4)^2 \cdot (T_1 - T_3)^2}{T_1^4 \cdot (T_2 - T_4)^2 \cdot (T_2 - T_3)^2} \cdot \\
 & \cdot \frac{T_2^3 - 3T_1T_2^2 - 2T_2^2T_3 - 2T_2^2T_4 + 4T_1T_2T_3 + 4T_1T_2T_4 + 3T_2T_3T_4 - 5T_1T_3T_4}{T_1^3 - 3T_1^2T_2 - 2T_1^2T_3 - 2T_1^2T_4 + 4T_1T_2T_3 + 4T_1T_2T_4 + 3T_1T_3T_4 - 5T_2T_3T_4}. \quad (11)
 \end{aligned}$$

Из уравнений (1), (7), (8), (9), (10) и (11) следует, что

$$K_1 = - \frac{T_1^4 \cdot (T_1^3 - 2T_1^2 T_3 - 2T_1^2 T_4 - 3T_1^2 T_2 + 4T_1 T_2 T_3 + 4T_1 T_2 T_4 + 3T_1 T_3 T_4 - 5T_2 T_3 T_4)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^2 \cdot (T_1 - T_4)^2};$$

$$K_2 = - \frac{T_1^3}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4)};$$

$$K_3 = \frac{T_2^4 \cdot (T_2^3 - 2T_2^2 T_3 - 2T_2^2 T_4 - 3T_1 T_2^2 + 4T_1 T_2 T_3 + 4T_1 T_2 T_4 - 5T_1 T_3 T_4 + 3T_2 T_3 T_4)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_4)^2};$$

$$K_4 = - \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)};$$

$$K_5 = - \frac{T_3^5}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_3)^2 \cdot (T_3 - T_4)};$$

$$K_6 = \frac{T_4^5}{(T_1 - T_4)^2 \cdot (T_2 - T_4)^2 \cdot (T_3 - T_4)}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы шестого порядка с двумя корнями кратностью два и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$h_{60}(t) = - \frac{T_1^4 \cdot (T_1^3 - 2T_1^2 T_3 - 2T_1^2 T_4 - 3T_1^2 T_2 + 4T_1 T_2 T_3 + 4T_1 T_2 T_4 + 3T_1 T_3 T_4 - 5T_2 T_3 T_4)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^2 \cdot (T_1 - T_4)^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$- \frac{T_1^3}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^4 \cdot (T_2^3 - 2T_2^2 T_3 - 2T_2^2 T_4 - 3T_1 T_2^2 + 4T_1 T_2 T_3 + 4T_1 T_2 T_4 - 5T_1 T_3 T_4 + 3T_2 T_3 T_4)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_4)^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} -$$

$$\frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_3^5}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_3)^2 \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} +$$

$$+ \frac{T_4^5}{(T_1 - T_4)^2 \cdot (T_2 - T_4)^2 \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + 1;$$

$$h_{60}^{(1)}(t) = - \frac{T_1^3 \cdot (2T_1^2 T_2 + T_1^2 T_3 + T_1^2 T_4 - 3T_1 T_2 T_3 - 3T_1 T_2 T_4 - 2T_1 T_3 T_4 + 4T_2 T_3 T_4)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^2 \cdot (T_1 - T_4)^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+ \frac{T_1^2}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+ \frac{T_2^3 \cdot (2T_1 T_2^2 + T_2^2 T_3 + T_2^2 T_4 - 3T_1 T_2 T_3 - 3T_1 T_2 T_4 + 4T_1 T_3 T_4 - 2T_2 T_3 T_4)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_4)^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} +$$

$$+ \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_3)^2 \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} -$$

$$- \frac{T_4^4}{(T_1 - T_4)^2 \cdot (T_2 - T_4)^2 \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}}.$$

Передаточная функция системы шестого порядка с двумя корнями кратностью два и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции имеет вид:

$$W_{61}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1)^2 \cdot (T_2 p + 1)^2 \cdot (T_3 p + 1) \cdot (T_4 p + 1)},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции шестого порядка.

Переходная характеристика системы шестого порядка с двумя корнями кратностью два и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции принимает вид:

$$h_{61}(t) = \left[- \frac{T_1^4 \cdot (T_1^3 - 2T_1^2 T_3 - 2T_1^2 T_4 - 3T_1^2 T_2 + 4T_1 T_2 T_3 + 4T_1 T_2 T_4 + 3T_1 T_3 T_4 - 5T_2 T_3 T_4)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^2 \cdot (T_1 - T_4)^2} - \right.$$

$$\left. - \frac{T_1^3 \cdot (2T_1^2 T_2 + T_1^2 T_3 + T_1^2 T_4 - 3T_1 T_2 T_3 - 3T_1 T_2 T_4 - 2T_1 T_3 T_4 + 4T_2 T_3 T_4) \cdot \tau}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_3)^2 \cdot (T_1 - T_4)^2} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{T_1^2 \cdot (T_1 - \tau)}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\
 & + \left[\frac{T_2^4 \cdot (T_2^3 - 2T_2^2 T_3 - 2T_2^2 T_4 - 3T_1 T_2^2 + 4T_1 T_2 T_3 + 4T_1 T_2 T_4 - 5T_1 T_3 T_4 + 3T_2 T_3 T_4)}{(T_1 - T_2)^3 (T_2 - T_3)^2 (T_2 - T_4)^2} + \right. \\
 & \left. + \frac{T_2^3 \cdot (2T_1 T_2^2 + T_2^2 T_3 + T_2^2 T_4 - 3T_1 T_2 T_3 - 3T_1 T_2 T_4 + 4T_1 T_3 T_4 - 2T_2 T_3 T_4) \cdot \tau}{(T_1 - T_2)^3 (T_2 - T_3)^2 (T_2 - T_4)^2} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \\
 & - \frac{T_2^2 \cdot (T_2 - \tau)}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \\
 & - \frac{T_3^4 \cdot (T_3 - \tau)}{(T_1 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_3 - T_4)} e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4^4 \cdot (T_4 - \tau)}{(T_1 - T_4)^2 \cdot (T_2 - T_4)^2 \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + 1.
 \end{aligned}$$

Для системы возможно два варианта.

Вариант первый: когда выполняются условия $T_1 > T_2$, $T_1 > T_3$, $T_1 > T_4$, при этом, если $\tau = T_1$, то

$$\begin{aligned}
 h_{61}(t) = & - \frac{T_1^4}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\
 & - \frac{T_2^3 \cdot (T_2^3 - 2T_2^2 T_3 - 2T_2^2 T_4 - 2T_1 T_2^2 + 3T_1 T_2 T_3 + 3T_1 T_2 T_4 - 4T_1 T_3 T_4 + 3T_2 T_3 T_4)}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_3)^2 \cdot (T_2 - T_4)^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \\
 & + \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_3^4}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3)^2 \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \\
 & + \frac{T_4^4}{(T_1 - T_4) \cdot (T_2 - T_4)^2 \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + 1.
 \end{aligned}$$

Предположим, $T_1 = \frac{1}{4}T$, $T_2 = \frac{1}{6}T$, $T_3 = \frac{1}{8}T$ а $T_4 = \frac{1}{24}T$, тогда при $\tau = 0$

$$h_{61}(t) = \frac{2268}{25} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - \frac{432}{5} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} - \frac{704}{9} \cdot e^{-6\frac{t}{T}} - 128 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-6\frac{t}{T}} - \frac{27}{2} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} + \frac{1}{450} \cdot e^{-24\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = T_1$

$$h_{61}(t) = -\frac{108}{5} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + \frac{64}{9} \cdot e^{-6\frac{t}{T}} + 64 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-6\frac{t}{T}} + \frac{27}{2} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} - \frac{1}{90} \cdot e^{-24\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = 2T_1$

$$h_{61}(t) = -\frac{3348}{25} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + \frac{432}{5} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-4\frac{t}{T}} + \frac{832}{9} \cdot e^{-6\frac{t}{T}} + 256 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-6\frac{t}{T}} + \frac{81}{2} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} - \frac{11}{450} \cdot e^{-24\frac{t}{T}} + 1.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 1 в относительных единицах.

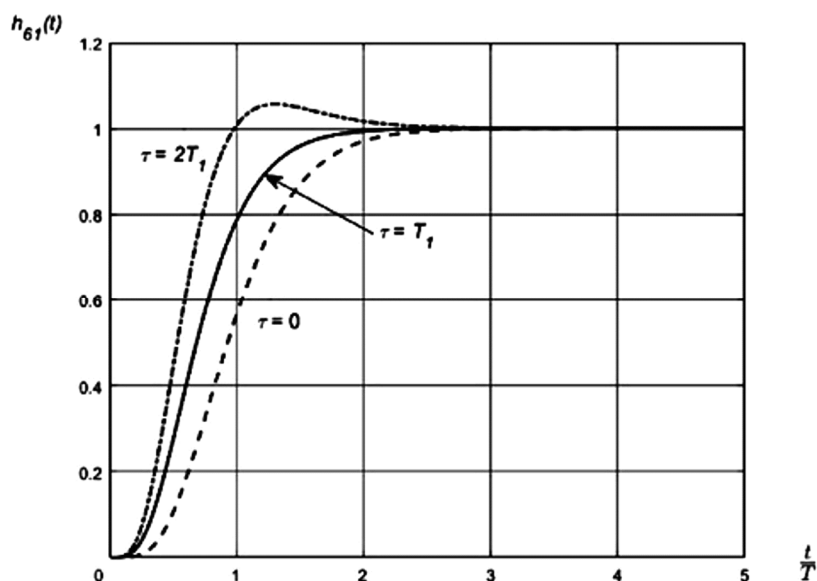


Рисунок 1 – Зависимость h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Вариант второй: когда выполняются условия $T_3 > T_1$, $T_3 > T_2$, $T_3 > T_4$,
При этом, если $\tau = T_3$, то

$$h_{61}(t) = -\frac{T_1^3 \cdot (T_1^2 - 3T_1T_2 - 2T_1T_4 + 4T_2T_4)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_1 - T_4)^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1^2}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_1 - T_4)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+ \frac{T_2^3 \cdot (T_2^2 - 3T_1T_2 + 4T_1T_4 - 2T_2T_4)}{(T_1 - T_2)^3 \cdot (T_2 - T_4)^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)^2 \cdot (T_2 - T_4)} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_4^4}{(T_1 - T_4)^2 \cdot (T_2 - T_4)^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + 1.$$

Предположим, $T_1 = \frac{1}{6}T$, $T_2 = \frac{1}{8}T$, $T_3 = \frac{1}{3}T$, а $T_4 = \frac{1}{12}T$, тогда при $\tau = 0$

$$h_{61}(t) = -128 \cdot e^{-6\frac{t}{T}} + 192 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-6\frac{t}{T}} + \frac{3483}{25} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} + \frac{648}{5} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} - \frac{1024}{75} \cdot e^{-3\frac{t}{T}} + \frac{4}{3} \cdot e^{-12\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = T_3$

$$h_{61}(t) = 192 \cdot e^{-6\frac{t}{T}} - 192 \cdot t \cdot e^{-6\frac{t}{T}} - 189 \cdot e^{-8\frac{t}{T}} - 216 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} - 4 \cdot e^{-12\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = 2T_3$

$$h_{61}(t) = 512 \cdot e^{-6\frac{t}{T}} - 576 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-6\frac{t}{T}} - \frac{12933}{25} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} - \frac{2808}{5} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-8\frac{t}{T}} + \frac{1024}{75} \cdot e^{-3\frac{t}{T}} - \frac{28}{3} \cdot e^{-12\frac{t}{T}} + 1.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 2 в относительных единицах.

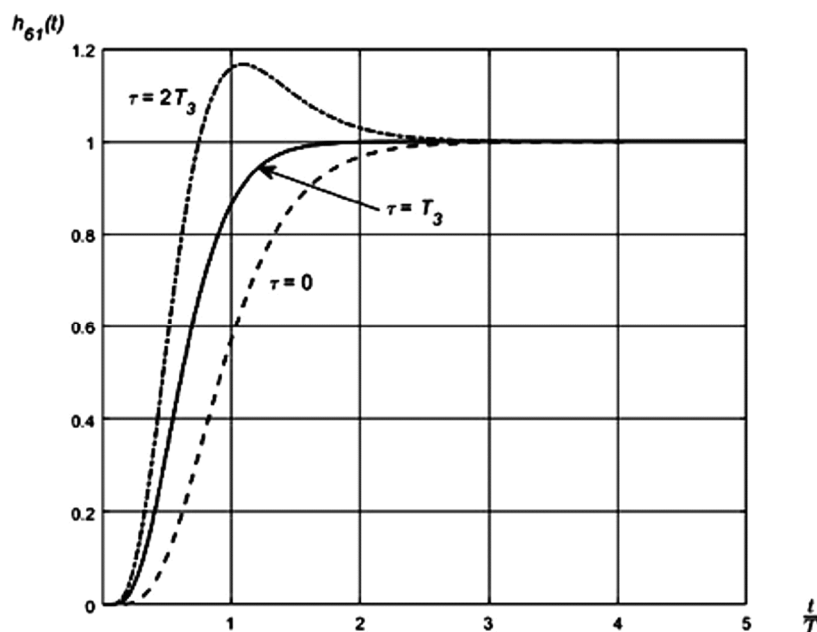


Рисунок 2 – Зависимость h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Вывод: получены переходные характеристики систем шестого порядка с двумя корнями кратностью два и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения как с полиномом нулевой степени, так и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции. Переходная характеристика системы шестого порядка с двумя корнями кратностью два и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции не имеет перерегулирования, если постоянная времени числителя меньше или равна большей по величине постоянной времени знаменателя.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 430–437.
2. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 3. – С. 234–239.

3. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 3. – С. 240–247.
4. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 3. – С. 248–254.
5. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с двумя корнями кратностью три характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 4. – С. 376–381.
6. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью три, с одним корнем кратностью два и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 4. – С. 382–390.
7. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью три и с тремя корнями кратностью один характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 4. – С. 391–398.
8. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с шестью корнями кратностью один характеристического уравнения // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 6. – С. 281–286.
9. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А., Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с тремя корнями кратностью два характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2020. – № 3. – С. 372–378.

References

1. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Serkin A.D., Analysis of transient characteristics of the sixth-order system with multiple roots of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 1. – P. 430–437.
2. Dobrobaba Y.P., Dobrobaba A.G., Murlin O.A. Pechenkin, Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with one root multiple of five and with one root multiple of one characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 3. – P. 234–239.
3. Dobrobaba Y.P., Dobrobaba A.G., Murlin O.A. Pechenkin, Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with one root multiple of four and with one root multiple of two of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 3. – P. 240–247.
4. Dobrobaba Y.P. Dobrobaba A.G., Murlin O.A. Pechenkin, Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with one root multiple of four and with two roots multiple of one of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 3. – P. 248–254.
5. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Pechenkin O.A. Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with two roots of multiplicity three of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 4. – P. 376–381.
6. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Pechenkin O.A. Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with one root multiple of three, with one root multiple of two and with one root multiple of one of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 4. – P. 382–390.
7. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Pechenkin O.A. Analysis of transient characteristics of a sixth-order system with one root multiple of three and with three roots multiple of one characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2019. – № 4. – P. 391–398.
8. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Pechyonkin O.A. Analysis of the transient characteristics of the system of the sixth order with six roots multiple of one characteristic equation // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 6. – P. 281–286.
9. Dobrobaba Y.P., Dobrobaba A.G., Murlin O.A. Pechenkin, Analysis of the transient characteristics of the sixth-order system with three roots of multiplicity two of the characteristic equation // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2020. – № 3. – P. 372–378.

УДК 62.83.52:62.503.56

**АССИМЕТРИЧНАЯ ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ОСОБО ТОЧНОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ
С ОГРАНИЧЕНИЕМ ПО СКОРОСТИ**



**ASYMMETRIC SPEED-OPTIMAL DIAGRAM OF THE MOVEMENT OF
THE EXECUTIVE BODY OF A PARTICULARLY PRECISE DC ELECTRIC
DRIVE WITH AN ELASTIC SHAFT LINE WITH A SPEED LIMIT**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроснабжения
промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Ульрих Ренат Викторович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Разработана асимметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости. Разработан алгоритм определения параметров асимметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости.

Ключевые слова: оптимальная по быстродействию диаграмма, особо точный электропривод.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of Department
of Power Supply Industrial Enterprises,
Kuban State Technological University

Ulrikh Renat Viktorovich

Student,
Kuban State Technological University

Annotation. An asymmetric diagram of the movement of the executive body of a particularly precise dc electric drive with an elastic shaft line with a speed limit is developed, which is optimal in terms of speed. An algorithm for determining the parameters of an asymmetric optimal-speed diagram of the movement of the executive body of a particularly precise dc electric drive with an elastic shaft line with a speed limit is developed.

Keywords: the optimum diagramme on speed, high-precision electric drive.

В монографии [1] представлена квазиоптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода с упругим валопроводом при ограничениях по максимальному и минимальному значениям тока.

В монографии [2] показано, что из-за влияния инерционности системы автоматического регулирования положения реальное перемещение исполнительного органа электропривода отличается от перемещения исполнительного органа электропривода, формируемого задающим устройством, на величину ошибки.

В данной работе для прецизионного электропривода разработана асимметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости, состоящая из 27 этапов.

Пятая производная угловой скорости механизма $\omega_2^{(5)}$ на этапах первом, третьем, пятом, девятом, одиннадцатом и тринадцатом принимает максимальное значение $\omega_{\max}^{(5)}$. На этапах втором, четвертом, шестом, восьмом, десятом, и двенадцатом принимается максимальное значение со знаком «минус» $\omega_{\max}^{(5)}$. На этапе седьмом пятая производная угловой скорости механизма $\omega_2^{(5)}$ равна нулю.

Пятая производная угловой скорости механизма $\omega_2^{(5)}$ на этапах шестнадцатом, восемнадцатом, двадцатом, двадцать втором, двадцать четвертом и двадцать шестом принимает максимальное значение $\omega_{\max}^{(5)}$. На этапах пятнадцатом, семнадцатом, девятнадцатом, двадцать третьем, двадцать пятом и двадцать седьмом принимает мак-

симальное значение со знаком «минус» $\omega_{\max}^{(5)}$. На этапах седьмом, четырнадцатом и двадцать первом пятая производная угловой скорости механизма $\omega_2^{(5)}$ равна нулю.

На рисунках 1–3 приведена асимметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости. Для данной диаграммы перемещения исполнительного органа справедливы следующие четырнадцать уравнений:

$$C_m I_{\text{доп}} = M_{\text{с0}} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(1)}; \quad (1)$$

$$\omega_{\max}^{(4)} = \omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1; \quad (2)$$

$$\omega_{\max}^{(3)} = \omega_{\max}^{(4)} \cdot t_1 = \omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^2; \quad (3)$$

$$\omega_{\max}^{(2)} = 2\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 = 2\omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^3; \quad (4)$$

$$\omega_{\max}^{(1)} = 4\omega_{\max}^{(2)} \cdot t_1 = 8\omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^4; \quad (5)$$

$$\omega_{\text{доп}} = \omega_{\max}^{(1)} \cdot (8t_1 + t_2); \quad (6)$$

$$-C_m I_{\text{доп}} = M_{\text{с0}} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\min}^{(1)}; \quad (7)$$

$$\omega_{\max}^{(4)*} = \omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1; \quad (8)$$

$$\omega_{\max}^{(3)*} = \omega_{\max}^{(4)*} \cdot t_1 = \omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^2; \quad (9)$$

$$\omega_{\max}^{(2)*} = 2\omega_{\max}^{(3)*} \cdot t_1 = 2\omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^3; \quad (10)$$

$$\omega_{\min}^{(1)} = -4\omega_{\max}^{(2)*} \cdot t_1 = 8\omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^4; \quad (11)$$

$$\omega_{\text{доп}} = -\omega_{\min}^{(1)} \cdot (8t_1 + t_3); \quad (12)$$

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \omega_{\text{доп}} \cdot (16t_1 + \frac{1}{2}t_2 + \frac{1}{2}t_3 + t_4); \quad (13)$$

$$T_{\text{ц}} = 32t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (14)$$

где C_m – коэффициент пропорциональности между током якорной цепи электродвигателя и его моментом, В · с;

$I_{\text{доп}}$ – допустимое значение тока якорной цепи электродвигателя, А;

$M_{\text{с0}}$ – момент сопротивления электропривода, Н · м;

J_1 – момент инерции исполнительного органа электродвигателя, кг · м²;

J_2 – момент инерции исполнительного органа механизма, кг · м²;

$\omega_{\max}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной скорости, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\max}^{(2)}$ – максимальное значение второй производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;

$\omega_{\max}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;

$\omega_{\max}^{(4)}$ – максимальное значение четвертой производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^5}$;

$\omega_{\max}^{(5)}$ – максимальное значение пятой производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^6}$;

ω_{\max} – допустимое значение скорости, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega_{\min}^{(1)}$ – минимальное значение первой производной скорости, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\max}^{(2)*}$ – максимальное значение второй производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;

$\omega_{\max}^{(3)*}$ – максимальное значение третьей производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;

$\omega_{\max}^{(4)*}$ – максимальное значение четвертой производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^5}$;

$\omega_{\max}^{(5)}$ – максимальное значение пятой производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^6}$;

$\varphi_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

t_1 – длительность первого, третьего, четвертого, шестого, восьмого, десятого, одиннадцатого, тринадцатого, пятнадцатого, семнадцатого, восемнадцатого, двадцатого, двадцать второго, двадцать четвертого, двадцать пятого, двадцать седьмого этапов, с;

$2t_1$ – длительность второго, пятого, девятого, двенадцатого, шестнадцатого, девятнадцатого, двадцать третьего, двадцать шестого этапов, с;

t_2 – длительность седьмого этапа, с;

t_3 – длительность двадцать первого этапа, с;

t_4 – длительность четырнадцатого этапа, с;

$T_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с.

Для определения параметров асимметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости справедливы зависимости

$$\omega_{\max}^{(1)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J_1 + J_2}; \quad (15)$$

$$\omega_{\max}^{(5)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{8 \cdot (J_1 + J_2) \cdot t_1^4}; \quad (16)$$

$$t_2 = \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} - 8t_1; \quad (17)$$

$$\omega_{\min}^{(1)} = -\frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{J_1 + J_2}; \quad (18)$$

$$\omega_{\max}^{(5)*} = \frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{8 \cdot (J_1 + J_2) \cdot t_1^4}; \quad (19)$$

$$t_3 = \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} - 8t_1; \quad (20)$$

$$t_4 = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} - 8t_1; \quad (21)$$

$$T_{\text{ц}} = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} + 8t_1. \quad (22)$$

Если то $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр.2}}$, где

$$\varphi_{\text{гр.2}} = \omega_{\text{доп}} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} + 8t_1 \right]. \quad (23)$$

Если $t_1 = 0,05$ с, то

$$\varphi_{\text{гр.2}} = 490 \frac{2}{3} \text{ рад.}$$

При этом $t_2 = 3,6$ с; $t_3 = \frac{14}{15}$ с; $t_4 = 0$ с; $T_{\text{ц}} = 6 \frac{2}{15}$ с;

$$\omega_{\max}^{(5)} = 800000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6}; \quad \omega_{\max}^{(4)} = 40000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; \quad \omega_{\max}^{(3)} = 2000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4};$$

$$\omega_{\max}^{(2)} = 200 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\max}^{(1)} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$\omega_{\max}^{(5)*} = 2400000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6}; \quad \omega_{\max}^{(4)*} = 120000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; \quad \omega_{\max}^{(3)*} = 6000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4};$$

$$\omega_{\max}^{(2)*} = 600 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\min}^{(1)} = -120 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Если $t_1 = 0,05$ с и $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 570 \frac{2}{3}$ рад, то

$$\begin{aligned}t_2 &= 3,6 \text{ с}; t_3 = \frac{14}{15} \text{ с}; t_4 = 0,5 \text{ с}; T_{Ц} = 6 \frac{19}{30} \text{ с}; \\ \omega_{\max}^{(5)} &= 800000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6}; \omega_{\max}^{(4)} = 40000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; \omega_{\max}^{(3)} = 2000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}; \\ \omega_{\max}^{(2)} &= 200 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \omega_{\max}^{(1)} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}; \\ \omega_{\max*}^{(5)} &= 2400000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6}; \omega_{\max*}^{(4)} = 120000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; \omega_{\max*}^{(3)} = 6000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}; \\ \omega_{\max*}^{(2)} &= 600 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \omega_{\min}^{(1)} = -120 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.\end{aligned}$$

Выводы

Для прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом разработана ассиметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа с ограничением по скорости.

Получен алгоритм, позволяющий определить параметры ассиметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости.

Построены механические и электрические координаты особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом от времени при обработке им ассиметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа с ограничением по скорости.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Литаш Б.С. Квазиоптимальный по быстродействию программно-управляемый позиционный электропривод: монография // Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар : Изд. ГУО ВПО «КубГТУ», 2009. – 178 с.
2. Добробаба Ю.П., Хорцев А.Л. Особо точный позиционный электропривод постоянного тока: монография. – Краснодар : Изд-во ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2014. – 104 с.

References

1. Dobrobaba Y.P., Litash B.S. Quasi-optimal in terms of speed of the program-controlled positional electric drive: monograph // Kuban State Technological University. – Krasnodar : Publishing house of State Educational Institution of Higher Professional Education «Kuban State Technical University», 2009. – 178 p.
2. Dobrobaba Y.P., Hortsev A.L. Particularly-precise position electric drive of direct current (in Russian) : monograph. – Krasnodar : Izd vo FGBOU VO «KubGTU», 2014. – 104 p.

УДК 69.07

**УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**



**STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE COLUMNS DURING
THE RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES**

Енина Инна Дмитриевна

студент
института строительства и
транспортной инфраструктуры
Кубанский государственный
технологический университет
inna.enina20@gmail.com

Дейкин Денис Игоревич

студент
института строительства и
транспортной инфраструктуры
Кубанский государственный
технологический университет
den.deykin20@gmail.com

Аннотация. В последние 10–15 лет в России вырос объем работ по реконструкции (в т.ч. реставрации и капитальному ремонту) различных зданий и сооружений с целью prolongation жизненного цикла существующих объектов и приведения конструкций зданий и сооружений к соответствующим современным нормативным требованиям прочности и энергоэффективности. Причинами, вызывающими необходимость усиления железобетонных колонн, являются коррозия арматуры и, как следствие, полное отслаивание защитного слоя бетона, увеличение эксплуатационных нагрузок, ошибки при проектировании, изготовлении и монтаже конструкций, повреждения, вызванные пожаром, износ при неудовлетворительной эксплуатации. В данной статье рассмотрим известные способы усиления железобетонных колонн и сравним их.

Ключевые слова: усиление, железобетонные колонны, железобетонная обойма, сталефибробетон, стальная обойма, жидкое стекло, «рубашка», углеродная лента, композит, стеклопластиковая арматура, ламинат.

Enina Inna Dmitrievna

Student,
Institute of Construction and
Transport Infrastructure
Kuban State Technological University
inna.enina20@gmail.com

Deykin Denis Igorevich

Student,
Institute of Construction and
Transport Infrastructure
Kuban State Technological University
den.deykin20@gmail.com

Annotation. In the last 10–15 years in Russia, the volume of reconstruction work (including restoration and overhaul) of various buildings and structures has increased in order to extend the life cycle of existing facilities and bring the structures of buildings and structures to the corresponding modern regulatory requirements for strength and energy efficiency. The reasons for the need to strengthen reinforced concrete columns are corrosion of reinforcement and, as a result, complete peeling of the protective layer of concrete, an increase in operational loads, errors in the design, manufacture and installation of structures, damage caused by fire, wear during unsatisfactory operation. In this article, we will consider the known methods of reinforcing reinforced concrete columns and compare them.

Keywords: reinforcement, reinforced concrete columns, reinforced concrete cage, steel fiber concrete, steel cage, liquid glass, «shirt», carbon tape, composite, fiberglass reinforcement, laminate.

Усиление железобетонных колонн железобетонной обоймой

Наиболее частым и простым способом усиления железобетонной колонны является устройство железобетонной обоймы, которая в свою очередь повышает несущую способность.

Устройство железобетонной обоймы позволяет уменьшить поперечные деформации усиливаемого элемента. При устройстве таких обойм поверхность бетона усиливаемого элемента очищается от пыли, обрабатывается стальными щетками и промывается водой за 1–1,5 ч до бетонирования. Анализ экспериментальных исследований по усилению сжатых элементов показал, что проскальзывание железобетонной обоймы по элементу усиления незначительно. Это явление происходит в условиях строительной площадки и зависит от класса бетона, состава и иных характеристик.

Железобетонные обоймы, имеющие продольную и поперечную арматуру, устраивают по периметру элемента со всех сторон. Конструктивные особенности обоей должны соответствовать следующим требованиям: площадь продольной арматуры определяется расчетом, ее диаметр должен быть не менее 16 мм для сжатых и 12 мм для растянутых стержней. Поперечную арматуру принимают диаметром не менее 6 мм, а сварную – 8 мм и устанавливают с шагом 15 диаметров продольной арматуры, но не более трехкратной толщины обоймы или 200 мм. В местах возможной концентрации напряжений шаг хомутов уменьшается вдвое. Толщина обоймы обычно не превышает 300 мм. Минимальную толщину при укладке бетона вибрированием принимают не менее 60–70 мм, а при укладке торкретированием – не менее 40 мм. Можно сделать вывод, что поперечную арматуру и толщину обоймы принимают конструктивно.

Усиление железобетонных колонн железобетонной рубашкой

При отсутствии возможности выполнения замкнутой обоймы, рекомендуется устройство «рубашек» – незамкнутого с одной стороны слоя наращиваемого железобетона. При данном способе усиления по концам поперечного сечения «рубашек» необходимо выполнить надежную анкеровку поперечной арматуры. Это выполняется способом приваривания хомутов к арматуре колонны.

Если «рубашки» устраиваются только по поврежденным участкам усиливаемых элементов, то их грани необходимо удлинить на неповрежденные части на длину анкеровки продольной арматуры рубашки и более, не менее пяти толщин стенок «рубашки», не менее ширины грани или диаметра усиливаемого элемента и не менее 500 мм. При установке арматуры «рубашек» требуется применять диаметр менее 8 мм для продольных стержней и сварных хомутов и 6 мм – для вязаных хомутов.

Работы по усилению железобетонной колонны методом устройства «рубашки» выполняют в следующей последовательности:

1. Перед тем как начать работы по усилению поверхность колонны подготавливается следующим образом: удаляется штукатурный слой; наносится насечка в бетоне на глубину 3–6 мм; за час до бетонирования поверхность старого бетона промывается чистой водой.

До начала сварки арматурных стержней свариваемые концы и соединительные накладки должны быть очищены в местах сваривания от загрязнений и масел. Вода, в том числе конденсационная, должна быть удалена с поверхности стержней и соединительных накладок нагреванием их газовыми горелками и паяльными лампами до температуры 100 °С.

Не допускается наличие дефектов от дуговой сварки на рабочих арматурных стержнях. Ожоги должны быть зачищены, при этом уменьшение площади сечения стержня не должно превышать 3 %. Место очистки стержня от дефектов должно иметь плавные переходы, а риски от абразивной обработки необходимо направлять вдоль стержня.

Не допускается отрезка электрической дугой концов стержней.

2. После проведения необходимых расчетов подбирается сечение и количество продольной арматуры при условии обеспечения совместной работы «рубашки» с колонной. Поперечная арматура должна быть диаметром не менее 6 мм и устанавливается с шагом S , определяемым расчетом.

Арматурная сталь и прокат, применяемые в усиливаемых конструкциях, должны удовлетворять требованиям ГОСТ 13015-2012, СП 28.13330.2017.

3. После монтажа арматуры производят бетонирование конструкции усиления. При способе усиления «рубашками» необходимо использовать портландцемент марки не меньше М400; при необходимости быстрого схватывания и твердения рекомендуется применение тепловой обработки бетона.

Использование быстротвердеющих цементов и добавок-ускорителей твердения допускается, если обеспечивается нормальная усадка.

Бетонная смесь наносится набрызгом. Максимальная крупность заполнителя для бетона не должна превышать половины толщины усиливаемой конструкции.

Применение самоуплотняющегося сталефибробетона

при усилении обоями

Сталефибробетоном называют бетон, дисперсно армированный стальными волокнами – фибрами. Каждая фибра играет роль стержневой арматуры в железобетоне. Прочность фибробетона на растяжение при изгибе возрастает в 2–3 раза, трещиностойкость – в 1,5–2 раза по сравнению с бетоном.

Увеличение несущей способности достигается обеспечением совместной работы арматурного каркаса и сталефибробетона. Важным аспектом является повышение качества и удобоукладываемости бетонной смеси, а также постепенный отказ от механизированных средств уплотнения.

По техническим требованиям, учитывая экономический эффект, для использования в обоях оптимальным значением является 2 % армирования по объёму стальной волновой латунированной фиброй.

Усиление колонн обоями с применением жидкого стекла

Жидкое стекло – это водный раствор силиката натрия, воздушное вяжущее вещество, изготавливаемое путем обжига смеси, состоящей из кварцевого песка и соды. Полученное стекло после дробления растворяют в воде. Натриевое жидкое стекло применяется при производстве бетонов со специальными свойствами (кислотостойких, жаростойких), огнезащитных красок и других материалов.

Конструкция усиления состоит из комбинации железобетонной обоймы с продольной и поперечной арматурой в виде замкнутых хомутов и слоя адгезионной обмазки из жидкого стекла. Эффект заключается в обеспечении возможности создания лучшего сцепления и соединения между наружной усиливающей конструкцией и элементом, подлежащему усилению.

Усиление колонн углеродной лентой

Одним из современных методов усиления является использование углеродных фиброармированных полимеров, преимущество которых в высокой прочности, жёсткости, коррозионной стойкости. К недостаткам можно отнести высокую стоимость, необходимость в защите от ультрафиолетовых лучей и воздействия огня. Если учесть стоимость их применения в сравнении с другими методами, то общая стоимость работ будет одинаковой.

Рационально усиление колонны приклеиванием полос из композитного материала в растянутой зоне сечения аналогично изгибаемым элементам. При этом, чем больше эксцентриситет приложения нагрузки при неизменном армировании, тем большая часть сечения бетона будет работать на растяжение. Естественно, эффективность усиления колонн обоями из композитных материалов при этом снижается. Опыты показали, что особенно эффективна будет установка узких полос или круглых стержней из полимерных композитных материалов в пазах, прорезанных в защитном слое бетона, так как в этом случае наиболее полно используется высокая прочность композитного материала на растяжение и исключается возможность его отслоения от усиливаемой конструкции. При этом вклеенные сжатые элементы не теряют устойчивость вплоть до разрушения бетона.

Обычно усиление проводят приклеиванием полос только в одном радиальном направлении или в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Второй вариант усиления часто используется для усиления безбалочных перекрытий. При усилении колонн также возможно комбинированное усиление, например, когда ламели приклеиваются в продольном направлении, а холсты в виде хомутов в радиальном.

Использование композитного усиления становится всё актуальнее. Расширяется и область их использования. В частности, применение полимерных композитных материалов, в том числе углепластиковых ламелей, возможно при усилении сооруже-

ний, расположенных в сейсмических районах. Это важно в связи с повышением сейсмической активности в мире.

Усиление колонн обоями с применением стеклопластиковой арматуры

На сегодняшний день композитная арматура, как и обычная металлическая, является строительным материалом, который применяется в строительстве ответственных зданий и сооружений.

Усиление обоями с применением стеклопластиковой арматуры сопоставимо по характеристикам с обычными железобетонными обоями, а также иногда и превосходит их. При равнопрочной замене стальной арматуры стеклопластиковой стоимость сокращается в 1,5 раза. Также применение стеклопластиковой арматуры помогает сократить вес конструкции обоймы. Экономический эффект достигается низкими затратами на транспортировку, разгрузку и монтаж без применения грузоподъемных механизмов. Применение композитной арматуры дает возможность уменьшить защитный слой бетона без ущерба прочности конструкции. Стеклопластиковая арматура долговечна, не подвержена коррозии.

Существенным недостатком такой арматуры является низкий модуль упругости ($E = 55000$ МПа), что ограничивает ее применение.

Усиление колонн полосами ламината

Перспективным является направление использования композитных материалов путем установки в специально подготовленные щели или пазы. Были проведены исследования работающих конструкций, усиленных таким образом. Использование полос ламината в пазах значительно увеличивает их сцепление с бетоном по сравнению с приклеиванием иных материалов к бетонной поверхности. Возрастают растягивающие напряжения в ламинате и более полно используется работа бетона сжатой зоны. Помимо этого, в пазах композитные материалы защищены от внешних воздействий.

Усиление колонн стальной обоймой

Способ усиления колонн стальными обоями легок в исполнении и позволяет незначительно увеличить поперечное сечение, а также сразу ввести колонну в работу.

Усиление стальными обоями по периметру колонн повышает прочность бетона и его деформативность, а также предотвращает проскальзывание и изгиб внутренней продольной арматуры.

Степень обжатия можно увеличить, если в планках создать предварительное напряжение. С помощью предварительного напряжения можно также увеличить степень включения в работу вертикальных уголков стальных обоек. Наиболее простым способом создания предварительного напряжения является использование заранее перегнутого уголка, которые в последующем выпрямляются за счет горизонтального стягивания.

В уголках возникает сжимающее усилие, на величину которого колонна разгрузится, и они работают как распорки.

Данным способом эффективно усиливать колонны, работающие как с большими, так и с малыми эксцентриситетами.

При усилении колонн многоэтажных зданий нужно учесть нижние реакции распорок на промежуточных этажах, которые создают дополнительные нагрузки на нижележащие перекрытия, поэтому усиление выполняют с самых нижних колонн.

При способе усиления стальными обоями несущими элементами являются вертикальные уголки. Влиянием планок на поперечные деформации бетона усиливаемой колонны следует пренебречь.

Наивысший эффект усиления можно достичь, если использовать предварительно напряженные обоймы-распорки, которые можно применять без разгрузки колонн. При их проектировании необходимо учесть, что продольное усилие не должно

продавливать опорные поверхности перекрытий (покрытия) и не должно отрывать от колонны сами перекрытия (покрытие) и что в работе распорок является наиболее невыгодной стадия монтажа, потому что гибкость уголков значительна, так как они не соединены планками.

Если использование предварительного напряжения нецелесообразно, то стальные обоймы выгодно применять только при условии частичного или полного разгрузки колонн, а также при условии плотного прилегания концов уголков к опорным поверхностям.

При действии дополнительной нагрузки уголки необходимо рассчитывать, приравнивая их продольных деформаций с деформациями железобетонной колонны. Возможность передавать нагрузку на вертикальные уголки значительно ограничены.

При усилении промежуточных колонн многоэтажных зданий нагрузка от уголков будет передаваться на нижележащие перекрытия. Для такой передачи должен быть выполнен расчет, доказывающий возможность того, что эти перекрытия в состоянии выдержать дополнительную нагрузку.

Для того, чтобы передать часть нагрузки, необходимо предварительно снять эту часть с перекрытия.

В многоэтажных зданиях, чтобы загрузить уголки обоймы нижнего этажа, недостаточно разгрузить перекрытия вышележащих этажей, нужно также усилить обоймами все вышерасположенные колонны, уголки которых будут передавать нагрузку на нижнюю обойму.

Если обоймы на вышерасположенных колоннах невозможно установить, то на уголки нижней колонны будет передаваться только та часть нагрузки, которая была временно снята с перекрытия одного нижнего этажа.

Если вертикальные уголки недостаточно прижаты к поверхностям усиливаемого элемента, то последний имеет возможность свободно деформироваться в поперечном направлении до тех пор, пока не исчезнет зазор. В этот момент планки начнут вступать в работу.

При таком качестве исполнения эффекта от усиления почти нет.

Можно выполнить прижатие уголков инвентарными струбцинами до начала приварки к ним планок, а также создать предварительное напряжение планок электронагревом или натяжными гайками.

При этом между поверхностями уголков и усиливаемой конструкции следует проложить слой раствора.

Способы усиления железобетонных колонн достаточно разнообразны и применение их в разных ситуациях зависит от многих факторов, таких как: скорость производства работ по усилению, финансовые возможности, экономическая целесообразность и степень повреждения конструкции. Выполнив полное обследование конструкций, можно делать вывод, какой из способов окажется рациональнее в использовании.

Литература

1. Ключев С.В. Усиление и восстановление конструкций с использованием композитов на основе углеволокна // Бетон и железобетон. – 2012. – №3. – С. 23–26.
2. Таровик В.В., Леонова А.Н. Современные способы усиления строительных конструкций углеродными композитными материалами // В сборнике: Актуальные вопросы городского строительства, архитектуры и дизайна в курортных регионах. Материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции. – 2015. – С. 75–79.
3. Поднебесов, П.Г., Теряник В.В. Особенности применения самоуплотняющегося сталефибробетона при усилении железобетонных колонн // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Т. 14. – № 1. – С. 23–26.
4. Леонова А.Н., Курочка М.В. Структурные дефекты в пространственно-армированных композитах и их влияние на свойства материалов // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник статей Международного научно-практического конгресса. – 2018. – С. 132–136.
5. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. – М. : «Стройиздат».

6. Дворная З.Л., Леонова А.Н. Достоинства и недостатки различных методов усиления железобетонных колонн // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 2. – С. 287–289.
7. Бадьин Г.М., Сычев С.А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 85 с.
8. Леонова А.Н., Бибиков Б.С. Современные методы усиления горизонтальных несущих конструкций углеволокном // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 16–21.
9. Леонова А.Н., Софьяников О.Д., Кривенкова Т.В. Особенности усиления строительных конструкций композитными полимерными материалами в условиях высоких и низких температур // Перспективы науки. – 2019. – № 5 (116). – С. 64–69.
10. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.
11. Махинько А.С., Овсиенко Е.А., Леонова А.Н. Разработка новых конструктивных форм, методом расчета, оптимизации и реконструкции строительных конструкций и сооружений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 2. – С. 339–342.
12. Леонова А.Н., Шевчук Е.А., Губская К.В. Основные виды композитной арматуры. Её преимущества и недостатки // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 2. – С. 334–338.

References

1. Klyuyev S.V. Strengthening and restoration of structures using composites on the basis of carbon fiber // Concrete and reinforced concrete. – 2012. – № 3. – P. 23–26.
2. Tarovik V.V., Leonova A.N. Modern ways of strengthening of building structures by carbon composite materials // In the collection: Actual problems of urban construction, architecture and design in the resort regions. Materials of the Second All-Russian scientific-practical conference. – 2015. – P. 75–79.
3. Podnebesov P.G., Teryanik V.V. Features of application of self-compacting steel-fiber-concrete when reinforcing reinforced concrete columns // Bulletin of SUSU. Series «Construction and Architecture». – 2014. – Vol. 14. – № 1. – P. 23–26.
4. Leonova A.N., Kurochka M.V. Structural defects in spatially reinforced composites and their influence on the properties of materials // In the collection: Development and innovation in construction. Collection of articles of the International scientific and practical congress. – 2018. – P. 132–136.
5. Shilin A.A., Pshenichny V.A., Kartuzov D.V. Strengthening of reinforced concrete structures with composite materials. – M. : Stroyizdat.
6. Dvornaya Z.L., Leonova A.N. Advantages and disadvantages of various methods of strengthening reinforced concrete columns // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnical Bulletin). – 2019. – № 2. – P. 287–289.
7. Badjin G.M., Sychev S.A. Modern technologies of construction and reconstruction of buildings. – SPb. : BKhV-Peterburg, 2013. – 85 p.
8. Leonova A.N., Bibikov B.S. Modern methods of strengthening horizontal load-bearing structures with carbon fiber // In the collection: Development and Innovations in Construction. Materials of the III International Scientific-Practical Conference. – 2020. – P. 16–21.
9. Leonova A.N., Sofyanikov O.D., Krivenkova T.V. Features of the strengthening of building structures by composite polymeric materials at high and low temperatures // Perspectives of Science. – 2019. – № 5 (116). – P. 64–69.
10. SP 164.1325800.2014 Strengthening of reinforced concrete structures by composite materials. Design rules.
11. Makhinko A.S., Ovsienko E.A., Leonova A.N. Development of new structural forms, calculation methods, optimization and reconstruction of building structures and constructions // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnical Bulletin). – 2020. – № 2. – P. 339–342.
12. Leonova A.N., Shevchuk E.A., Gubskaya K.V. Main types of composite armature. Its advantages and disadvantages // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnical Bulletin). – 2020. – № 2. – P. 334–338.

УДК 656

ТРАНСПОРТНАЯ КОМПАНИЯ ИТЕКО



TRANSPORT COMPANY ITECO

Ивлев Александр Сергеевич

студент 4го курса,
Кубанский государственный
технологический университет
79649327248@yandex.ru

Аннотация. В статье описаны этапы создания и развития компании ИТЕКО, описаны логистические центры, созданные компанией, описан автомобильный парк компании, приведены марки тягачей, описаны главные преимущества компании ИТЕКО. А также проведен анализ работы компании за последние десять лет, и этапы развития.

Ключевые слова: транспортная компания, ИТЕКО, логистический центр, автомобильный парк.

Ivlev Alexander Sergeevich

4th year Student,
Kuban State Technological University
79649327248@yandex.ru

Annotation. The article describes the stages of establishment and development of ITECO, describes the logistics centers created by the company, describes the company's fleet of vehicles, gives the brands of tractors, describes the main advantages of ITECO. And also the analysis of the company's work for the last ten years and the stages of development.

Keywords: transport company, ITECO, logistics center, car park.

Компания ИТЕКО является одной из самых успешных и перспективных компаний России. Она входит в пятерку самых крупных транспортно-логистических предприятий в нашей стране.

Компания ИТЕКО начала свою деятельность в 2004 году и на протяжении 17 лет продолжает стремительно развиваться. Первый офис был открыт в Нижнем Новгороде 6 августа 2004 года. Всего лишь за полтора года ИТЕКО смогла увеличить оборот денежных средств до 7 млн рублей. Такое стремительное развитие позволило компании обогнать многих конкурентов, являясь при этом всего лишь новичком на транспортно-логистическом рынке.

В 2006 году, благодаря неплохой выручке, компания открывает филиалы в таких крупных городах, как Москва, Санкт-Петербург, Уфа и Воронеж. Через год компания открывает филиалы в Казани, Саранске, Ростове-на-Дону, Кирове, Екатеринбурге. Постепенно филиалы ИТЕКО распространились по всей стране, в том числе и в Краснодарском крае (г. Краснодар, г. Новороссийск). В 2013 году компания занимается развитием собственных логистических центров [1, 2].

Логистический центр представляет собой предприятие, занимающееся обработкой и хранением грузов, оказывает услуги по таможенному оформлению, услуги по предоставлению информации по каким-либо перевозкам. Логистические центры могут сдавать в аренду площади более мелким транспортным компаниям, а также имеют собственные стоянки для подвижного состава, находящегося на балансе предприятия [3, 4].

Таким образом, компания ИТЕКО сделала огромный прорыв и скачок в развитии в 2013 году. На рисунке 1 показан склад логистического центра ИТЕКО, на который поступают грузы для временного хранения:



Рисунок 1 – Склад логистического центра ИТЕКО

На данный момент компания ИТЕКО имеет более 50 филиалов по все России. Они включают не только АТП, но и склады, сервисные центры и даже свои магазины по продаже запчастей. Все эти подразделения имеют один общий логотип, разработанный еще при создании компании в 2004 году.

Автопарк компании состоит из более 700 собственных автомобилей со средним возрастом менее 2-х лет. Также подвижной состав предприятия содержит 10000 автомобилей, взятых в аренду. Помимо этого ежегодно в ИТЕКО происходит обновление автомобильного парка.

Благодаря большому числу транспортных средств, находящихся на балансе предприятия, компания обеспечивает выполнение более 1,5 тысячи рейсов на между-городнем и международном сообщении в день.

На счету компании ИТЕКО более 2000 постоянных клиентов, которые являются крупнейшими предприятиями России, холдингами пивоваренной, табачной, целлюлозно-бумажной, нефтехимической, стекольной и аграрной отраслей промышленности, а также являются сетевыми и торговыми компаниями [5, 6].

Количество сотрудников компании превышает 1,5 тыс., среди которых 800 человек являются водителями-экспедиторами.

В 2014 году компания ИТЕКО начала приобретать партии автомобилей КАМАЗ-5490, КАМАЗ-5490 НЕО, КАМАЗ-65115. Однако в 2020 году компании представилась возможность первыми испытать новые тягачи КАМАЗ-54901, КАМАЗ-54901 компании ИТЕКО.

В статье «Водители ИТЕКО первыми испытают тягачи КАМАЗ-54901» говорится о том, что этот магистральный седельный тягач имеет новый рядный 6-цилиндровый двигатель КАМАЗ стандарта Евро-5 собственной разработки завода в Набережных Челнах, 12-ступенчатую экономичную автоматизированную коробку передач ZF Трахон. Тягач комплектуется кабиной, имеющей ширину 2,5 м, ровный пол, позволяющий водителю себя чувствовать в дальних рейсах «как дома», и высокую крышу. Заявленный производителем ресурс – 1,2 млн км пробега [7]. Компания приобрела партию КАМАЗ-54901 в количестве 100 штук.

Компания ИТЕКО имеет множество преимуществ, делающих ее конкурентоспособной. К ним относятся:

- Предоставление круглосуточной информационной поддержки диспетчерской службы 7 дней в неделю;
- Наличие собственного, крупнейшего в стране, автомобильного парка;
- Поддержание единой ценовой политики по всей территории России;
- Полное страхование груза от любых повреждений и краж в процессе перевозки;
- Прозрачность российского рынка перевозок, благодаря чему можно точно спрогнозировать свои транспортные расходы на длительный период;
- Оборудование всех автомобилей мониторинговой системой СКАУТ.

Компания ИТЕКО является одной из ключевых на рынке перевозок, постоянно развивается и с каждым годом все больше и больше растет, принося существенный доход.

Литература

1. Мировая Экономика : учебное пособие / А.Б. Мельников [и др.] / под общ. ред. А.Б. Мельникова. – Краснодар : Издательство ГКАУ, 2009. – 404 с.
2. Нагорный В.В., Лотникова Д.Ю. Основные проблемы безопасности дорожного движения в городе Краснодаре за 2020 год // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 7. – С. 202–207.
3. Лотникова Д.Ю., Нагорный В.В. Проблемы функционирования систем транспорта России // В сборнике : Проблемы функционирования систем транспорта. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – 2020. – С. 412–413.

4. Лотникова Д.Ю., Нагорный В.В. Каршеринг в России и за рубежом // В сборнике : Проблемы функционирования систем транспорта. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – 2020. – С. 414–415.
5. Нагорный В.В., Лотникова Д.Ю. Сфера безопасности общественного и индивидуального транспорта, на примере г. Краснодар // В сборнике : механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам третьей научно-практической конференции. – 2020. – С. 1160–1163.
6. Лотникова Д.Ю., Тимков А.В. Повышение эффективности логистических центров // В сборнике : механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам третьей научно-практической конференции. – 2020. – С. 1139–1141.
7. Транспортная компания ITECO. – URL : <https://mainmine.ru/transportnye-kompanii/iteco>

References

1. World Economy : textbook / A.B. Melnikov [et al.] / ed. by A.B. Melnikov. – Krasnodar : Publishing house GKAU, 2009. – 404 p.
2. Nagorny V.V., Lotnikova D.Y. Main problems of road safety in the city of Krasnodar in 2020 // Electronic network polythematical journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2020. – № 7. – P. 202–207.
3. Lotnikova D.Y., Nagorny V.V. Problems of functioning of transport systems in Russia // In the collection: Problems of functioning of transport systems. Materials of All-Russian (National) scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University». – 2020. – P. 412–413.
4. Lotnikova D.Y., Nagorny V.V. Carsharing in Russia and abroad // In the collection: Problems of functioning of transport systems. Materials of All-Russian (National) nauchno-practical conference of students, graduate students and young scientists. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University». – 2020. – P. 414–415.
5. Nagorny V.V., Lotnikova D.Y. Sphere of safety of public and individual transport, on the example of Krasnodar // In the collection : mechanics, equipment, materials and technology. Electronic collection of scientific papers on the materials of the third scientific-practical conference. – 2020. – P. 1160–1163.
6. Lotnikova D.Y., Timkov A.V. Increasing the Efficiency of Logistics Centers // In compilation: mechanics, equipment, materials and technologies. Electronic collection of scientific papers on the materials of the third scientific conference. – 2020. – P. 1139–1141.
7. Transport company ITECO. – URL : <https://mainmine.ru/transportnye-kompanii/iteco>

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОЗКИ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ



PECULIARITIES OF PERISHABLE GOODS TRANSPORTATION

Иноземцева Анастасия Юрьевнастудент 4го курса,
Кубанский государственный
технологический университет
nastasiya.inozemtseva@gmail.com**Inozemtseva Anastasia Yurievna**
4th year Student,
Kuban State Technological University
nastasiya.inozemtseva@gmail.com

Аннотация. В статье описано значение скоропортящегося груза, приведены наиболее важные условия для транспортировки, приведена классификация скоропортящихся грузов, показан тушевоз на рисунке, подробно описаны особенности транспортировки мяса, описаны особенности перевозки овощей и фруктов, приведен температурный режим для овощей и фруктов, сделаны выводы о важности скоропортящихся грузов.

Annotation. The article describes the importance of perishable cargo, the most important conditions for transportation are given, the classification of perishable cargo is given, the carcass is shown in the picture, the special features of meat transportation are described in detail, the features of transportation of vegetables and fruits are described, the temperature conditions for vegetables and fruits are given, conclusions about the importance of perishable cargo are drawn.

Ключевые слова: скоропортящийся груз, мясо, овощи, температурный режим, классификация.

Keywords: perishable cargo, meat, vegetables, temperature control, classification.

Скоропортящимся является такой специальный груз, который требует особых условий перевозки. Такими условиями можно назвать специальный температурный режим (необходимая температура может быть, как минусовой, так и плюсовой), воздушный режим (влажность воздуха, например), и, конечно же, временной режим – у всех скоропортящихся грузов есть свой срок годности, по истечению которого груз утрачивает свою ценность. Именно поэтому двумя главными параметрами для клиентов, которые ищут перевозчиков скоропортящегося груза, являются время и стоимость [1, 2].

Скоропортящийся груз должен быть доставлен в пункт назначения в надлежащем качестве и в том же количестве, что и в момент погрузки в транспортное средство, чаще всего, в рефрижератор. Перед погрузкой груз тщательно проверяют, однако, в пути могут возникнуть форс-мажорные обстоятельства, которые необходимо предвидеть, чтобы максимально снизить негативные последствия этих обстоятельств. Отсюда возникает множество особенностей для перевозки каждого вида скоропортящихся грузов [3].

Перевозка мяса является одной из самых популярных во всем мире. Белок, находящийся в мясных продуктах, является важнейшей составляющей рациона большинства людей. Однако мясо требует особых условий при его транспортировке. Перевозка мяса в первую очередь должна обеспечиваться специальным транспортом, который сохранит его свежесть и товарный вид. От свежести и качества мяса напрямую будет зависеть здоровье потенциальных покупателей [4, 5].

Существует несколько видов транспортных средств, которые перечислены в статье «Особенности перевозки мяса и мясопродуктов»:

- оборудованные перекладинами тушевозы, с помощью которых осуществляется транспортировка цельных крупных сельскохозяйственных животных (свиней, ягнят, коней, коров);
- рефрижераторы, в которых перевозится птичье мясо, крольчатина, мясопродукты и мяса мехобвалки;
- изотермические фургоны – спецтранспорт для транспортировки охлаждённого, остывшего, парного мяса в зимний период [6].

Классификация скоропортящихся грузов представлена на рисунке 1:

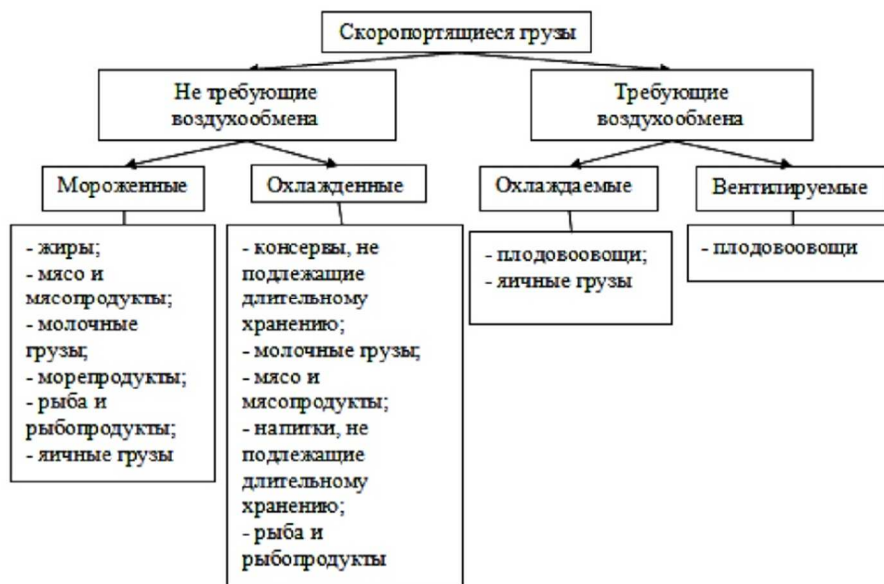


Рисунок 1 – Классификация скоропортящегося груза

Главные особенности перевозки мяса:

- Запрещено перевозить копченое и охлажденное мясо вместе с остальными продуктами.

- Запрещено хранить замороженное мясо вместе с охлажденным мясом.

- Запрещено перевозить мясо при наличии в тушевозе снега и льда.

Мясо должно быть плотно уложено штабелями, а также крепко закреплено, чтобы оно не падало при движении на поворотах транспортного средства. Также мясная продукция должна быть обеспечена вентиляцией.

Перевозкам мяса не уступают и перевозки овощей и фруктов по популярности. Овощи и фрукты также требуют специальных условий для транспортировки. Овощи и фрукты должны быть доставлены с одинаковой степенью зрелости, без различных трещин и вмятин, без поражений бактериями и грибок. Основным критерием такой перевозки является температурный режим [7, 8].

При перевозке овощей необходимо учитывать данные показатели температурного режима, чтобы сохранить овощи и фрукты, а также для того, чтобы иметь возможность организовывать совместные перевозки для грузов с одинаковым температурным режимом.

Скоропортящийся груз является одним из самых важных перевозимых грузов. Именно поэтому необходимо правильно и качественно организовывать их транспортировку.

Литература

1. Продовольственная безопасность – основа обеспечения экономической безопасности России / А.Б. Мельников [и др.] // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2012. – № 3 – С. 189–194.
2. Мировая Экономика : учебное пособие / А.Б. Мельников [и др.]; под общ. ред. А.Б. Мельникова. – Краснодар : Издательство ГКАУ, 2009. – 404 с.
3. Нагорный В.В., Лотникова Д.Ю. Основные проблемы безопасности дорожного движения в городе Краснодаре за 2020 год // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 7. – С. 202–207.
4. Лотникова Д.Ю., Нагорный В.В. Проблемы функционирования систем транспорта России // В сборнике : Проблемы функционирования систем транспорта. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – 2020. – С. 412–413.

5. Лотникова Д.Ю., Нагорный В.В. Каршеринг в России и за рубежом // В сборнике : Проблемы функционирования систем транспорта. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – 2020. – С. 414–415.
6. Нагорный В.В., Лотникова Д.Ю. Сфера безопасности общественного и индивидуального транспорта, на примере г. Краснодар // В сборнике : механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам третьей научно-практической конференции. – 2020. – С. 1160–1163.
7. Лотникова Д.Ю., Тимков А.В. Повышение эффективности логистических центров // В сборнике : механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам третьей научно-практической конференции. – 2020. – С. 1139–1141.
8. Нагорный В.В., Лотникова Д.Ю. Автомобильные перевозки детей и безопасность движения // В сборнике : механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам третьей научно-практической конференции. – 2020. – С. 1160–1163.

References

1. Food security – the basis of economic security of Russia / A.B. Melnikov [et al.] // Humanities, socio-economic and social sciences. – 2012. – № 3 – P. 189–194.
2. World Economy : textbook / A.B. Melnikov [et al.]; ed. by A.B. Melnikov. – Krasnodar : Publishing house GKAU, 2009. – 404 p.
3. Nagorny V.V., Lotnikova D.Y. Main problems of road safety in the city of Krasnodar in 2020 // Electronic network polythematical journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2020. – № 7. – P. 202–207.
4. Lotnikova D.Y., Nagorny V.V. Problems of functioning of transport systems in Russia // In the collection: Problems of functioning of transport systems. Materials of All-Russian (National) scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University». – 2020. – P. 412–413.
5. Lotnikova D.Y., Nagorny V.V. Carsharing in Russia and abroad // In the collection: Problems of functioning of transport systems. Materials of All-Russian (National) scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University». – 2020. – P. 414–415.
6. Nagorny V.V., Lotnikova D.Y. Sphere of safety of public and individual transport, on the example of Krasnodar // In the collection : mechanics, equipment, materials and technology. Electronic collection of scientific papers on the materials of the third scientific-practical conference. – 2020. – P. 1160–1163.
7. Lotnikova D.Y., Timkov A.V. Increasing the Efficiency of Logistics Centers // In compilation: mechanics, equipment, materials and technologies. Electronic collection of scientific papers on the materials of the third scientific conference. – 2020. – P. 1139–1141.
8. Nagorny V.V., Lotnikova D.Y. Automobile transportation of children and traffic safety // In the collection: mechanics, equipment, materials and technologies. Electronic collection of scientific papers on the materials of the third scientific-practical conference. – 2020. – P. 1160–1163.

УДК 631.6:664.8.047

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ОБЕЗВОЖИВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ****MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF DEHYDRATION
OF VEGETABLE RAW MATERIALS****Иночкина Екатерина Викторовна**Кубанский государственный
технологический университет**Касьянов Геннадий Иванович**Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Статья посвящена решению актуальной проблемы развития научных основ и методов исследования процессов обезвоживания пищевого растительного сырья. Целью работы является развитие научных основ и методов исследования процессов обезвоживания пищевого растительного сырья. Были поставлены задачи по оценке зависимости теплофизических показателей (теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности) от влажности и температуры сырья; изучению химических и теплофизических свойств образцов мякоти дыни, моркови, свеклы, смородины черной, топинамбура и тыквы, как объектов сушки. В работе представлены математические модели процессов, обоснованы современные методы расчета параметров технологических режимов и предложены направления модернизации технологии и оборудования для обезвоживания влажного растительного сырья. Используемое сырье имеет наномасштабные размеры: капилляры плодовоовощного сырья имеют диаметр до 300 нм, оболочки клеток от 7 до 30 нм, размер молекулы воды 0,30 нм. Размер молекулы азота 0,38 нм, аргона 0,35 нм, углекислого газа 0,33 нм. Эти естественные наноструктуры определяют условия обезвоживания и эффективность технологии. Разработаны нелокальные по времени регрессионные модели (с релаксационным ядром) процесса сушки выбранных культур, исследованы сорбционно-структурные и теплофизические свойства плодов и овощей, отобранных для сушки на CO₂-сушильной установке. С участием авторов сконструирована CO₂-сушильная установка, использующая частичную растворимость молекулы углекислого газа в воде.

Ключевые слова: математическое моделирование, процессы сушки, плоды, овощи, регрессионные модели, сорбционно-структурные свойства.

Inochkina Ekaterina Viktorovna

Kuban State Technological University

Kasyanov Gennady Ivanovich

Kuban State Technological University

Annotation. The article is devoted to solving the urgent problem of the development of scientific foundations and methods of researching the processes of dehydration of food plant materials. The aim of the work is to develop scientific foundations and research methods for the processes of dehydration of edible plant materials. The tasks were set to assess the dependence of thermophysical indicators (heat capacity, thermal conductivity coefficient, thermal diffusivity) on the humidity and temperature of raw materials; the study of the chemical and thermophysical properties of samples of melon, carrot, beet, black currant, Jerusalem artichoke and pumpkin pulp as drying objects. The paper presents mathematical models of processes, substantiates modern methods for calculating the parameters of technological regimes and proposes directions for modernizing technology and equipment for dehydration of moist plant materials. The raw materials used have nanoscale dimensions: the capillaries of fruit and vegetable raw materials have a diameter of up to 300 nm, cell shells from 7 to 30 nm, the size of a water molecule is 0.30 nm. The size of the nitrogen molecule is 0.38 nm, argon is 0.35 nm, and carbon dioxide is 0.33 nm. These natural nanostructures determine the dehydration conditions and the efficiency of the technology. Regression models non-local in time (with a relaxation kernel) of the drying process of selected crops have been developed, the sorption-structural and thermophysical properties of fruits and vegetables selected for drying in a CO₂-drying unit have been investigated. With the participation of the authors, a CO₂-drying unit has been designed using the partial solubility of a carbon dioxide molecule in water.

Keywords: mathematical modeling, drying processes, fruits, vegetables, regression models, sorption-structural properties.

Процесс обезвоживания растительного сырья позволяет продлить срок его хранения и получить возможность изготовить натуральные пищевые добавки. Большое значение при этом имеет изучение кинетики и моделирование процесса тепломассопереноса в реальных объектах сушки [1]. Консервная и овощесушильная промышленность страны обладает широким ассортиментом устройств и способов обезвоживания плодовоовощного и пряно-ароматического сырья [2]. Основным элемен-

том комплексной переработки плодов бахчевых культур считается процесс сушки, позволяющий производить широко востребованные снеки и пастилу [3]. В ассортимент продуктов геродиетического назначения обычно входят продукты с промежуточной влажностью, в большей мере сохранившие БАВ, по сравнению с сухими продуктами [4].

Перспективным и принципиально новым направлением в переработке плодоовощного сырья, является использование в качестве сушильного агента диоксида углерода [5]. В свое время, на такую возможность обратили внимание профессор В.М. Шляховецкий и доцент Ю.С. Беззаботов Теоретическое обоснование процесса CO_2 -обезвоживания сырья, за счет частичной растворимости воды в углекислом газе, выполнила доцент Е.В. Иночкина [5].

Подробный обзор требований к сырью и существующих способов сушки представлен в работе [6]. В состав продуктов специализированного назначения для детского, спортивного, геродиетического назначения входят сухие продукты с гарантированным содержанием хелатных форм эссенциальных микроэлементов [7].

Значительный объем исследований в области сушки и экстрагирования ценных компонентов из пищевого сырья выполнен под руководством зав. кафедрой Самарского государственного технического университета, д. х. н., профессора Н.В. Макаровой [8]. В работах ее учеников представлены результаты исследований по содержанию в плодах и овощах антиоксидантных и антирадикальных компонентов.

При подготовке сырья к технологической переработке, представляют интерес исследования по действию на ход биохимических процессов электромагнитного поля низкой частоты [9]. Кроме того, перед направлением на переработку лекарственного растительного сырья, необходимо исследовать его антиоксидантные и антимикробные свойства, чтобы сохранить их и предложить щадящие температурные режимы [10].

Наиболее весомый научный вклад в математическое моделирование и расчеты процессов сушки и экстрагирования, внес профессор С.П. Рудобашта [11, 12]. Методика построения регрессионных моделей обработки сырья, позволяющая корректировать ошибки и прогнозировать биологическую ценность готовых продуктов, защищена свидетельствами на Программы ЭВМ [13–15]. Основополагающее значение при выборе способа переработки сырья имеет обоснование экономической целесообразности [16].

При моделировании процесса сублимационной сушки термолабильного растительного сырья следует учитывать свойства и фазовые состояния таких хладагентов, как азот и диоксид углерода [17–18]. Рациональную технологию переработки растительного сырья и подбора оборудования, можно спрогнозировать, используя методы математического моделирования основных производственных процессов [19–20].

Выполненный обзор научно-технической литературы позволил выявить проблемы в современной теории обезвоживания растительного сырья, и именно – недостаточное внимание к исследованию сорбционно-структурных и теплофизических свойства плодов и овощей, отобранных для сушки.

Целью работы является развитие научных основ и методов исследования процессов обезвоживания пищевого растительного сырья.

Были поставлены задачи по оценке зависимости теплофизических показателей (теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности) от влажности и температуры сырья; изучению химических и теплофизических свойств образцов мякоти дыни, моркови, свеклы, смородины черной, топинамбура и тыквы, как объектов сушки.

Решалась задача оптимального управления процессом наноструктурной сушки для поиска термобарического режима $T(t)$ и $P(t)$, максимизирующего содержание витамина С в конце сушки, при заданных условиях на влажность. Установлено, что капилляры плодоовощного сырья имеют диаметр до 300 нм, оболочки клеток от 7 до 30 нм, размер молекулы воды 0,30 нм. Размер молекулы азота 0,38 нм, аргона 0,35 нм, углекислого газа 0,33 нм

Сорбционно-структурные характеристики сырья определяли с помощью адсорбционного метода, с учетом изотерм сорбции-десорбции:

$$U_{\text{м.г.}} = 2,540 - 3,919 \cdot 10^{-2} \cdot t + 6,580 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 6,561 \cdot 10^{-6} \cdot t^3. \quad (1)$$

Принимали во внимание равновесное влагосодержание сырья, температуру и относительную влажность воздуха:

$$U_p = \frac{a'\varphi^{0,5} + b'\varphi + c'\varphi^{1,5}}{1 + d'\varphi^{0,5} + e'\varphi + (f' + g')\varphi^{1,5}}, \quad (2)$$

где $a', b', c', d', e', f', g'$ – опытные коэффициенты политермы десорбции.

Идентификацию теплофизических характеристик сырья проводили способом комплексного определения. Обработанные экспериментальные данные подтвердили зависимость теплопроводности от влагосодержания материала при температуре от 2 до 55 °С. Величина влагосодержания составляла $U = 0,1025 \div 4,0123$ кг/кг. Определим коэффициент теплопроводности:

$$\lambda = 0,06 + 0,01e^{-0,5\left(\frac{U-3,023}{0,134}\right)^2}; \quad (3)$$

– коэффициент температуропроводности:

$$a = \frac{5,555 - 1,254U^2 + 0,077U^4}{1 - 0,213U^2 + 0,011U^4 + 1,54 \cdot 10^{-4}U^6} \cdot 10^{-8}; \quad (4)$$

– коэффициент теплоемкости:

$$C = 782,96 + 19,687U. \quad (5)$$

Коэффициент потенциалопроводности при влажности сырья a_m вычисляли с помощью кривых сушки. Помещенные в сетчатую кассету образцы сырья толщиной 5 мм обезвоживали в изотермических условиях при скорости теплоносителя 14 м / с, при этом $Bi_m \rightarrow \infty$. Коэффициент потенциалопроводности вычисляли с помощью нелинейного уравнения:

$$E_{cp} = \frac{U_{cp}(\pi - U_p)}{U_0 - U_p} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\mu_n^2} \exp(-\mu_n^2 Fo_m). \quad (6)$$

При обработке опытных данных получена зависимость a_m от влагосодержания и температуры:

$$a_m = \frac{5,193 - 8,684 \cdot U + 4,542 \cdot U^2 - 0,7406 \cdot U^3 + 0,1281 \cdot t - 2,309 \cdot 10^{-3} \cdot t^2}{1 - 0,01310 \cdot U - 0,01824 \cdot t} \cdot 10^{-12}, \quad (7)$$

при $t = 3 \div 50,8$ °С и $U = 0,4 \div 2,5$ кг / кг.

Для определения относительного коэффициента термодиффузии использовали политермы десорбции, затем оценивали химический потенциал, влагоемкость сырья и температурный коэффициент химического потенциала. Коэффициент термодиффузии зависит от влагосодержания $U = 0-3$ кг / кг и температуры $t = 0-60$ °С:

$$\begin{aligned} \delta = & -0,01350 + 1,199 \cdot 10^{-3} \cdot (t + 6)^{0,5} + \\ & + \frac{0,04422 - 1,665 \cdot 10^{-3} \cdot t + 6,604 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1,226 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 + 7,562 \cdot 10^{-9} \cdot t^4}{1 + \left[\frac{U - (2,540 - 3,919 \cdot 10^{-2} \cdot t + 6,580 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 6,561 \cdot 10^{-6} \cdot t^3)}{1,404 - 0,01427 \cdot t + 1,074 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 1,417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3} \right]^2}. \quad (8) \end{aligned}$$

Приведем теплофизические характеристики плодового и овощного сырья. Обозначения точки замерзания сырья – T_z ; удельной теплоемкости – C_p ; скрытой теплоты заморозки – $T_{скр}$; теплоты дыхания сырья – $T_{дых}$. В таблице 1 приведены теплофизических показателей плодового сырья.

В таблице 2 приведены теплофизических показателей овощного сырья. Обозначения плотности сырья – ρ ; насыпной плотности ρ_n ; удельной теплоемкости – C_p ; коэффициента теплопроводности – λ ; коэффициента температуропроводности – a .

Таблица 1 – Виды теплофизических показателей плодового сырья

Плодовое сырье	Теплофизические показатели						
	Тз, °С	Ср, кДж/кг·К		Тскр, кДж / кг	Тдых, кДж/тонна·час		
		до охлаждения	после охлаждения		0 °С	10 °С	20 °С
Дыня	-1,25	3,65	1,87	278	208	365	524
Смородина черная	-1,1	3,87	1,94	305	180	432	1210
Тыква	-0,5	3,88	1,96	303	69	154	393

Таблица 2 – Виды теплофизических показателей овощного сырья

Овощное сырье	ρ , кг / м ³	ρ_n , кг / м ³	Ср, кДж / (кг – К)	Λ , Вт / (м – К)	a , м ² / с, $a - 10^4$
Морковь	980–1010	630–680	3,43–3,85	0,63–0,66	0,116–0,172
Столовая свекла	1020–1070	650–720	3,53–3,90	0,60–0,64	0,110–0,160
Топинамбур	960–1015	610–690	2,89–3,10	0,58–0,63	0,086–0,122
Цикорий	990–1020	640–680	3,40–3,70	0,61–0,65	0,095–0,136

На рисунке 1 показана зависимость скорости сдвига от напряжения сдвига для выбранных видов сырья.

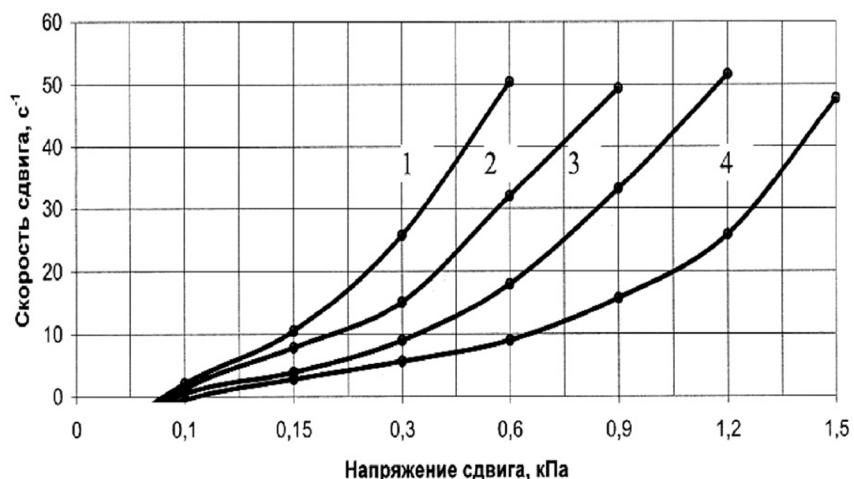


Рисунок 1 – Зависимость скорости сдвига от напряжения сдвига для различного вида сырья: 1 – паста дыни; 2 – паста тыквы; 3 – паста моркови; 4 – паста столовой свеклы

На рисунке 2 показано, как зависит эффективная вязкость от напряжения сдвига для пасты из мякоти тыквы при различной влажности.

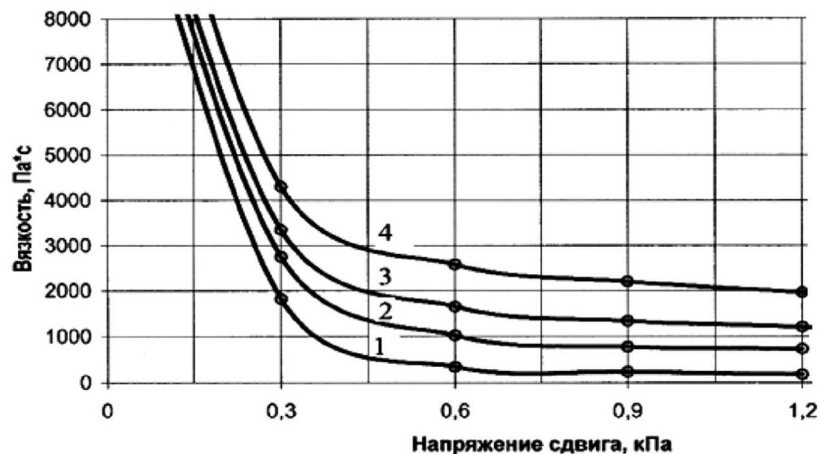


Рисунок 2 – Зависимость эффективной вязкости от напряжения сдвига для тыквенной пасты при различном содержании сухих веществ: 1 – паста 30 % СВ; 2 – паста 40 % СВ; 3 – паста 50 % СВ; 4 – паста 60 % СВ.

Исследование электрофизических свойств плодового и овощного сырья

Известна зависимость величин диэлектрической проницаемости экстрагента с экстрагируемым веществом.

Определение диэлектрической проницаемости плодов и овощей необходимо для последующего установления режимов сушки. Эта величина показывает, во сколько сила взаимодействия свободных зарядов меньше, чем в вакууме. Связь электрической индукции в изотропной среде D с векторами поляризации P , напряженностью электрического поля E , выражается соотношением: $D = \epsilon_0 E + P = \epsilon_0 \epsilon E$, где ϵ_0 – электрическая постоянная.

На величину диэлектрической проницаемости плодов и овощей, как гетерогенных диэлектриков, влияет степень поляризации границ раздела сред и состояние мембран. На рисунке 3 видно различие диэлектрической проницаемости воды и льда.

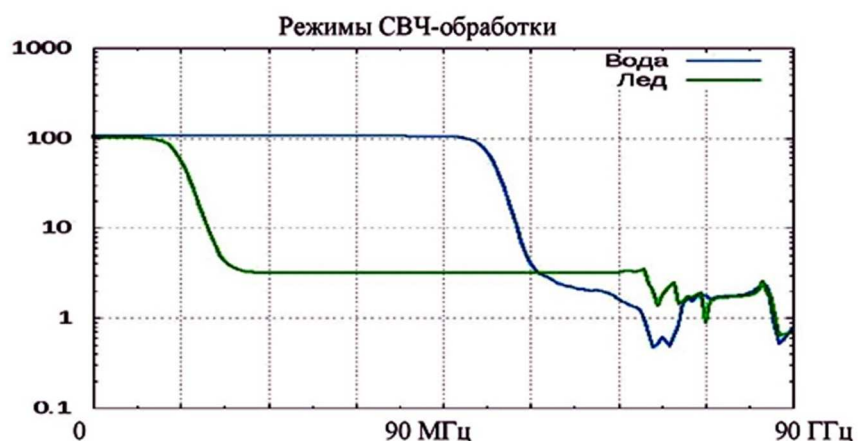


Рисунок 3 – Кинетическая зависимость диэлектрической проницаемости воды и льда от режима СВЧ-обработки

В таблице 3 представлены значения диэлектрической проницаемости влажных плодов и овощей.

Таблица 3 – Значение диэлектрической проницаемости влажных плодов и овощей

Вид исходного сырья	Диэлектрическая проницаемость, ϵ	Удельное сопротивление, Ом мм ² / м
Дыня	7,7–8,2	1014–1015
Морковь	4,5–4,7	1015–1016
Столовая свекла	3,9–4,7	1015–1016
Смородина черная	8,2–8,4	1009–1010
Топинамбур	4,6–4,8	1015–1016
Тыква	7,5–7,7	1014–1015

В таблице 4 представлены значения диэлектрической проницаемости сухих плодов и овощей.

Таблица 4 – Значение диэлектрической проницаемости сухих плодов и овощей

Вид сухого продукта	Частота, температура	Диэлектрическая проницаемость
Дыня	10 ⁶ Гц, 20 °С	3,3–4,5
Морковь	10 ⁶ Гц, 20 °С	3,4–4,1
Столовая свекла	10 ⁶ Гц, 20 °С	3,6–4,0
Смородина черная	10 ⁶ Гц, 20 °С	5,0–6,0
Топинамбур	10 ⁶ Гц, 20 °С	3,6–4,0
Тыква	10 ⁶ Гц, 20 °С	3,4–4,0

Как видно из данных таблиц, диэлектрическая проницаемость плодов и овощей зависит от их строения и содержания влаги. Молекулы и более крупные фрагменты тканей поляризуются в электрическом поле. Величину диэлектрической проницаемости можно учитывать для исследования структуры объектов сушки и установления режимов СВЧ-обработки.

Совершенствование технологии сверхкритической CO₂-сушки

Углекислый газ находит применение в различных отраслях промышленности. Наибольшее применение относится к холодильной отрасли промышленности, где он участвует в качестве холодильного агента в компрессорных установках. Главная особенность CO₂ заключается в том, что он существует в четырех фазовых состояниях.

На рисунке 4 приведена диаграмма состояния фаз диоксида углерода.

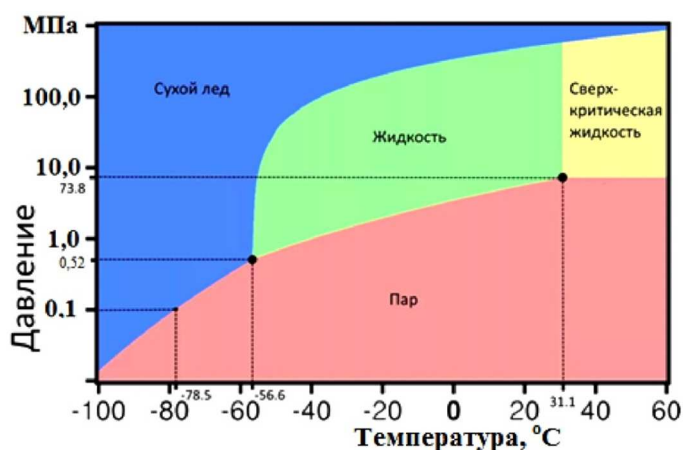


Рисунок 4 – Диаграмма состояния фаз диоксида углерода

Другой особенностью диоксида углерода является его растворимость в воде, которая выше, чем растворимость других газов.

На рисунке 5 показан график растворения диоксида углерода в воде.



Рисунок 5 – График растворения диоксида углерода в воде

Возможность частичного растворения CO₂ в воде используется в технологии изготовления газированных напитков.

На рисунке 6 приведена схема установки для осуществления процесса CO₂-обезвоживания.

Разработаны нелокальные по времени регрессионные модели (с релаксационным ядром) процесса сушки сырья.

На рисунке 7 представлена кинетика сушки ломтиков дыни, с использованием в качестве сушильного агента диоксида углерода.

Экспериментальные данные характеризуют сырье в виде переходнопористого объекта с общим объемом микропор 4,3 % и переходными порами до 96 %. Для оценки степени равновесия влаги при температуре 0–50 °С выполнено определение зависимости максимума гигроскопического содержания влаги в сырье от температуры.

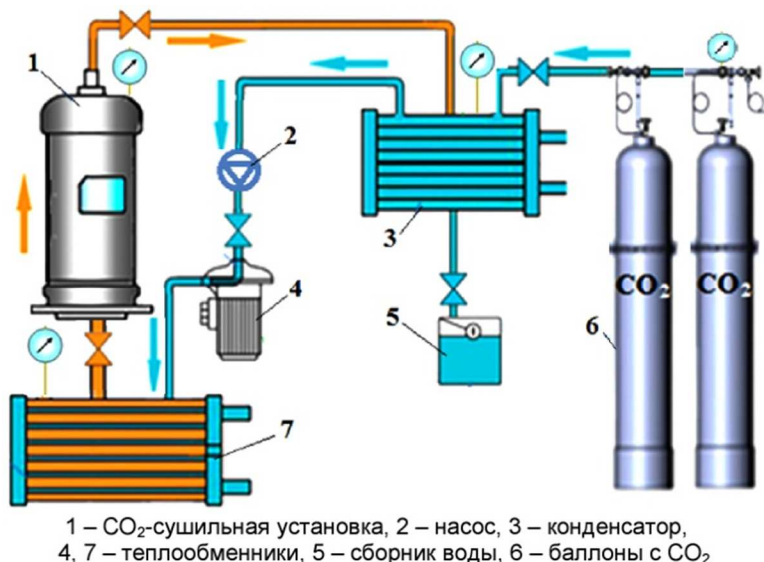


Рисунок 6 – Схема установки для CO₂-обезвоживания плодов и овощей

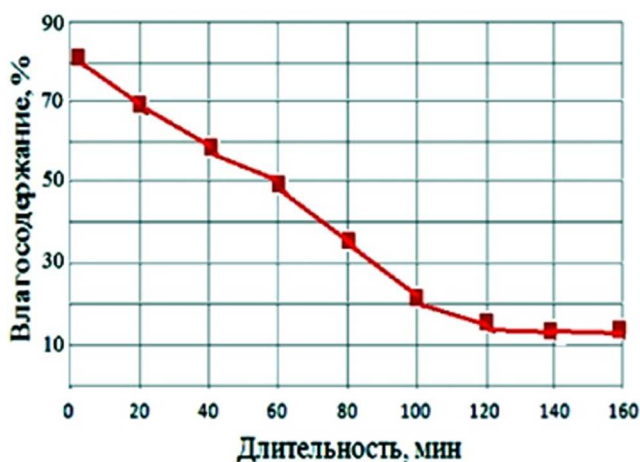


Рисунок 7 – Кинетика одностадийной сушки ломтиков дыни

Таким образом, при выполнении работы исследовали структуру и сорбционно-адсорбционные и теплофизические свойства плодов и овощей, определяли скорость сушки с учётом объема пор и анализом изотерм сорбции-десорбции.

Выводы и предложения. Выполненное исследование посвящено развитию научных основ и методов исследования процессов обезвоживания пищевого растительного сырья. Решались задачи по оценке зависимости теплофизических показателей от влажности и температуры сырья; химических и теплофизических свойств образцов мякоти дыни, моркови, свеклы, смородины черной, топинамбура и тыквы. В работе представлены математические модели процессов, обоснованы современные методы расчета параметров технологических режимов и предложены направления модернизации технологии и оборудования для обезвоживания влажного растительного сырья. Разработаны нелокальные по времени регрессионные модели процесса сушки выбранных культур, исследованы сорбционно-структурные и теплофизические свойства плодов и овощей, отобранных для сушки на CO₂-сушильной установке. Даны рекомендации промышленности по использованию диоксида углерода в качестве сушильного агента.

Литература

1. Изучение кинетических закономерностей и моделирование тепло- и массопереноса в процессе сушки джекфрута / И.Ю. Алексанян [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 1. – С. 8–22. – URL : <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.212>

2. Пути развития консервной промышленности России / Ю.С. Алешкевич [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 4. – С. 408–417.
3. Комплексная переработка плодов тыквы, выращенных на территории Республики Дагестан / А.М. Гаджиева [и др.] // В сборнике материалов междунаучно-практической конференции «Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения». – Краснодар : КубГТУ, 2020. – С. 341–344.
4. Запорожский А.А., Гладкова М.Г., Голованева Т.В. Задачи пищевой и перерабатывающей промышленности в области геродиетического питания // В сборнике материалов VII междунаучно-практической конференции «Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности» / Под редакцией И.А. Евдокимова, А.Д. Лодыгина, А.А. Вартумяна. – 2020. – С. 131–135.
5. Иночкина Е.В. Преимущества использования диоксида углерода для удаления влаги из сырья // В сборнике материалов междунаучно-практической конференции «Технологические особенности производства и применения CO₂-экстрактов из растительного сырья. – 2018. – С. 94–97.
6. Технологии пищевых производств / Г.И. Касьянов [и др.] // Сушка сырья. – М. : Издательство Юрайт, Сер. 76 Высшее образование (3-е изд., испр. и доп), 2019. – 113 с.
7. Магомедов А.М., Касьянов Г.И., Мишкевич Э.Ю. Особенности конструирования пищевых продуктов специализированного назначения. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2021. 158 с.
8. Макарова Н.В., Игнатова Д.Ф., Еремеева Н.Б. Влияние технологии экстрагирования на содержание фенолов, флавоноидов и уровень антиоксидантной активности для плодов шиповника (*Rosa L.*), коры дуба (*Quercus robur L.*), корня ревеня (*Rheum officinale*), корня женьшеня (*Panax L.*), почек березы (*Betula L.*) // Химия растительного сырья. – 2020. – № 3. – С. 271–278.
9. Мишкевич Э.Ю., Запорожский А.А., Запорожская С.П. Влияние электромагнитного поля низких частот на активацию симбиотического микробного консорциума // Известия вузов. Пищевая технология. – 2016. – № 1 (349). – С. 27–30.
10. Мохаммад А., Касьянов Г.И., Касьянов Д.Г. Анализ антиоксидантных и антимикробных свойств экстрактов лекарственных растений Сирии // В сборнике: Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности. Материалы VII Международной научно-практической конференции. – Пятигорск, 2020. – С. 54–58.
11. Рудобашта С.П. Кинетический расчет массообменных процессов для систем с твердой фазой (сушка и экстрагирование) // Доклады ТСХА. – 2020. – С. 186–190.
12. Рудобашта С.П., Карташов Э.М., Зуева Г.А. Математическое моделирование процесса конвективной сушки материалов с учетом их усадки // Инженерно-физический журнал. – 2020. – Т. 93. – № 6. – С. 1446–1454.
13. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2015615115. Программа для коррекции ошибок «Конвертер символьного форматированного текста для коррекции ошибок» / Г.И. Касьянов, Е.В. Шейкина, А.С. Бородихин, Е.И. Мьякинникова, Е.В. Иночкина. Заявка № 2015611707, заявлено 13.03.2015, опубликовано 07.05.2015.
14. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2019618109. Программа для прогнозирования биологической ценности продуктов питания для людей умственного труда / В.С. Матвеев, Г.И. Касьянов, О.В. Николаев, Н.С. Колесник, О.В. Косенко. Заявка № 2019616953, заявлено 14.06.2019, опубликовано 26.06.2019.
15. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU № 2019660701. Программа для построения регрессионной модели оценки химико-технологических показателей плодов яблок в процессе хранения / М.Д. Назарько, Г.И. Касьянов, В.Г. Лобанов, Е.В. Иночкина, А.В. Кириченко, И.И. Романец. Заявка № 2019617046, заявлено 14.06.2019, опубликовано 12.08.2019.
16. Силинская С.М., Иночкина Е.В. Технология и экономика переработки семян амаранта // Известия вузов. Пищевая технология. – 2015. – № 5–6 (347–348). – С. 9.
17. Сязин И.Е., Касьянов Г.И., Гукасян А.В. Диоксид углерода как хладагент // В сборнике материалов междунаучно-практической конференции «Механика, оборудование, материалы и технологии». Редакционная коллегия: Литвинов А.Е., Плоmodityяло Р.Л. – 2019. – С. 396–398.
18. Сязин И.Е., Касьянов Г.И., Гукасян А.В. Особенности получения азота для криозамораживания // В сборнике материалов междунаучно-практической конференции «Механика, оборудование, материалы и технологии». Редакционная коллегия: Литвинов А.Е., Плоmodityяло Р.Л. – 2019. – С. 392–395.
19. Mathematical modeling of the extracting process of vegetable oil on auger equipment / Y.Z. Mateyev [et al.] // EurAsian Journal of BioSciences. – 2019. – Vol. 13. – № 2. – P. 1875–1880.
20. Mathematical modeling of heat and mass transfer processes in the duration of grain roasting / Y.Z. Mateyev [et al.] // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2019. – Vol. 30. – P. 3–8.

References

1. Study of kinetic laws and modeling of heat and mass transfer in the process of drying jackfruit / I.Yu. Aleksanyan [et al.] // Storage and processing of agricultural raw materials. – 2020. – № 1. – P. 8–22. – URL : <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.212>
2. Ways of development of canning industry in Russia / Y.S. Alyoshkevich [et al.] // Science. Tekhnika. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 4. – P. 408–417.
3. Complex processing of pumpkin fruits grown in the territory of the Republic of Dagestan / A.M. Gadzhieva [et al.] // In the Proceedings of the International Scientific-Practical Conference «Biotechnological, environmental and economic aspects of safe food specialized purpose». – Krasnodar : KubGTU, 2020. – P. 341–344.
4. Zaporozhsky A.A., Gladkova M.G., Golovavane T.V. Tasks of food and processing industry in the field of gerodietic food // In the collection of materials of VII inter-dun. scientific-practical conference «Modern Advances of Biotechnology. Technique, technology and packaging for the implementation of innovative projects at the enterprises of food and biotechnological industry» / Edited by I.A. Evdokimov, A.D. Lodygin, A.A. Var-tumyan. – 2020. – P. 131–135.
5. Inochkina E.V. Advantages of using carbon dioxide to remove moisture from raw materials // In the collection of materials of the international scientific-practical conference «Technological features of production and application of CO₂-extracts from plant raw materials». – 2018. – P. 94–97.
6. Technologies of food production / G.I. Kasyanov [et al.] // Raw material drying. – M. : Publishing house Yurait, Ser. 76 Higher education (3rd ed., amended and ext.), 2019. – 113 p.
7. Magomedov A.M., Kasyanov G.I., Mishkevich E.Yu. Features of the design of food products of specialized purposes. – Krasnodar: Publishing House – South, 2021. 158 p.
8. Makarova N.V., Ignatova D.F., Ereemeeva N.B. Influence of extraction technology on the content of phenols, flavonoids and the level of antioxidant activity for the fruits of rose hips (*Rosa L.*), oak bark (*Quercus robur L.*), rhubarb root (*Rheum officinale*), ginseng root (*Panax L.*), birch buds (*Betula L.*) // Chemistry of vegetable raw materials. – 2020. – № 3. – P. 271–278.
9. Mishkevich E.Y., Zaporozhsky A.A., Zaporozhskaya S.P. The influence of low frequency electromagnetic field on the activation of symbiotic microbial consortium // Izvestiya vuzov. Food technology. – 2016. – № 1 (349). – P. 27–30.
10. Mohammad A., Kasyanov G.I., Kasyanov D.G. Analysis of antioxidant and antimicrobial properties of extracts of medicinal plants in Syria // In the collection: Modern Advances in Biotechnology. Technology, technology and packaging for the implementation of innovative projects in the food and biotechnology industry. Materials of the VII International Scientific and Practical Conference. – Pyatigorsk, 2020. – P. 54–58.
11. Rudobashta SP Kinetic calculation of mass transfer processes for systems with a solid phase (drying and extraction). //Papers of the TSKHA. – 2020. – P. 186–190.
12. Rudobashta S. P., Kartashov E. M., and Zueva G. A. Mathematical Modeling of Convective Drying of Materials Taking into Account Their Shrinkage, Engineering Physical Journal. – 2020. – Vol. 93. – № 6. – P. 1446–1454.
13. Registration Certificate for a Computer Program RU № 2015615115. Error-correcting program «Character-formatted text converter for error correction» / G.I. Kasyanov, E.V. Sheikina, A.S. Borodikhin, E.I. Myakinnikova, E.V. Inochkina. Application № 2015611707, applied for 13.03.2015, published 07.05.2015.
14. Registration certificate for computer program RU № 2019618109. Program for prognostication of biological value of food for people of mental work / V.S. Matveev, G.I. Kasyanov, O.V. Nikolaev, H.S. Kolesnik, O.V. Kosenko. Application № 2019616953, applied 14.06.2019, published 26.06.2019.
15. Registration certificate for computer program RU № 2019660701. Program for regression model evaluation of chemical and technological parameters of apples during storage / M.D. Nazarko, G.I. Kasyanov, V.G. Lobanov, E.V. Inochkina, A.V. Kirichenko, I.I. Romanets. Application № 2019617046, applied 14.06.2019, published 12.08.2019.
16. Silinskaya S.M., Inochkina E.V. Technology and economics of processing of amaranth seeds // Izvestiya vuzov. Food technology. – 2015. – № 5–6 (347–348). – P. 9.
17. Syazin I.E., Kasyanov G.I., Ghukasyan A.V. Carbon dioxide as a refrigerant // In collection of materials of international scientific and practical conference «Mechanics, equipment, materials and technologies». Editorial Board: Litvinov A.E., Plomodialo R.L. – 2019. – P. 396–398.
18. Syazin I.E., Kasyanov G.I., Gukasyan A.V. Features of obtaining nitrogen for cryo-freezing // In Proceedings of the International Scientific-Practical Conference «Mechanics, Equipment, Materials and Technologies». Editorial board: Litvinov A.E., Plomodialo R.L. – 2019. – P. 392–395.
19. Mathematical modeling of the extracting process of vegetable oil on auger equipment / Y.Z. Mateyev [et al.] // EurAsian Journal of BioSciences. – 2019. – Vol. 13. – № 2. – P. 1875–1880.
20. Mathematical modeling of heat and mass transfer processes in the duration of grain roasting / Y.Z. Mateyev [et al.] // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2019. – Vol. 30. – P. 3–8.

УДК 69.059.3

ОСОБЕННОСТИ УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ



FEATURES OF REINFORCEMENT OF METAL STRUCTURES WITH COMPOSITE MATERIALS

Карамова Римма Артуровна
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
rimmakaramova99@mail.ru

Логода Родион Алексеевич
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
rodiklag@gmail.com

Аннотация. Объектом исследования данной публикации являются композиты, или углеродное волокно. В статье рассмотрены особенности применения композитных материалов для усиления конструкций, приведены главные свойства и характеристики углеродного волокна, а также разновидности армирующих композитов. Упомянуты этапы, в которых возникает необходимость усиления конструктивных элементов, предоставляется перечень недостатков, возникающих при строительстве той или иной конструкции. Особое внимание уделяется традиционным методам армирования, указываются их разновидности и соответствующие недостатки. Кроме того, предоставлены рекомендации по армированию сжатых и внецентренно сжатых железобетонных элементов, таких как пилоны, колонны и стены, по армированию плит перекрытия и балок, кирпичной кладки. Рассмотрены мероприятия по устранению повреждений и восстановлению несущей способности элементов конструкций, в заключении проведен анализ полученных результатов.

Ключевые слова: строительство, реконструкция, усиление металлических конструкций, композитные материалы.

Karamova Rimma Arturovna
Student,
Kuban State Technological University
rimmakaramova99@mail.ru

Logoda Rodion Alekseyevich
Student,
Kuban State Technological University
rodiklag@gmail.com

Annotation. The research object of this publication is composites, carbon fiber. The article discusses the features of the use of composite materials for strengthening structures, presents the main properties and characteristics of synthetic fibers, as well as varieties of reinforcing composites. The stages are mentioned in which it becomes necessary to strengthen structural elements. Special attention is paid to traditional methods of reinforcement, their varieties and corresponding disadvantages are indicated. In addition, recommendations are provided for the reinforcement of compressed and eccentrically compressed reinforced concrete elements such as pylons, columns and walls, for reinforcing floor slabs and beams, and brickwork. Measures to eliminate damage and restore the bearing capacity of structural elements are considered, in conclusion, an analysis of the results obtained is carried out.

Keywords: construction, reconstruction, reinforcement of metal structures, composite materials.

Необходимость усиления конструктивных элементов конструкций может возникнуть в два этапа: при строительстве или в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

При возведении конструкций возникают недостатки [2]:

- Снижение прочности бетона (коррозия, промерзание).
- Несоответствие диаметра арматуры марке стали, смещение или пропуск стержней, смещение закладных деталей.

- Стружки, трещины в бетоне.

- Отклонение толщины защитного слоя.

В процессе эксплуатации конструкций также возникают следующие недостатки:

- Физическое старение и повреждение строительных конструкций, что приводит к снижению несущей способности, жесткости и трещиностойкости.

- Изменение условий эксплуатации, что выражается в изменении размеров, типа и расположения грузов.

- Изменение расчетной схемы конструкции.

- Необходимость повышения надежности и долговечности конструкции.

- Изменение технологического цикла.

- Сохранение собственности.

Традиционные методы армирования конструкций включают использование железобетонных каркасов, в конструкции которых используется торкретбетон или расширяющийся цемент, так что каркас и колонна работают вместе. Недостатком этого метода является то, что работа останавливается перед положительными температурами, а этот метод очень трудоемок, уменьшая площадь помещения. Стальные кронштейны выполняют двойную функцию: они препятствуют поперечным деформациям армируемого элемента, то есть они увеличивают прочность на сжатие из-за объемного напряжения и воспринимают часть вертикальной нагрузки, то есть частично разгружают армируемый элемент. Недостатком метода является то, что стальные элементы необходимо защищать от коррозии, а сборка кронштейнов довольно громоздка [4, с. 121].

В последнее время широкое распространение получил метод армирования конструкций композитами (углеродным волокном), инжектирования и армирования предварительно натянутыми канатами.

Углеродное волокно – это высокопрочный, линейно-эластичный материал с высоким модулем упругости. Углеродное волокно, в четыре раза превышающее предел прочности на разрыв по сравнению с лучшими сортами стали, намного легче железа (75 %) и алюминия (30 %). В настоящее время этот материал пользуется большим спросом в строительной отрасли. Такая популярность объясняется высокой прочностью материала [4, с. 125].

Армирующие композиты бывают трех видов:

– Ленты из углеродного волокна с эпоксидным клеем: для усиления мостов, больших пролетов. Длина рулона может достигать 250 погонных метров, материал обладает высокой жесткостью и несущей способностью.

– Углеродное полотно с эпоксидным клеем: для усиления балок, колонн, полов, поперечин, отверстий и других элементов гражданского строительства. Эти холсты достаточно гибкие, чтобы им можно было придать практически любую форму.

– Сетка из углеродного волокна на цементном связующем: для армирования кирпича и кирпичной кладки, а также железобетона. Они не только высокопрочные, но также пожаробезопасные и очень паропроницаемые.

Поскольку предельное удлинение этого материала намного больше, чем у бетона, в большинстве случаев рабочая сила в углеродных волокнах намного меньше, чем предельные силы, и разрушение образца, армированного углеродным волокном, обычно происходит вдоль контактного слоя между внешними поверхностями. арматурный элемент и бетон. Исключение составляет эксплуатация шпал из углеродного волокна.

Армирование сжатых и внецентренно сжатых железобетонных элементов, таких как пилоны, колонны и стены, с помощью внешнего армирования выполняется двумя способами. Первый метод – использовать бинты из углепластика, создающие «клип-эффект». Второй способ – установить полотно из углеродного волокна по длине сжатого элемента, которое послужит дополнительным рабочим армированием. Армирование гибких колонн производится как поперечными, так и продольными элементами внешнего армирования [6]. Продольные компоненты устанавливаются таким образом, чтобы положение физической оси сечения не изменялось.

Армирование плит перекрытия и балок производится приклеиванием углепластика в наиболее напряженных местах – обычно в центре пролета по нижнему краю конструкции. Это увеличивает их несущую способность по изгибающим моментам. Для решения таких задач подходят все виды углеродных материалов – ленты, ламели и сетки. Кроме того, для балок часто требуется усиление опорных зон с целью увеличения несущей способности под действием поперечных сил (по наклонной трещине). Для этого приклеиваются П-образные хомуты из углеродных лент или сеток. Углеродные ленты и рейки иногда используются в комбинации, потому что их способ установки и клей похожи. Использование угольных сеток, как правило, исключает использование лент и планок в связи с изготовлением «мокрых» работ.

Кроме того, при строительстве следует обратить особое внимание на то, чтобы продольные ремни были закреплены. Это следует делать, вставляя волокна за строительный участок на длину, достаточную для передачи усилия на ленту. Поскольку расчетная секция для столбов обычно расположена сверху и внизу столбов, это требование связано с необходимостью сквозных отверстий в панелях пола, что значительно затрудняет применение этого решения.

Наружное армирование углеродным волокном наиболее оправдано в случаях, когда: требуется высокая скорость работы и небольшое количество армированных конструкций, а также необходимо сохранить внешний вид конструкции [10, с. 31].

Армирование кладки осуществляется скобами из углеродного волокна (углеродное волокно) и является эффективной альтернативой стальным скобам, так как вовлечение их в работу армирующего элемента просто осуществляется во время монтажа полотна на армированный элемент через клей. слой.

Полные испытания кирпичных столбов показали увеличение несущей способности кирпичных столбов, армированных угольно-угольными бинтами, в 1,5–2,0 раза.

Использование элементов внешнего армирования из углеродного волокна позволяет регулировать силы в каменной конструкции на большой площади и минимально нарушать ее целостность. В полной мере это касается конструкций реконструируемых и реставрируемых зданий [5].

Использование элементов внешнего армирования из углеродного волокна для армирования вышеуказанных конструкций позволяет избежать установки точечных анкеров, которые предполагают большой объем материала в работе отдельного элемента, реализуя имеющиеся резервы конструкции. При уходе за неповрежденными участками в виде техники, дверных и оконных проемов.

Как и любая другая технология армирования, у этого варианта есть свои недостатки. Во-первых, это дороговизна материала – углепластика. Также требуется дополнительная противопожарная защита [7, с. 650]. Бетонную поверхность необходимо подготовить очень тщательно, чтобы обеспечить надежное сцепление. Монтаж композитных материалов также требует высокого уровня квалификации со стороны рабочих и соблюдения технологического цикла.

В настоящее время основным нормативным документом в области применения усиления конструкций углепластиком является СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами».

Расчеты также могут быть основаны на разрешительных документах типа «Методические указания по армированию железобетонных конструкций композитными материалами». При разработке рекомендаций использовались положения стандартов АСІ, а также экспериментальные исследования лаборатории железобетонных конструкций и контроля качества НИИЖБ, а также анализ зарубежных авторов [8, с. 263].

При армировании столбов последовательность установки каркаса из углепластика происходит в несколько этапов.

К мероприятиям по устранению повреждений и восстановлению несущей способности относятся следующие мероприятия: удаление хрупких участков бетона, зачка трещин (шириной от 0,3 до 5 мм), трещинного шва (шириной до 0,3 мм), антикоррозийная обработка армирование, грунтовка поверхности, заделка трещин и дыр от пакеров, восстановление бетонного покрытия. После устранения повреждений поверхность необходимо подготовить перед ее армированием углеродными лентами: шлифование поверхности, скругление острых углов (скос с ножкой > 20 мм), грунтование поверхности (при необходимости), нанесение линий разметки в соответствии с схема наклеек, очистка, удаление пыли с поверхности, нанесение слоя клея, укладка подготовленных армирующих элементов, прикатывание армирующих элементов на основу, нанесение последнего слоя клея на поверхность армирующих элементов, удаление пыли с поверхности, нанесение клеевого слоя, который размещает подготовленные армирующие элементы, армирующие элементы на базовых валках и наносит последний слой клея на поверхность армирующих элементов [9, с. 21].

В результате получаем: восстановление несущей способности, компенсация продольных и поперечных дефектов арматуры, минимальные затраты времени без увеличения размеров конструкции. Допускается любой отделочный материал после армирования.

Таким образом, можно констатировать, что усиление строительных конструкций пластиком, армированным углеродным волокном, в настоящее время является чрезвычайно энергоэффективным методом, который предлагает ряд значительных преимуществ в широком диапазоне применений по сравнению с армированием традиционными методами: сохраняется первоначальное сечение элемента конструкции, стены укреплены, несущие конструкции и плиты перекрытия усилены, масса конструкций не

увеличена, композитные материалы обладают высокой устойчивостью к коррозии, простотой применения, сжатыми сроками для изготовления работ можно избежать строительства сложных строительных лесов, нет подъемного оборудования, нет габаритных ограничений – длина полотен и ламината не менее 50 метров. Работы по армированию можно проводить без остановки эксплуатаций зданий и сооружений.

Литература

1. О задачах исследования адаптивного управления электростанциями на базе конвертированных авиационных ГТУ / Б.В. Кавалеров [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 11. – С. 65–77.
2. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. – М. : Изд-во МЭИ, 2005. – 400 с.
3. Скоропешкин В.Н., Скоропешкин М.В. Адаптивная система автоматического регулирования // Наукоедение: интернет-журнал. – 2014. – № 2 [Электронный ресурс]. – URL : <http://naukovedenie.ru/PDF/83TVN214.pdf> (дата обращения: 09.04.2015).
4. Бондарко В.А. Адаптивное векторное управление асинхронным электродвигателем на основе метода рекуррентных целевых неравенств // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 9. – С. 120–135.
5. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем / под ред. А.Ф. Дьякова. – М. : Изд-во НЦ «ЭНАС», 2000. – 504 с.
6. Тюрин С.Ф., Греков А.В., Громов О.А. Принцип восстановления логики ПЛИС для критических приложений путем адаптации // Журнал мировых прикладных наук. – 2013. – № 26 (3). – С. 328–332. DOI: 10.5829 / idosi.wasj.2013.26.03.13474.
7. Тюрин С.Ф., Громов О.А. Алгоритм поиска остаточного базиса отказоустойчивых интегральных схем с программируемой логикой // Электротехника. – 2013. – № 84 (11). – С. 647–651. DOI: 10.3103 / S1068371213110163.
8. Интеллектуальная система управления энергией для оптимальной экономической работы микросетей / Ч. Чен [и др.] // Возобновляемая энергетика, IET. – май, 2011. – Вып. 5. – № 3. – С. 258–267.
9. Радж Кристобер Асир, Мохан М.Р. Метод имитации отжига, основанный на эволюционном программировании, для решения проблемы обязательств агрегата // Электроэнергетика и энергетическая система. – 2007. – № 29.
10. Liserre M., Sauter T., Hung J.Y. Энергетические системы будущего: интеграция возобновляемых источников энергии в интеллектуальную электросеть через промышленную электронику // Журнал IEEE Industrial Electronics Magazine. – март, 2010. – С. 18–37. – URL : <http://dx.doi.org/10.1109/MIE.2010.935861>
11. Леонова А.Н., Курочка М.В. Структурные дефекты в пространственно-армированных композитах и их влияние на свойства материалов // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. сборник статей Международного научно-практического конгресса. – 2018. – С. 132–136.
12. Таровик В.В., Леонова А.Н. Современные способы усиления строительных конструкций углеродными композитными материалами // В сборнике: Актуальные вопросы городского строительства, архитектуры и дизайна в курортных регионах. Материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции. – 2015. – С. 75–79.
13. Леонова А.Н., Софьяников О.Д., Кривенкова Т.В. Особенности усиления строительных конструкций композитными полимерными материалами в условиях высоких и низких температур // Перспективы науки. – 2019. – № 5 (116). – С. 64–69.
14. Дворная З.Л., Леонова А.Н. Достоинства и недостатки различных методов усиления железобетонных колонн // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 2. – С. 287–289.
15. Леонова А.Н., Бибииков Б.С. Современные методы усиления горизонтальных несущих конструкций углеволокном // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 16–21.

References

1. On the research tasks of adaptive control of power plants on the basis of converted aviation GTUs / B.V. Kavalеров [et al.] // Vestnik of Perm National Research Polytechnic University. Electrical Engineering, Information Technologies, Control Systems. – 2014. – № 11. – P. 65–77.

2. Rotach V.Ya. Theory of automatic control: textbook for universities. – М. : MPEI Publishing House, 2005. – 400 p.
3. Skoropeshkin V.N., Skoropeshkin M.V. Adaptive system of automatic control // Naukovedenie: internet-journal. – 2014. – № 2 [Electronic resource]. – URL : <http://naukovedenie.ru/PDF/83TVN214.pdf> (date of access: 09.04.2015).
4. Bondarko V.A. Adaptive vector control of asynchronous electric motor on the basis of the method of recurrent target inequalities // Automation and telemechanics. – 2010. – № 9. – P. 120–135.
5. Ovcharenko, N.I. Automation of the electrical power stations and the electrical power engineering systems (in Russian) / Under edition of A.F. D'yakov. – М. : Publishing house of the National Center «ENAS», 2000. – 504 p.
6. Tyurin S.F., Grekov A.V., Gromov O.A. Principle of FPGA logic reconstruction for critical applications by adaptation // Journal of World Applied Sciences. – 2013. – № 26 (3). – P. 328–332. DOI: 10.5829 / idosi.wasj.2013.26.03.13474.
7. Tyurin, S.F., Gromov, O.A. Algorithm of search of residual basis of fail-safe integrated circuits with programmable logic // Electrotehnika. – 2013. – № 84 (11). – P. 647–651. DOI: 10.3103 / S1068371213110163.
8. Intelligent energy management system for optimal economic performance of microgrid / C. Chen [et al.] // Renewable Energy, IET. – May, 2011. – Issue. 5. – № 3. – P. 258–267.
9. Raj Cristober Asir, Mohan M.R. Evolutionary programming based annealing simulation method for solving unit commitment problem // Electric Power and Power System. – 2007. – № 29.
10. Liserre M., Sauter T., Hung J.Y. Energy systems of the future: integration of renewable energy sources into smart grid through industrial electronics // IEEE Industrial Electronics Magazine. – March, 2010. – P. 18–37. – URL : <http://dx.doi.org/10.1109/MIE.2010.935861>
11. Leonova A.N., Kurochka M.V. Structural defects in spatially reinforced composites and their influence on the properties of materials // In the collection: Development and innovation in construction. collection of articles of the International Scientific and Practical Congress. – 2018. – P. 132–136.
12. Tarovik V.V., Leonova A.N. Modern ways of strengthening building structures carbon composite materials // In the collection: Actual issues of urban construction, architecture and design in the resort regions. Materials of the Second All-Russian scientific-practical conference. – 2015. – P. 75–79.
13. Leonova A.N., Sofjanikov O.D., Krivenkova T.V. Features of strengthening of building constructions by composite polymeric materials in conditions of high and low temperatures // Perspectives of science. – 2019. – № 5 (116). – P. 64–69.
14. Dvornaya Z.L., Leonova A.N. Dignities and disadvantages of different methods of reinforcing reinforced concrete columns // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnical Bulletin). – 2019. – № 2. – P. 287–289.
15. Leonova A.N., Bibikov B.S. Modern methods of strengthening horizontal bearing structures with carbon fiber // In the collection: Development and innovations in construction. Materials of the III International Scientific-Practical Conference. – 2020. – P. 16–21.

УДК 539.1.06

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КУБАНСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ ПО РАЗВИТИЮ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ
НАПРАВЛЕНИЙ В ОБУЧЕНИИ И НАУКЕ**



**ACTIVITIES OF THE KUBAN BRANCH OF THE RUSSIAN
ENGINEERING ACADEMY FOR THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND
TECHNICAL AREAS IN EDUCATION AND SCIENCE**

Касьянов Геннадий Иванович
Кубанский государственный
технологический университет

Бережной Сергей Борисович
Краснодарский колледж управления,
техники и технологий

Запорожский Алексей Александрович
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Кубанское отделение Российской инженерной академии официально зарегистрировано 01.09.2015 г. решением Президиума РИА. В настоящее время в состав академии, ставшей правопреемником советской Инженерной академии, входит более 40 отделений в различных регионах страны, свыше 200 коллективных членов и 1350 академиков и членов-корреспондентов. Деятельность академии осуществляется по 30 направлениям инженерной деятельности. Цель исследования – проанализировать основные этапы развития инженерной деятельности и вклад коллектива РИА в популяризацию профессии инженера. В статье представлены материалы истории инженерного труда, задачах РИА и отделений на современном этапе, о престиже инженерной профессии, о работе Кубанского отделения РИА, о работе по подготовке специалистов среднего звена ассоциированным членом отделения – Краснодарским колледжам управления, техники и технологий. Сделаны выводы о перспективах работы Кубанского отделения РИА.

Ключевые слова: Российская инженерная академия, Кубанское отделение, профессия инженера.

Kasyanov Gennady Ivanovich
Kuban State Technological University

Berezhnoy Sergey Borisovich
Krasnodar College of Management,
Engineering and Technology

Zaporozhsky Alexey Alexandrovich
Kuban State Technological University

Annotation. The Kuban branch of the Russian Engineering Academy was officially registered on September 01, 2015 by the decision of the RIA Presidium. At present, the Academy, which has become the legal successor of the Soviet Engineering Academy, includes more than 40 branches in various regions of the country, over 200 collective members and 1350 academicians and corresponding members. The activities of the academy are carried out in 30 areas of engineering. The purpose of the study is to analyze the main stages of the development of engineering activities and the contribution of the RIA team to the popularization of the engineering profession. The article presents materials on the history of engineering work, the tasks of the RIA and departments at the present stage, on the prestige of the engineering profession, on the work of the Kuban branch of the RIA, on the work on training mid-level specialists by the associated member of the department - Krasnodar Colleges of Management, Engineering and Technology. Conclusions are made about the prospects for the work of the Kuban branch of RIA.

Keywords: Russian Engineering Academy, Kuban branch, engineer profession.

В советский период эффективно работала Инженерная академия, учрежденная профильными Министерствами. В функции академии входила пропаганда и распространение научно-технических знаний и координация работы республиканских отделений. В постперестроечный период правопреемником союзной Инженерной академии стала Российская инженерная академия [1, 2]. Президентом РИА неоднократно избирается член-корреспондент Российской Академии Наук, д.т.н., профессор Гусев Борис Владимирович. Как строитель по специальности, Б.В. Гусев курирует направление по совершенствованию строительных технологий [3, 4]. В задачи обновленной академии входит организация и планирование исследований в приоритетных отраслях науки и техники [5].

Сравнительно новым направлением в деятельности отделений академии стала «Пищевая технология», закрепленная за Кубанским отделением РИА. Среди разработок сотрудников КубГТУ следует выделить работы по совершенствованию технологии переработки мясного, молочного и рыбного сырья [6], а также по хранению и переработке плодового сырья [7, 12].

Сотрудниками Института машиностроения и автомобильного сервиса КубГТУ запатентованы лабораторная установка и устройство для суммирования механической энергии [8, 9]. Известен ряд публикаций по проектированию холодильных машин и установок [10, 11].

Проблемы биотехнологии и экологии подробно освещены в материалах международной конференции [13]. На этой конференции были заслушаны доклады по совершенствованию технологии натуральных овощных и закусочных консервов [14] и о товароведных аспектах коррекции рационов питания персонала, работающего в условиях низких температур [15]. На Всероссийской конференции по применению инженерных технологий в сельском и лесном хозяйстве обсуждалась проблема о способах переработки плодов и ягод в напитки и нектары [16].

Анализ ряда публикаций, связанных с работой РИА и ее Кубанского отделения, выявил необходимость обсудить роль инженерного сословия в жизни и развитии страны.

20 января 2021 г. на съезде РИА, был заслушан отчет о работе академии за пятилетний период. В составе академии 1350 – действительные члены и члены-корреспонденты, 200 коллективных членов, 30 секций, более 40 региональных отделений и научных центров РИА. 18 марта 2021 года проведено отчетно-выборное собрание Международной инженерной академии (МИА). Отмечено, что члены МИА занимаются работой по координации научно-технической деятельности с другими странами, созданием оригинальных образцов новой техники.

Экскурс в историю инженерной специальности. Понятие «инженерная деятельность» настолько многогранная, что ее нельзя однозначно отнести ни к истории науки, ни к истории техники. Нелегко давалось человечеству освоение и преобразование мира, для этой цели требовались упорные и талантливые люди, творцы техники далекого прошлого. И только данные археологических раскопок слегка раскрывают тайну веков. Давайте посмотрим, можно ли судить о величии инженерной деятельности по сохранившимся описаниям технологических укладов. В таблице показана матрица технологических укладов (по Сперанскому А.А., Бельскому А.Б.).

Таблица – Матрицы технологических укладов [5]

Области деятельности	Периоды технологических укладов					
	I уклад 1780–1840 гг. Ремесленное производство	II уклад 1825–1890 гг. Эпоха пара	III уклад 1880–1930 гг. Промышленное производство	IV уклад 1930–1980 гг. Эпоха нефти	V уклад 1975–2040 гг. Эпоха газа и ИТ	VI уклад 2010–2060 гг. Когнитивные знания
	Историческая особенность укладов					
1	2	3	4	5	6	7
Ведущая промышленность	Текстильная	Паровое машиностроение	Железнодорожный транспорт	Автотракторное производство	Электроника роботизация	Интеллектуальное материалоуправление
Области прогресса	Выплавка чугуна	Черная металлургия	Электрофикация	Химизация	Информатизация, телекоммуникация	Встроенный интеллект
Материаловедение	Железо	Сталь, бетон	Бетон, сталь	Металлы, пластмассы	Композиты	Наноматериалы
Энергоносители	Вода, ветер	Пар	Уголь	Нефть	Природный газ	Возобновляемые источники
Науки	Физика, механика	Физика, теплотехника	Неорганическая химия	Органическая химия	Вычислительная математика	Биотехнология
Образование	Освоение профессии	Профессиональное образование	Всеобщее начальное	Среднее образование	Высшее образование	Межотраслевое образование

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Динамические измерения	Качественные	Скалярные	Количественные	Амплитудно-час-тотные	Амплитудно-фазочастотн.	Траекторные спектральные
Метод наблюдения	Созерцательный	Рациональный	Обобщающий	Аналитический	Экспертный прогнозный	Кибернетический
Методы анализа	Эмпирический	Сравнительный	Усредненный	Параметрический	Векторно-фазовый	Системный модельный
Модель знаний	Интуитивная	Опытная	Статистическая	Вероятностная	Текущего состояния	Гомостатическая прогнозная
Уровень знаний	Лабораторный	Технологический	Научный фундаментальный	Прикладной отраслевой	Системный опережающий	Прорывной креативный

Из данных таблицы видно, как медленно менялся в различные периоды технологических укладов характер и содержание технического прогресса. Даже в период ранних укладов уже существовала инженерная деятельность в неявной, доинженерной форме.

В течение долгого пути инженерная деятельность была направлена на преобразование природного мира с использованием орудий труда. Со временем, из ранее не престижной технической деятельности, инженерная деятельность становится популярной. Машинная индустрия вызвала появление профессии инженер-промышленник и появилась необходимость готовить кадры для решения инженерных проблем.

Сегодня инженеру присуща функция анализа и технического прогнозирования, связанных с удовлетворением потребностей производства. Сформирован передовой отряд инженерных «зубров», в лице руководителей и ведущих специалистов корпораций и холдингов, исследовательских и проектных бюро и институтов.

Инженер-исследователь завтрашнего дня, владеющий функцией системного проектирования, должен включиться в поиск схем технического переустройства, с использованием законов естественных и технических наук. Должен появиться инженер-системотехник, способный осуществлять экспертную оценку создания сложных и не традиционных технических, как их называют, «человеко-машинных» систем. Должна появиться возможность проведения постоянного диагностического анализа, раскрывающего резервные и узкие места производства.

О поднятии престижа инженерной специальности. Инженерные кадры на Кубани готовит единственный вуз – Кубанский государственный технологический университет. В обновленной стратегии страны встала задача существенно повысить фундаментальную, профессиональную и экономическую подготовку выпускников. Возникла необходимость возрождения национального промышленного потенциала специалистов, на основе высоких технологий на уровне мировых стандартов. Приоритеты индустриального развития России требуют начать структурную перестройку сферы материального производства, укрепления научно-технического потенциала. Этому движению препятствует то обстоятельство, что на протяжении 20 лет не вкладывались значимые инвестиции в технологический рост, в то время как обновление техносферы повысило требования к инженерному образованию и самой профессии инженера.

Проходит пора так называемых «линейных инженеров», которые встраиваются в существующий технологический процесс стабильных отраслей промышленности. Возникает потребность в инженерах мыслящих не стандартно, умеющих видеть реальные проблемы, предлагать варианты их решения. Подготовка узких специалистов – инженеров-механиков или инженеров-технологов по многочисленным специальностям, уже не успешна на рынке труда. Нежизнеспособность узких специалистов связана с тем, что скорость изменения высоких технологий меняется каждые 3–4 года. И пока университет, по нынешней болонской системе, готовит бакалавров в течение 4 лет и еще в магистратуре 2 года, то изучаемая технология безнадежно устаревает и уходит с рынка. С появлением IT-технологий в индустриальных сферах, требуется их полная перестройка, а наша страна опять оказывается в роли догоняющих западные техноло-

гии. Локомотивом перестройки должны стать междисциплинарные, прорывные технологии, разработать и довести их от идеи до внедрения в производство могут только мыслящие системно инженеры-лидеры.

Подготовку специалистов такого уровня могут только творческие работники вузов, имеющие не только научный и производственный опыт, но и постоянно работающие в связке с IT-компаниями и фирмами.

О работе Кубанского отделения РИА по развитию связей науки с производством. За пятилетний период работы, под эгидой Российской инженерной академии в Краснодаре проведен ряд конференций международного уровня. Наиболее значимые из них: «Инновационные технологии переработки сырья животного происхождения», Краснодар: КубГТУ, 20 февраля 2015; конференция «Достижения и проблемы современных тенденций переработки сельскохозяйственного сырья: технологии, оборудование, экономика», Краснодар: КубГТУ, март 2016; конференция «Устойчивое развитие, экологически безопасные технологии и оборудование для переработки пищевого сельскохозяйственного сырья; импортоопережение». – Краснодар: КубГТУ, 2016; конференция «Инновационные технологии и безопасность пищевых продуктов», Краснодар: КубГТУ, 2018; конференция «Технологические особенности производства и применения СО₂-экстрактов из растительного сырья». Краснодар: КубГТУ, 2018; и конференция «Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения». Краснодар: КубГТУ, 2020.

За этот период подготовлены и проведены научно-технические и инженерные мероприятия в 12 отраслевых учреждениях края. Прочитано более 60 лекций о современном состоянии науки и техники. На рисунке 1 показаны некоторые эпизоды деятельности РИА.



Рисунок 1 – Эпизоды деятельности РИА на сайте krkgi.ru

Структура Кубанского отделения РИА:

- Секция машин и аппаратов пищевых производств.
- Секция технологий переработки растительного и животного сырья.
- Секция газожидкостных технологий.
- Секция защиты объектов интеллектуальной собственности.

Информация о коллективных членах Кубанского отделения:

- Краснодарский краевой Совет ВОИР.
- Институт пищевой и перерабатывающей промышленности КубГТУ.
- Институт машиностроения и автосервиса КубГТУ.
- Краснодарский колледж управления, техники и технологий.
- ООО «Плазма К».

Научно-исследовательская деятельность Кубанского отделения.

Ученые и специалисты Кубанского отделения РИА проводят исследования в области инженерного обеспечения деятельности пищевых и перерабатывающих пред-

приятый Краснодарского края. За последние 5 лет издано 29 монографии и 9 учебных пособий. Получено 144 патента Российской Федерации на изобретения, полезные модели и Программы для ЭВМ.

О работе Краснодарского колледжа управления, техники и технологий. Колледж основан 12.07.2001 г. вначале на базе КубГТУ, а затем получил самостоятельность. Здесь работает 50 штатных преподавателей и столько же совместителей. Учащиеся колледжа изучают основы банковского дела, экономики и бухгалтерского учета, градостроительной деятельности, перевозок и управления на транспорте, переработки нефти и газа, программирования в компьютерных системах и другие специальности. За 20 лет своей работы колледж выпустил свыше 5 тыс. специалистов среднего звена для предприятий и организаций Краснодарского края. Наиболее успешные выпускники продолжили образование в вузах и стали первоклассными специалистами. Колледж имеет тесные связи с коллективом «Южного завода тяжелого станкостроения», в цехах которого проходят производственную практику учащиеся колледжа (рис. 2).



Рисунок 2 – Производственную практику студенты КубГТУ и колледжа проходят в цехах ООО «Южный завод тяжелого станкостроения»

Заключение. Выполнена основная цель исследования – проанализированы исторические этапы развития инженерной деятельности и вклад коллектива Российской инженерной академии в популяризацию профессии инженера. В работе представлены не только материалы по истории инженерного труда, но и освещены задачи РИА и ее отделений на современном этапе, рассмотрен вопрос о престиже инженерной профессии, приведены сведения о работе Кубанского отделения РИА, о подготовке специалистов среднего звена ассоциированным членом отделения – Краснодарским колледжем управления, техники и технологий.

Сделан вывод о необходимости подготовки в вузе «инженерного спецназа», способного овладеть компетенциями высоких технологий.

Литература

1. Гусев Б.В. Российская инженерная академия - мощный двигатель интеграции инженерного сообщества // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2015. – № 2. – С. 31–46.
2. Гусев Б.В. Российская инженерная академия на современном этапе // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2013. – № 2. – С. 10–17.
3. Гусев Б.В., Ин Иен-Лян С., Сперанский А.А. Блочная структура периодичности и прогнозирование новых химических элементов // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 1. – С. 4–9.
4. Гусев Б.В., Кудрявцева В.Д., Потапова В.А. Бетоны с нанодобавкой из обожженного вторичного бетона // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2020. – Т. 12. – № 5. – С. 245–249.
5. Сперанский А.А., Бельский А.Б. Российская инженерная академия - кластеры жизнедеятельности // Инновации. – 2016. – № 2. – С. 18–22.
6. Мишанин Ю.Ф., Касьянов Г.И., Запорожский А.А. Рациональная переработка мясного и рыбного сырья. – СПб. : Издательство Лань, 2020. – 720 с.
7. Патент на изобретение № 2726434. Способ хранения плодов / М.Д. Назарько, Г.И. Касьянов, В.Г. Лобанов, А.В. Кириченко, Е.И. Овчинникова. Заявка № 2019131314, заявлено 02.10.2019, опубликовано 14.07.2020.
8. Патент на полезную модель RU № 178697. Лабораторная установка для моделирования уравнивания сил инерции кривошипно-ползунного механизма с оппозитным располо-

- жением ползунов / А.А. Война, С.Б. Бережной. Заявка № 2017141855, заявлено 30.11.2017, опубликовано 17.04.2018.
9. Патент на полезную модель RU №181468. Накопитель механической энергии с упругими элементами / Война А.А., Бережной С.Б., Каплюхин А.Э. Заявка № 2017141852, заявлено 30.11.2017, опубликовано 16.07.2018.
 10. Сязин И.Е., Касьянов Г.И., Гукасян А.В. Проектирование поршневого холодильного компрессора. – Краснодар : Экоинвест, 2020. – 104 с.
 11. Сязин И.Е., Касьянов Г.И., Гукасян А.В. Холодильные машины и холодильные установки. Теоретико-практические основы. – Краснодар : Экоинвест, 2020. – Т. 1. – 188 с.
 12. Яралиева З.А., Ильясова С.А. Характеристика плодово-ягодных порошков для обогащения пищевых продуктов // В сборнике материалов VI Международной научно-практической конференции «Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции». Ответственный за выпуск А.В. Степовой. – 2020. – С. 669–675.
 13. Материалы международной научно-практической конференции «Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения». – Краснодар: КубГТУ, 2020. – 522 с.
 14. Касьянов Г.И., Иванова Е.Е., Мишкевич Э.Ю. Совершенствование технологии натуральных овощных и закусочных консервов // В сборнике: Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения // Материалы международной научно-практической конференции. – Краснодар, 2020. – С. 485–492.
 15. Мишкевич Э.Ю. Товароведные и гигиенические аспекты коррекции рационов питания персонала, работающего в условиях низких температур // В сборнике: Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения. Материалы международной научно-практической конференции. – Краснодар, 2020. – С. 509–516.
 16. Мишкевич Э.Ю., Романец И.И., Христюк А.В. Способы переработки плодов и ягод в напитки и нектары // В сборнике: Инженерные технологии в сельском и лесном хозяйстве. Материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Иванов А.С.. – 2020. – С. 238–242.

References

1. Gusev B.V. Russian Engineering Academy - a powerful engine for the integration of the engineering community // *Nanotechnology in Construction: Scientific Internet Journal*. – 2015. – № 2. – P. 31–46.
2. Gusev B.V. Russian Academy of Engineering at the present stage // *Scientific and Technical Bulletin of SPbPU. Natural and Engineering Sciences*. – 2013. – № 2. – P. 10–17.
3. Gusev B.V., Ying-Yen-Liang S., Speransky A.A. Block structure of periodicity and prediction of new chemical elements // *Industrial and Civil Engineering*. – 2021. – № 1. – P. 4–9.
4. Gusev B.V., Kudryavtseva V.D., Potapova V.A. Concretes with nano-additives from burnt secondary concrete // *Nanotechnology in construction: scientific online journal*. – 2020. – Vol. 12. – № 5. – P. 245–249.
5. Speranskiy A.A., Belsky A.B. Russian Engineering Academy – clusters of life // *Innovations*. – 2016. – № 2. – P. 18–22.
6. Mishanin Y.F., Kasyanov G.I., Zaporozhsky A.A. Rational processing of meat and fish raw materials. – SPb. : Lan' Publisher, 2020. – 720 p.
7. Patent for invention № 2726434. Method of fruit storage / M.D. Nazarko, G.I. Kasyanov, V.G. Lobanov, A.V. Kirichenko, E.I. Ovchinnikova. Application № 2019131314, filed 02.10.2019, published 14.07.2020.
8. Useful model patent RU № 178697. Laboratory unit for modeling the balancing of forces of inertia of a crank-slide mechanism with oppositional arrangement of sliders / A.A. Voina, S.B. Berezhnoy. Application № 2017141855, applied for 30.11.2017, published 17.04.2018.
9. Useful model patent RU № 181468. Mechanical energy accumulator with elastic elements / A.A. Voina, S.B. Berezhnoi, A.E. Kaplyukhin. Application № 2017141852, applied for 30.11.2017, published 16.07.2018.
10. Syazin I.E., Kasyanov G.I., Gukasyan A.V. Design of a piston refrigeration compressor. – Краснодар : Ecoinvest, 2020. – 104 p.
11. Syazin I.E., Kasyanov G.I., Gukasyan A.V. Refrigerating machines and refrigeration installations. Theoretical and practical bases. – Краснодар : Ecoinvest, 2020. – Vol. 1. – 188 p.
12. Yaraliev Z.A., Ilyasova S.A. Characteristics of fruit-berry powders for food enrichment // In the Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference «Modern aspects of pro-

- duction and processing of agricultural products». Responsible for the issue A.V. Stepovoy. – 2020. – P. 669–675.
13. Materials of the International Scientific and Practical Conference «Biotechnological, Eco-logical and Economic Aspects of the Creation of Safe Food of Special Purpose». – Krasnodar: KubGTU, 2020. – 522 p.
 14. Kasyanov G.I., Ivanova E.E., Mishkevich E.Yu. Improvement of technology of natural canned vegetables and snacks. In the collection: Biotechnological, ecological and economic aspects of safe food specialized purpose // Materials of International Scientific and Practical Conference. – Krasnodar, 2020. – P. 485–492.
 15. Mishkevich E.Yu. Merchandise and hygienic aspects of the correction of dietary rations of staff working in conditions of low temperatures // In the collection: Biotechnological, environmental and economic aspects of the creation of safe food special-purpose. Materials of the International Scientific-Practical Conference. – Krasnodar, 2020. – P. 509–516.
 16. Mishkevich E.Y., Romanets I.I., Khristyuk A.V. Methods of fruit and berry processing in beverages and nectars // In the collection: Engineering Technology in Agriculture and Forestry. Materials of the All-Russian national scientific-practical conference. Responsible editor: Ivanov A.S. – 2020. – P. 238–242.

УДК 615.471:616.3-71

**ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИГНАЛОВ
В ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОМ ТРАКТЕ**



**DIGITAL PROCESSING OF NON-STATIONARY SIGNALS
IN THE GASTROINTESTINAL TRACT**

Керимова Мая Исахан кызы

доктор технических наук по философии,
ассистент кафедры приборостроительная инженерия,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
mkerimova1971@rambler.ru

Kerimova Maya Isakhan gizi

Doctor of Technical Sciences in Philosophy,
Assistant of Department of
Instrumentation Engineering,
Azerbaijan State University
Oil and Industry
mkerimova1971@rambler.ru

Аннотация. Предложена оптимальная декомпозиционная структура сигнала с учетом максимальной пропускной способности при выборе более правильного посадочного разветвления. Был использован классический критерий, основанный на минимальной энтропии, для того, чтобы сигнал имел оптимальное количество пропускных способностей. Для дифференциальной диагностики заболеваний рассматриваемого типа предложены нормализованные коэффициенты вейвлет-пакета средней мощности сигналов, которые являются информативными признаками и имеют диагностический смысл.

Annotation. The optimal decomposition structure of the signal is proposed, taking into account the maximum throughput when choosing a more correct landing branch. The classical criterion based on the minimum entropy was used to ensure that the signal had the optimal amount of bandwidth. For the differential diagnosis of diseases of this type, the normalized coefficients of the wavelet packet of the average signal power are proposed, which are informative signs and have a diagnostic meaning.

Ключевые слова: энтропия, концентрация, локарифм «энергии», электрогастроэнтерограмма, вейвлет-анализ, желудочно-кишечный тракт.

Keywords: entropy, concentration, energy arithmetic, electrogastroenterogram, wavelet analysis, gastrointestinal tract.

E GEG (electrogastroenterogram) – these are non-stationary signals. Their spectral composition and the amplitude of the dances can change significantly even in a single measurement session.

A more modern method of analyzing the EGEG signal is the wavelet analysis.

Wavelet analysis is a more promising method of digital signal processing and provides better resolution in both frequency and time. The method is designed for the analysis of complex non-stationary signals with local properties, which, in particular, include EGEG signals [1, 2].

Batch wavelet-in the case of a distribution, it is possible to obtain estimates of the numerical characteristic-the entropy of the coefficients in the nodes of the distribution tree. To determine the optimal number of distribution levels, classical criteria based on the minimum entropy are used [3].

The entropy of the signal S for signals defined as an orthogonal distribution according to the interpreted entropy properties:

$$E(S) = \sum_i E(s_i), \quad (1)$$

where s_i – is the distribution coefficient of the signal S in the orthogonal basis.

Taking into account the signal distribution coefficient on the orthonormal basis for the four types of entropies, the following expressions are given:

– Unnormalized Shannon entropy

$$E(S) = \sum_i s_i^2 \log_2(s_i^2) \quad (2)$$

- concentration in the case of $1 \leq p \leq 2$ according to the norm p :

$$E(S) = |s_i|^p = \|s_i\|_p^p \quad (3)$$

or

$$E(S) = 1/p \sqrt[p]{\sum_i s_i^p}$$

- logarithm of the «energy» of entropy

$$E(S) = \sum_i \log_2(s_i^2) \quad (4)$$

- entropy «SURE»

$$E(S) = \sqrt{2 \ln(N \log_2(N))}, \quad (5)$$

where N – is the number of accounts.

The normalized entropy of the packed wavelet coefficients is calculated using formulas (1–5), and the results are shown in table 1. The dependence of the entropy of these coefficients on the level of the wavelet distribution is shown in figure 3.

The calculations were repeated for every 10 patients with the specified diagnostic results in order to determine how the parameters of diagnostic significance behave [4]. For the remaining patients, the obtained dependences confirmed the nature of changes in the studied parameters in diagnostic situations indicated at the level of the wavelet distribution. Consequently, VPS performs efficient compression and smoothing of EGEG signals, creating its own wavelet spectrogram, which is visually more informative than the primary electrogastragram, and adds fundamentally new numerical characteristics of the EGEG signal [5].

Figures 1 and 2 show the levels of normal gastric dissolution and its distribution in gastric ulcer disease.

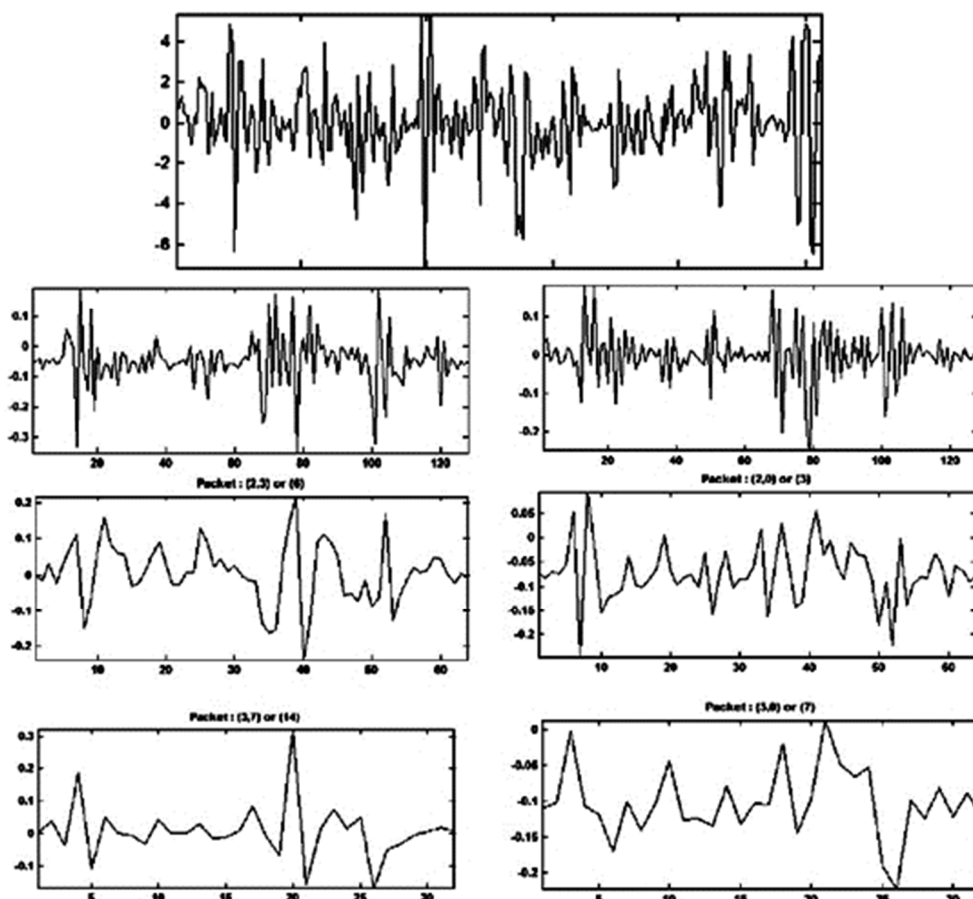


Figure 1 – Signal distribution levels for normal gastric solutions

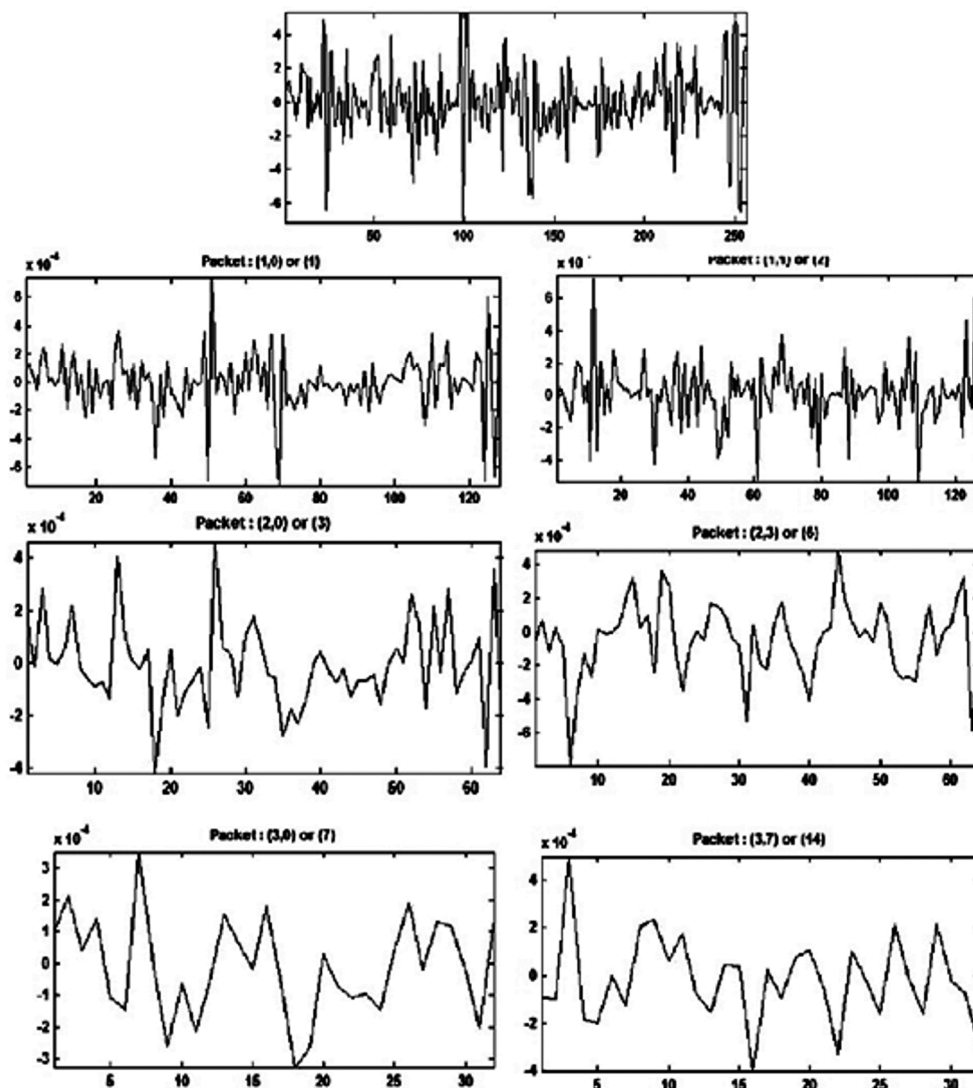


Figure 2 – Signal distribution levels in gastric ulcer disease

For the considered gastrointestinal tract diseases, the optimal number of decomposition levels of the orthogonal wavelet transform was selected, the ability of the studied signal to decompose was taken into account, and the entropy minimum of the decomposition level was determined (tab. 1).

Table 1 – Signal entropy values for different distribution levels

Normal stomach condition				
m	Shannon	Norm (p = 1)	Log energy	SURE
1	1,40211	1,803698145	-2,49306	1,850099
2	1,34061	1,837845206	-1,97997	1,886925
3	1,54229	1,801391962	-2,44146	1,84754
Stomach ulcer condition				
m	Shannon	Norm (p = 1)	Log energy	SURE
1	0,60730	1,934917569	-0,78839	1,982106
2	0,78556	1,913962382	-1,04463	1,962631
3	0,90596	1,901491783	-1,18756	1,950777

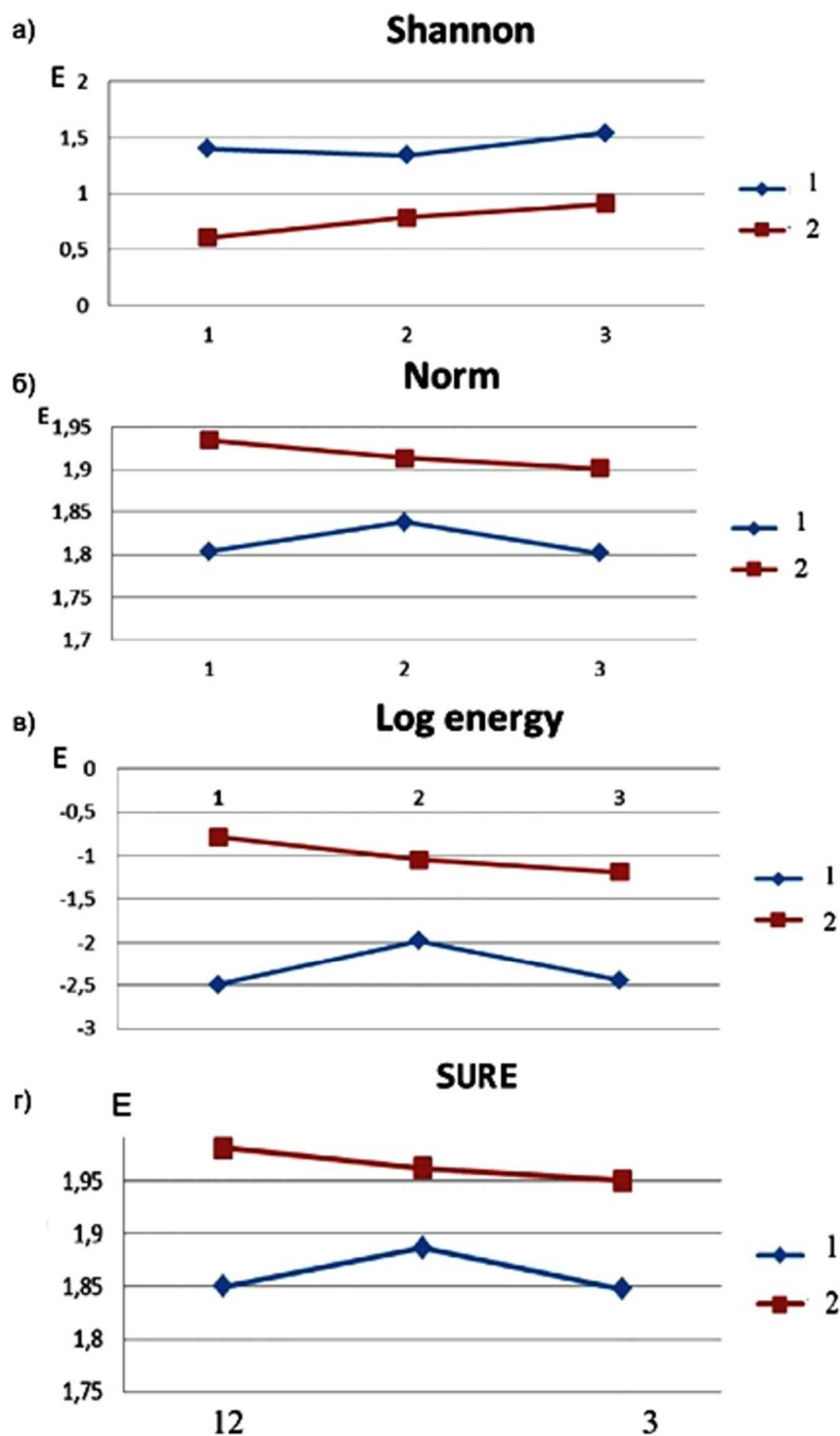


Figure 3 – Estimates of gastric entropy in normal (1) and peptic ulcer disease (2)

Conclusion: Thus, a more acceptable method compared to the classical wavelet distribution scheme is that the signal processing is performed on the basis of a wavelet packet, so that the high-frequency aggregates of the pyramid of the analyzed signal are processed, resulting in a «complete» (balanced) wavelet decomposition tree. The optimal structure of the signal decomposition during the processing of the wavelet packet is selected taking into account the additional criterion of the signal throughput according to the minimum entropy criterion.

For the recognition of EGEG signals, the normalized average power of the wavelet packet coefficients is used, which are informative features, sensitive to changes in the average power, and have a diagnostic value.

Литература

1. Заруцкий И.В., Манойлов В.В. Предварительная очистка масс-спектрометрических сигналов от шумов с помощью вейвлет-фильтров // Научное приборостроение. – 2007. – Т. 17. – № 1. – С. 115–120.
2. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. – М. : Мир, 2005. – С. 671.
3. Попов А.И., Рудалев А.В. Особенности применения вейвлета Морле при анализе гастрограмм // Сайт семинара «Прикладные информационные технологии». – URL : itprojects.narfu.ru/pit/?q=node/63
4. Свиньин С.Ф., Попов А.И., Рудалев А.В. Вейвлет-анализ и информационные технологии в задачах обработки электрогастроэнтерограмм. – М. :Труды СПИРАН, 2013. – Вып. 4 (27). – С. 129–143.
5. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов // Вейвлеты в Matlab. – М. : ДМК Пресс, 2005. – С. 304.

References

1. Zarutsky I.V., Manoilov V.V. Preliminary purification of mass-spectrometric signals from noise by means of wavelet filters // Nauchnoe priborostroenie. – 2007. – Vol. 17. – № 1. – P. 115–120.
2. Malla S. Wavelets in signal processing. – M. : Mir, 2005. – P. 671.
3. Popov A.I., Rudalev A.V. Features of application of Morlet wavelet at the analysis of gastro-grams // Site of seminar «Applied information technologies». – URL : itprojects.narfu.ru/pit/?q=node/63
4. Svinin S.F., Popov A.I., Rudalev A.V. Wavelet analysis and information technologies in problems of processing electrogastroenterograms. – M. : SPIRAN Proceedings, 2013. – Vol. 4 (27). – P. 129–143.
5. Smolentsev N.K. Fundamentals of wavelet theory // Wavelets in Matlab. – M. : DMK Press, 2005. – P. 304.

УДК 631

**АНАЛИЗ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА ТЕРРИТОРИИ
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ**



**ANALYSIS OF THE LAND FUND OF THE TERRITORY OF THE
KRASNODAR TERRITORY**

Кирюникова Н.М.

инженер кафедры кадастра и геоинженерии
Кубанский государственный
технологический университет
kiryunikovaa2001@yandex.ru

Лесовая Э.Д.

инженер кафедры кадастра и геоинженерии
Кубанский государственный
технологический университет
elyaaa_l29102000@mail.ru

Хахук Б.А.

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры кадастра и геоинженерии,
Кубанский государственный
технологический университет
kuban_gtu@mail.ru

Аннотация. В статье приведена характеристика распределения земельного фонда на территории Краснодарского края с 2015 по 2019 год, приведена структура семи основных категорий земель Российской Федерации, выявлена тенденция их перераспределения, проанализирована динамика изменения категорий земельного фонда территории Краснодарского края.

Ключевые слова: универсальный природный ресурс, земельный фонд, категории земель, изменения по каждой категории земельного фонда, Краснодарский край.

Kiryunikova N.M.

Engineer of the Department of
Cadastre and Geoengineering,
Kuban State Technological University
kiryunikovaa2001@yandex.ru

Lesovaya E.D.

Engineer of the Department of
Cadastre and Geoengineering,
Kuban State Technological University
elyaaa_l29102000@mail.ru

Khakhuk B.A.

Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Cadastre and Geoengineering,
Kuban State Technological University
kuban_gtu@mail.ru

Annotation. The article describes the characteristics of the distribution of the land Fund on the territory of Krasnodar region from 2015 to 2019, the structure of the seven major categories of land of the Russian Federation, the tendency for redistribution, analyzed the dynamics of changes of the categories of the land Fund of the Krasnodar territory.

Keywords: universal natural resource, land fund, land categories, changes for each category of land fund, Krasnodar Krai.

Земельные ресурсы Краснодарского края, являясь базой для функционирования всех сфер деятельности, одновременно выступают главным источником социально-экономического развития региона. Земли, находящиеся в его пределах, составляют земельный фонд, в составе которого категория земель – это часть земельного фонда, выделяемая по основному целевому назначению. Отнесение земель к категориям осуществляется согласно действующему земельному законодательству. Как правило, целевая категория может определять лишь общее, основное назначение отнесенных к ней земель. В пределах одной и той же категории может наблюдаться довольно различное конкретное использование земли в соответствии с ее практической целесообразностью.

Земля – один из самых ценных природных ресурсов, без которого практически не возможна ни одна из отраслей хозяйственной деятельности человека. Анализ состава и структуры земельного фонда, распределение по формам собственности, выявление причин и тенденций к изменению типов почв, установление их качественных и количественных характеристик непосредственно влияют на состояние современного землепользования. Земельные ресурсы являются одним из основных источников эффективного развития Краснодарского края.

Краснодарский край – это субъект Российской Федерации в составе Южного федерального округа, имеющий площадь 7,6 млн га. Регион насчитывает 7 городских и 37 административных округов, в состав которых входят 1710 сельских и 56 городских поселений.

В современных российских условиях земельные ресурсы используются неэффективно как в целом по стране, так и на территории Краснодарского края, о чем свидетельствует экологическое состояние почв. Россия – одна из самых богатых стран с точки зрения земельных ресурсов, но в то же время, количество земель, пригодных для хозяйственной деятельности человека относительно немного. Среди основных проблем земельных ресурсов выделяют значительное ухудшение плодородия почв и состояния земель сельскохозяйственного назначения. Регулярное загрязнение почвы приводит к нарушению одного из основных свойств почвы – плодородия, происходит ухудшение гумусового слоя почвы, ее уплотнение и переувлажнение, а также наблюдаются проявления ветровой и водной эрозии [1]. Недостаточная разработанность законодательной и нормативно-правовой базы по вопросам охраны земель и эффективного ее использования, нарушение правил хозяйствования на земле, неэффективное ее использование, изменения форм собственности на землю, состава и структуры земельного фонда обуславливают актуальность данной темы и оказывает непосредственное влияние на состояние современного землепользования.

Земельный фонд – вся территория государства, включая водные просторы в пределах установленных границ государства. В зависимости от целевого назначения земель современное законодательство классифицирует земельный фонд на семь категорий:

- Земли сельскохозяйственного назначения.
- Земли населенных пунктов.
- Земли водного фонда.
- Земли лесного фонда.
- Земли особо охраняемых территорий.
- Земли промышленности, транспорта, связи.
- Земли запаса.

На основании сведений, полученных в результате государственных статистических наблюдений за состоянием и использованием земельных ресурсов в разрезе субъектов Российской Федерации проведен анализ земельного фонда территории Краснодарского края по категориям земель за пятилетний период 2015–2019 гг. (табл. 1 и 2).

Таблица 1 – Анализ земельного фонда территории Краснодарского края по категориям земель, 2015–2019 гг., тыс. га

Категории земель	Занимаемая площадь (тыс.га)					Изменение площадей в 2019 г. относительно 2015 г.
	2015	2016	2017	2018	2019	
Земли сельскохозяйственного назначения	4727,9	4720,8	4715	4706,5	4695,3	–32,6
Земли населенных пунктов	615,2	622,4	627,5	638,8	649,7	34,5
Земли промышленности	147,2	147,6	148,7	147,6	147,2	0
Земли особо охраняемых территорий	379,1	379	378,8	378,7	378,7	–0,4
Земли лесного фонда	1211,3	1211,3	1211,2	1209,8	1210,9	–0,4
Земли водного фонда	324,6	324,6	324,6	325,1	325,1	0,5
Земли запаса	143,2	142,8	142,7	142	141,6	–1,6

Представленный в таблице 1 анализ позволяет сделать вывод о том, что за исследуемый период неизменной осталась только площадь земель промышленности.

Анализ данных государственной статистической отчетности показывает, что в 2019 году продолжается перераспределение площадей всех категорий земель, что связано с проводимыми в крае земельными преобразованиями, направленными на укрепление различных форм собственности и развитие многоукладных способов хозяйствования на земле, а также приведение категорий земель в соответствие с лесным, водным и земельным законодательством.

Таблица 2 – Удельный вес отдельных категорий земель в структуре земельного фонда территории Краснодарского края за период 2015–2019 гг.

Категории земель	Занимаемая площадь (%)				
	2015	2016	2017	2018	2019
Земли сельскохозяйственного назначения	62,6	62,5	62,5	62,4	62,3
Земли населенных пунктов	8,2	8,3	8,3	8,5	8,6
Земли промышленности	2	2	2	1,9	1,9
Земли особо охраняемых территорий	5	5	5	5	5
Земли лесного фонда	16	16	16	16	16
Земли водного фонда	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
Земли запаса	1,9	1,8	1,9	1,9	1,9
Итого	100	100	100	100	100

Представленный в таблице 2 анализ позволяет сделать вывод о том, что за исследуемый период площадь земель, предназначенных под сельскохозяйственного производство, сократилась на 0,3 %, для земель промышленности – на 0,1 %. По землям населенных пунктов наблюдается рост на 0,4 %.

Таким образом, в Краснодарском крае, как и в целом по стране, Земля является постоянным источником удовлетворения жизненных потребностей. Ежегодно должны приниматься меры по дальнейшему развитию государственного земельного мониторинга. При правильном подходе, основанном на научных исследованиях, земельные ресурсы способны увеличивать свои качественные характеристики. Хозяйственное использование земель, удовлетворение иных общественных интересов не должно приводить к истощению полезных свойств почв, их деградации, сокращению площадей так как это может вызвать опасные социально – экономические последствия и угрозы устойчивому развитию территорий [10].

Интенсивное использование земельных ресурсов Краснодарского края, наблюдаемое на протяжении многих десятилетий, связанное с развитием промышленного сектора, транспортной сети автомобильных и железных дорог и иных сфер производства, приводит к истощению природных ресурсов края, в связи с чем, разработка научно-обоснованных методов использования земельных ресурсов остается одной из главнейших задач не только на уровне регионов, но и для страны в целом.

Литература

1. Земельный баланс Краснодарского края (сокращенные экспликации) за 1995 год: отчет Комитета по земельным ресурсам и землеустройству по Краснодарскому краю. – Краснодар, 1995. – 63 с.
2. Бондаренко Е.С., Хахук Б.А. Анализ земельного фонда территории Краснодарского края // Современные исследования основных направлений гуманитарных и естественных наук. – 2017. – С. 158–159.
3. Барсукова Г.Н., Радчевский Н.М. Государственная кадастровая оценка земель в Краснодарском крае // Перспективы развития аграрного сектора экономики в условиях вступления России в ВТО: материалы Междунар. научпракт. конф. КубГАУ. – Краснодар, 2006.
4. Отчет о наличии земель и распределения их по категориям, угодьям и формам собственности на 01.01.2015 г. по Краснодарскому краю: отчет Управления Федерального агентства кадастра объектов недвижимости по Краснодарскому краю. – Краснодар, 2014. – 55 с.
5. Отчет о наличии земель и распределения их по категориям, угодьям и формам собственности на 01.01.2016 г. по Краснодарскому краю: отчет Управления Федерального агентства кадастра объектов недвижимости по Краснодарскому краю. – Краснодар, 2015. – 58 с.
6. Отчет о наличии земель и распределения их по категориям, угодьям и формам собственности на 01.01.2020 г. по Краснодарскому краю: отчет Управления Федерального агентства кадастра объектов недвижимости по Краснодарскому краю. – Краснодар, 2019. – 57 с.
7. Хахук Б.А., Кушу А.А. Земельная рента и проблемы экологизации сельскохозяйственного производства // В сборнике: Ресурсный потенциал растениеводства – основа обеспечения продовольственной безопасности. Труды Международной заочной научно-практической конференции. – 2012. – С. 175–176.

8. Хахук Б.А., Кушу А.А. Современные проблемы технического оснащения сельскохозяйственного производства // В сборнике: Ресурсный потенциал растениеводства – основа обеспечения продовольственной безопасности. Труды Международной заочной научно-практической конференции. – 2012. – С. 27–28.
9. Хахук Б.А., Кушу А.А. Правовое регулирование рентных отношений в сельскохозяйственном производстве // В сборнике: Роль и значение землеустроительной науки и образования в развитии Сибири. Материалы Международной научно-практической конференции (посвященной 100-летию землеустроительного образования, 90-летию землеустроительного факультета, 90-летию кафедры землеустройства). – Омск, 2012. – С. 451–453.
10. Доклад о состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2014 году: региональный доклад. – Краснодар, 2015. – 370 с.

References

1. Land Balance of Krasnodar Krai (Abridged Explications) for 1995: Report of the Committee on Land Resources and Land Management of Krasnodar Krai. – Krasnodar, 1995. – 63 p.
2. Bondarenko E.S., Khakhuk B.A. Analysis of the land fund of the Krasnodar Territory // Modern research in the basic humanities and natural sciences. – 2017. – P. 158–159.
3. Barsukova G.N., Radchevsky N.M. State cadastral evaluation of lands in Krasnodar Krai // Prospects of development of the agrarian sector of economy in the conditions of Russia's entry into WTO: materials of the International scientific-practical conference of KubGAU. – Krasnodar, 2006.
4. Report on the availability of lands and their distribution by categories, lands and forms of ownership as of 01.01.2015 in Krasnodar Krai: report of the Administration of the Federal Real Estate Cadastre Agency in Krasnodar Krai. – Krasnodar, 2014. – 55 p.
5. Report on the availability of lands and their distribution by categories, lands and forms of ownership as of 01.01.2016 for Krasnodar Krai: Report of the Administration of the Federal Real Estate Cadastre Agency for Krasnodar Krai. – Krasnodar, 2015. – 58 p.
6. Report on the availability of lands and their distribution by categories, lands and forms of ownership as of 01.01.2020 for Krasnodar Krai: report of the Administration of the Federal Real Estate Cadastre Agency for Krasnodar Krai. – Krasnodar, 2019. – 57 p.
7. Khakhuk B.A., Kushu A.A. Land rent and problems of ecologization of agricultural production // In the collection: Resource potential of crop production – the basis for food security. Proceedings of the International Correspondence Scientific and Practical Conference. – 2012. – P. 175–176.
8. Khakhuk B.A., Kushu A.A. Modern problems of technical equipment of agricultural production // In the collection: Resource potential of crop production – the basis for food security. Proceedings of the International Extramural Scientific and Practical Conference. – 2012. – P. 27–28.
9. Khakhuk B.A., Kushu A.A. Legal regulation of rent relations in agricultural production // In the collection: The role and importance of land management science and education in the development of Siberia. Materials of the International Scientific and Practical Conference (dedicated to the 100th anniversary of land use planning education, the 90th anniversary of the Faculty of Land Use Planning, the 90th anniversary of the Department of Land Use Planning). – Омск, 2012. – P. 451–453.
10. Report on the State of Nature Management and Environmental Protection of Krasnodar Krai in 2014: Regional Report. – Krasnodar, 2015. – 370 p.

УДК 656.073

**МЕТОДЫ РАЗМЕЩЕНИЯ
ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ В ГОРОДАХ**



**METHODS OF ALLOCATION
OF THE TRANSPORT HUBS IN THE CITIES**

Коновалова Т.В.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Надирян С.Л.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Konovalova T.V.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Nadiryan S.L.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены методы размещения транспортно-пересадочных узлов в городах. Крупные города являются, как правило, административными центрами областного и регионального уровней, тесно взаимодействующими с ближайшими населенными пунктами. Сосредоточение в таких городах мест массового приложения труда, а также центров культуры, научно-технического и общественного прогресса, развитой системы обслуживания привлекает население ближайших пригородов и регионов с разработанными целями.

Ключевые слова: автомобильные транспорт, транспортно-пересадочные узлы, перевозка, транспортировка.

Annotation. The article discusses the methods of placing transport hubs in cities. Large cities are, as a rule, administrative centers of the regional and regional levels, closely interacting with the nearest settlements. The concentration in such cities of places of mass application of labor, as well as centers of culture, scientific, technical and social progress, and a developed service system attracts the population of the nearest suburbs and regions with developed goals.

Keywords: automobile transport, transport and interchange hubs, transportation, transportation.

Крупные города являются, как правило, административными центрами областного и регионального уровней, тесно взаимодействующими с ближайшими населенными пунктами. Сосредоточение в таких городах мест массового приложения труда, а также центров культуры, научно-технического и общественного прогресса, развитой системы обслуживания привлекает население ближайших пригородов и регионов с разработанными целями [1–2].

Важной градостроительной задачей является улучшение условий транспортной доступности и единство всего городского и тяготеющего к нему пространства с сокращением структурно-планировочных противоречий между транспортом и городской средой, охраной естественных ресурсов и экономией энергии и финансовых средств. Транспортные системы крупных городов представляют сложную инфраструктуру, включающую отдельные подсистемы, как правило, нескольких видов внешнего транспорта (железнодорожного, морского, речного, автомобильного, воздушного), взаимодействующих с городским общественным и индивидуальным транспортом в организации массовых пассажирских и грузовых перевозок [3–4].

Проблема взаимодействия внешнего (магистрального и пригородного) транспорта с городским в части выполнения пассажирских сообщений, выражающаяся во взаимосогласованной градостроительно-планировочной и технической организации транспортной инфраструктуры города, во многом решается размещением и организацией ее ключевых структурных элементов – пересадочных узлов.

Формирование транспортно-пересадочного узла обусловлено закономерностями комплексной организации пересадочного процесса.

Взаимное размещение станций, остановочных пунктов, линий, путей и различных транспортных устройств, и сооружений, а также других коммуникационных элементов определяет транспортно-планировочную и пространственную организацию пе-

ресадочного узла, которая во многом зависит от конкретных градостроительных условий и места размещения, его архитектурно-планировочной связи с застройкой на прилегающей территории [5–6].

ТПУ можно классифицировать по назначению и функциональным характеристикам на:

- межрегионального значения – обеспечивают связанность территории города с иными территориями Российской Федерации и зарубежными странами;
- регионального (агломерационного) значения – обеспечивают территориальное единство регионов;
- районного значения – обеспечивают транспортное обслуживание жителей муниципальных районов, проживающих в зонах транспортной и пешеходной доступностей данного вида ТПУ;
- локального значения – обеспечивают транспортное обслуживание территорий, расположенных в пешеходной доступности от ТПУ.

Разделение транспортно-пересадочных узлов по видам осуществляется на основании состава взаимодействующих в них видов транспорта.

Состав системы транспортно-пересадочных узлов города определяется численностью населения города, его географическим расположением и положением в системе расселения страны. Рекомендуемый состав системы пересадочных узлов для городов различной величины приведен в таблице 2.

Таблица 1 – Состав системы транспортно-пересадочных узлов для города

Тип города Вид ТПУ	Крупнейший Город (св. 1 млн чел)	Крупные города (население от 250 до 1 000 тыс. чел)	Большие Города (население от 100 до 250 тыс. чел)	Средние Города (население от 50 до 100 тыс. чел)	Малые города (население менее 50 тыс. чел)
1. Узлы межрегионального значения	+	+	+	+	+
2. Узлы регионального (агломерационного) значения	+	+	+		
3. Узлы районного значения	+	+	+	–	–
4. Узлы локального значения	+	–	–	–	–
Обозначения: «+» – наличие данного типа узла в поселении; «–» – отсутствие данного типа узла в поселении. Примечания: 1. Рекомендовано для средних и малых городов узлы межрегионального и регионального значения объединять в один ТПУ. 2. Состав системы может быть уточнен в региональных (местных) нормативах градостроительного проектирования.					

Транспортно-пересадочные узлы в малых и средних городах формируются у железнодорожных и автобусных вокзалов, автостанций, речных и морских портов и аэродромов.

При выборе места размещения ТПУ любого класса необходимо учитывать:

- взаимное расположение инфраструктуры железнодорожного и других видов транспорта;
- размер и категории пассажиропотоков (существующие и перспективные);
- существующую городскую застройку;
- планы развития городских территорий и развития инфраструктуры всех видов транспорта;
- пропускные способности ближайших транспортных узлов и магистралей населенного пункта.

Основным критерием правильности выбора места размещения и формирования ТПУ является обеспечение необходимого пассажирообмена между транспортными средствами различных перевозчиков при рациональной продолжительности нахождения пассажира на территории ТПУ [7–8].

Основным критерием правильности выбора места размещения и формирования ТПК является эффективность его работы по реализации объемов дополнительных услуг.

В зависимости от типа ТПУ и имеющихся на его территории пассажирских устройств пассажирами могут быть реализованы несколько видов пересадки[9].

При формировании и проектировании ТПУ любого класса необходимо руководствоваться следующими принципами и соблюдать следующие условия:

- обеспечение необходимой пропускной способности (транспортных средств);
- обеспечение развязки пассажиропотоков и необходимой пропускной способности пассажиропотоков;
- обеспечение безопасной пересадки;
- обеспечение доступности для всех групп населения (включая МГН);
- соблюдение архитектурно-планировочных особенностей застройки населенного пункта;
- минимальное вмешательство и сохранение окружающей среды;
- эффективное использование площадей;
- обеспечение возможности развития инфраструктуры образующих ТПУ видов транспорта;
- обеспечение возможности предоставления пассажирам и посетителям услуг в соответствии с классом ТПУ.

Основной отличительной особенностью ТПУ от обособленно расположенных на одной территории инфраструктурных объектов является единая технология обслуживания пассажиров и согласованность расписаний движения транспортных средств.

Особенностью размещения ТПУ является их формирование. Существует 2 вида размещения ТПУ:

- При планирование нового района ТПУ заранее предусматривается в генеральном плане;
- Исторический. ТПУ сформировались самостоятельно в течение времени.

В составе Генерального плана решаются вопросы размещения и формирования системы ТПУ на территории населенных пунктов.

В составе проектов планировки определяются основные параметры ТПУ: технико-экономические показатели застройки, состав технологической части ТПУ (включая размещение: платформ, остановочных пунктов, посадочных мест для наземного общественного транспорта, размещение отстойно-разворотных площадок наземного пассажирского транспорта общего пользования и т.п.), планировочное решение, основные параметры УДС и пешеходных коммуникаций на территории ТПУ, состав и емкость гаражно-стояночных объектов.

На стадии проектирования, на основании проекта планировки, проектные предложения конкретизируются и детализируются.

Литература

1. Исследование рынка перевозок по заказам в регионе / Т.В. Коновалова [и др.] // В сборнике: Международная научно-практическая конференция «Архитектура, строительство, транспорт» (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»). Сборник научных трудов № 8 кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте». ФГБОУ ВПО «СибАДИ», кафедра «ОПиУТ»; Ответственный за выпуск Е.Е. Витвицкий. – 2015. – С. 74–77.
2. Анализ методов прогнозирования интенсивности дорожного движения (на примере г. Краснодара) / Т.В. Коновалова [и др.] // В сборнике: Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2018. Материалы IV Международной научно-практической конференции в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие». – 2018. – С. 226–230.

3. Особенности экономического прогнозирования пассажиропотоков (на примере Краснодарского края) / Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – № 1 (47). – С. 109–116.
4. Проблемы взаимодействия различных видов пассажирского транспорта в городе / Т.В. Коновалова [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 12. – С. 133–139.
5. Коновалова Т.В., Миронова М.П., Надирян С.Л. Расчет экономической эффективности международных перевозок в транспортно-технологических системах // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2018. – № 10. – С. 232–235.
6. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н. Организационно-производственные структуры транспорта. – Краснодар, 2014.
7. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н., Надирян С.Л. Способы оценки эффективности организации дорожного движения : учебное пособие. – Краснодар, 2018.
8. Изюмский А.А., Коновалова Т.В., Надирян С.Л. Повышение эффективности функционирования транспортно-логистических систем через воздействие на финансовые потоки // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2017. – № 10. – С. 168–172.
9. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Сенин И.С. Особенности информационного обеспечения деятельности автотранспортных предприятий по повышению безопасности движения // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 2. – С. 96–103.

References

1. Research of the market of order transportation in the region / T.V. Konovalova [et al.] // In the collection: International scientific-practical conference «Architecture, construction, transport" (to the 85-th anniversary of FSBEI VO «SibADI»). Collection of scientific papers № 8 of the department «Organization of transportation and management on transport». FGBOU VO «SibADI», Department «OPIUT»; Responsible for the issue E.E. Vitvitsky. – 2015. – P. 74–77.
2. Analysis of methods of forecasting traffic intensity (by the example of Krasnodar) / T.V. Konovalova [et al.] // In the collection: Scientific and technical aspects of the development of the road transport complex 2018. Proceedings of the IV International Scientific-Practical Conference within the framework of the Fourth International Scientific Forum of the Donetsk People's Republic «Innovative prospects of Donbass: Infrastructural and socio-economic development». – 2018. – P. 226–230.
3. Peculiarities of economic forecasting of passenger flows (on the example of Krasnodar region) / T.V. Konovalova [et al.] // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy. – 2016. – № 1 (47). – P. 109–116.
4. Problems of interaction of different types of passenger transport in the city / T.V. Konovalova [et al.] // Electronic network multidisciplinary journal «Scientific Proceedings of Kuban State Technical University». – 2015. – № 12. – P. 133–139.
5. Konovalova T.V., Mironova M.P., Nadiryanyan S.L. Calculation of economic efficiency of international transport in transport-technological systems // Humanities, socio-economic and social sciences. – 2018. – № 10. – P. 232–235.
6. Konovalova T.V., Kotenkova I.N. Organizational and production structures of transport. – Krasnodar, 2014.
7. Konovalova T.V., Kotenkova I.N., Nadiryanyan S.L. Ways to assess the effectiveness of the organization of road traffic : tutorial. – Krasnodar, 2018.
8. Izumskiy A.A., Konovalova T.V., Nadiryanyan S.L. Increasing the efficiency of transport and logistics systems through the impact on financial flows // Humanitarian, Socio-Economic and Social Sciences. – 2017. – № 10. – P. 168–172.
9. Konovalova T.V., Nadiryanyan S.L., Senin I.S. Features of information support of motor transport enterprises to improve traffic safety // Electronic network multimedia journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2015. – № 2. – P. 96–103.

УДК 656.073

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В КРАСНОДАРЕ**
◆◆◆◆
IMPROVING ROAD SAFETY IN KRASNODAR

Коновалова Т.В.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Надирян С.Л.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Орешкина А.Д.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Аннотация. Транспорт является неотъемлемой частью нашей жизни. Обеспечение безопасности дорожного движения является приоритетным вопросом в социально-экономическом развитии России. В России основными видами ДТП являются наезд на пешехода, столкновение транспортных средств, наезд на стоящее транспортное средство, опрокидывание ТС. Для сокращения количества ДТП требуется использовать системный подход к установлению взаимодополняющих задач по обеспечению безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, безопасность, дорожное движение, аварийность, водитель, автомобильный транспорт.

Konvalova T.V.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Nadiryan S.L.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Oreshkina A.D.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Annotation. Transport is an integral part of our lives. Ensuring road safety is a priority issue in the socio-economic development of Russia. In Russia, the main types of accidents are collision with a pedestrian, collision of vehicles, collision with a standing vehicle, overturning of a vehicle. To reduce the number of accidents, it is required to use a systematic approach to establishing complementary tasks to ensure road safety.

Keywords: traffic accident, safety, traffic, accident, driver, road transport.

Безопасность дорожного движения является одной из важнейших социально-экономических и демографических проблем города Краснодара. Проблема обеспечения безопасности дорожного движения не может быть решена без поддержки самых широких слоев населения, учета мнения общественности в процессе реализации управленческих решений, целевых программ и проектов. Обеспечение безопасности дорожного движения является частью более крупных задач, таких как обеспечение личной безопасности, повышение качества жизни и содействие региональному развитию. На число дорожно-транспортных происшествий (ДТП) прямо или косвенно влияет непрерывный рост автомобильного парка, его скорости и разнотипности и высокая загруженность дорог [1–3].

Обеспечение безопасности дорожного движения является приоритетным вопросом в социально-экономическом развитии России в ряде стратегических и программных документов. Одной из актуальных задач развития страны Президентом Российской Федерации В.В. Путиным в Послании Федеральному Собранию Российской Федерации на 2013 год названо внедрение программ повышения безопасности на дорогах.

Правительством Российской Федерации утверждена целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах» для сокращения параметров дорожно-транспортной аварийности. Целью которой является сокращение количества ДТП со смертельным исходом, в том числе детей, к 2020 году на 8 тыс. человек (28,8 %) по сравнению с 2012 годом.

Для достижения поставленной цели требуется использовать системный подход к установлению взаимодополняющих задач по обеспечению безопасности дорожного движения.

К ним относятся:

- формирование негативного отношения к нарушениям Правил дорожного движения (далее-ПДД) с помощью пропаганды;
- повышение культуры вождения;
- введения в действие стационарных и передвижных комплексов фиксации нарушений ПДД, работающих в автоматическом режиме;
- практика Государственной инспекции безопасности дорожного движения (далее- ГИБДД) по принятию мер к правонарушителям.

Также важную роль играет наука и образование. В работе дорожных и автотранспортных организаций, организаций по обучению и подготовке водительских кадров положительные результаты должны дать исследования и разработка критериев организации и безопасности движения, которые будут научно обоснованы [3–6].

Выполнить научные исследования применив метод анализа ДТП, а также разработать и применить в практику профилактики ДТП типовые решения для внедрения наиболее эффективных средств должны специалисты в данной области к которым относятся ГИБДД. К основным видам деятельности которой относятся контрольные и надзорные функции.

Возможной причиной ДТП также может является техническое состояние дороги. Дорожное покрытие имеет определенный срок эксплуатации и по истечению этого срока оно приходит в негодность. В большей степени на сохранность дороги влияют погодные условия, качество покрытия, своевременная реставрация (ремонт), пропускная способность той или иной области проезжей части.

Важно контролировать состояние дорожного полотна. В России существует ГОСТ Р 50597-93 «Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения» в котором в пункте 3.1.1. говорится, что покрытие проезжей части не должно иметь просадок, выбоин, иных повреждений, затрудняющих движение транспортных средств с разрешенной Правилами дорожного движения скоростью. Также данный ГОСТ устанавливает допустимые размеры отдельных просадок, выбоин и т.п., они не должны превышать по длине 15 см, ширине – 60 см и глубине – 5 см.

Также на дорожное покрытие большое влияние оказывают климатические условия. К ним относятся амплитуда и скорость колебания температуры, количество осадков и их испарение, мощность снегового покрова и глубина промерзания. В замерзшем земляном полотне возникают процессы перераспределения влаги и образования ледяных прослоек, которые, оттаивая весной, вызывают переувлажнение грунта и снижение прочности дорожной одежды.

Если правильно поддерживать и уделять внимание, то дорожное покрытие будет сохранять свое качество на достойном уровне. Грамотные и квалифицированные специалисты должны заниматься производством ремонтных дорог. Также необходим подбор качественного строительного материала, который соответствует определенным требованиям. Проведение реставрационных работ дорожного покрытия должно быть своевременным для избегания последующего разрешения [7].

В России основными видами ДТП являются наезд на пешехода, столкновение транспортных средств, наезд на стоящее транспортное средство, опрокидывание ТС.

По оперативным данным МВД России по Краснодарскому краю в 2020 году с января по август произошло 4063 зафиксированных ДТП, что на 594 аварии (12,8 %) меньше, чем за январь–август предыдущего года. Отмечено 475 погибших человек, что на 113 (19,2 %) человек меньше. Ранения получили 5159 (–984, –16 %) человек.

С участием детей допущено 497 (–24,5 %, –161) ДТП, в результате которых 15 (–55,9 %, –19) несовершеннолетних погибло и 551 (–12,5 %, –179) получили ранения.

Водителями с признаками опьянения совершено 474 (–21,7 %, –131) ДТП, в результате которых 89 (–38,2 %, –55) человек погибли и 631 (–21,3 %, –171) пострадало.

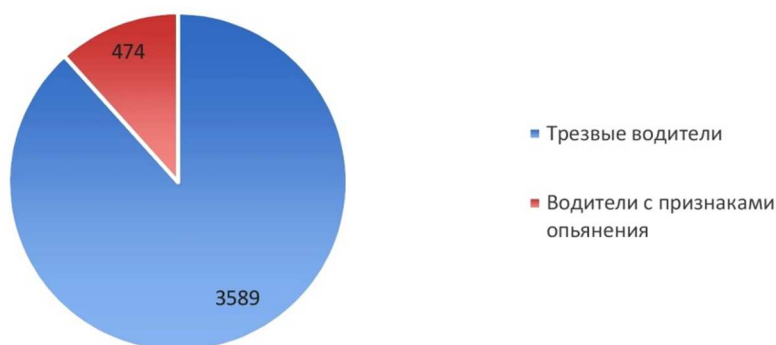
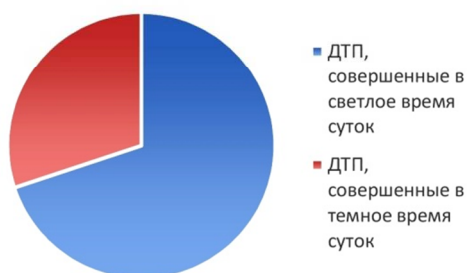


Рисунок 1 – Доля совершенных ДТП водителями с признаками опьянения

По данным ГИБДД в городе Краснодар за январь–август 2020 совершено 675 ДТП, зафиксировано 46 погибших и 840 раненых. Из которых 203 ДТП произошли в темное время суток, 26 человек погибли, 257 – ранены.

Количество ДТП



Количество погибших



Рисунок 2 – Доля погибших и количества ДТП в темное время суток в городе Краснодар

Из этого следует, что ДТП, совершенные в темное время суток, имеют более тяжелые последствия.

Сумма всех штрафов за правонарушения в области дорожного движения составляет 2,6 млрд рублей, исполнено из которых 1,2 млрд рублей.

В Краснодарском крае сотрудниками ГИБДД и ДПС было оштрафовано нарушителей на сумму 602,1 млн рублей, из них исполнено постановлений на сумму 386,7 млн рублей, что составило 81,6 %.

ЦАФАПОДД ГИБДД (г. Краснодар) наложено штрафов (вступивших в законную силу) на сумму более 2,0 млрд рублей, взыскано 235,6 млн рублей (70,0 %).

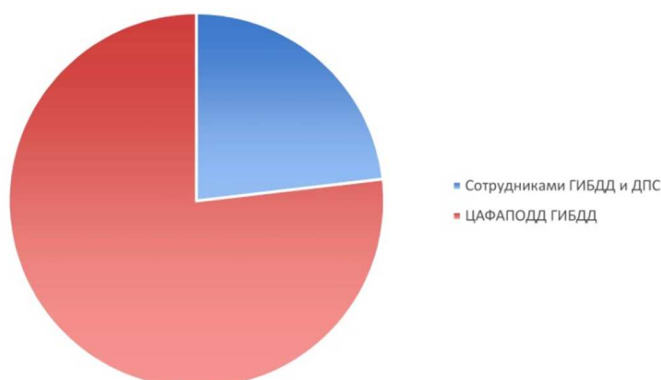


Рисунок 3 – Сумма наложенных штрафов за январь–август 2020 год

В 44 городах и районах Краснодарского края, включая Краснодар, установлено 337 аппаратно-программных комплексов системы «Ураган», позволяющих идентифицировать проходящий транспорт по государственным регистрационным знакам.

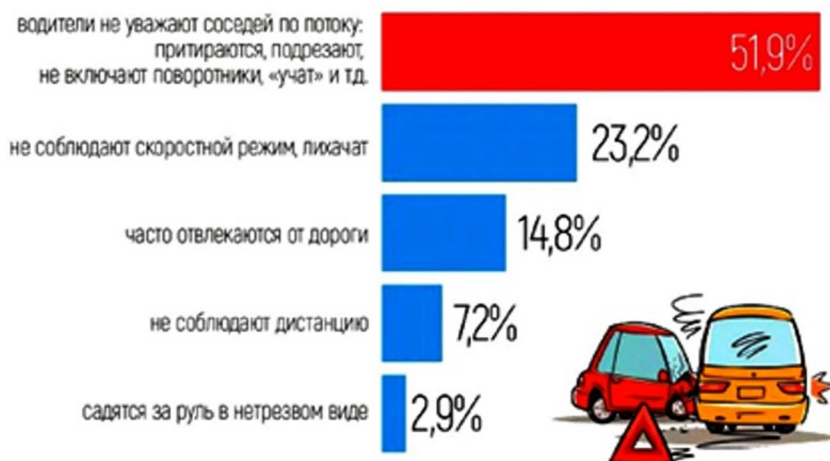
С привлечением общественных организаций, средств массовой информации, предприятий и организаций с начала года проведено 1713 (–24 %) пропагандистских мероприятий, 1348 из них были направлены на профилактику детского дорожно-транспортного травматизма [8–9].

Для стабилизации обстановки с аварийностью и профилактики отдельных видов нарушений ПДД организованы и проведены профилактические мероприятия «Внимание-дети!», «Пешеход», «Технеисправность», «Ребенок-главный пассажир», «Декада дорожной безопасности детей», «Автобус», «Маячок», «Безопасное колесо», «Грузовик», «Мотоциклист», «Автокресло детям», «На дорогах все равны», «Неделя детской дорожной безопасности», «Декадник детской дорожной безопасности».

С 4 по 7 февраля 2020 года специалистами аналитического агентства «АВТОСТАТ» и издательства «За рулем» был проведен опрос водителей о причинах происходящих ДТП. Участие приняли более 1300 автовладельцев.

По итогам опроса было видно, что буквально каждый второй респондент (52 %) видит основную причину дорожных происшествий в том, что в нашей стране водители не уважают друг друга и, собственно, сами правила движения в потоке. Они подрезают при обгонах, притираются в потоке, пытаются «учить» новичков и «слишком умных», не считают нужным включать поворотники и т.п.

Почему на наших дорогах так много аварий?



Источник: онлайн-опрос посетителей сайта «За рулем», участвовало более 1300 респондентов, период проведения 4 – 7 февраля 2020 года

Рисунок 4 – Результаты опроса водителей о причинах происходящих ДТП

Почти каждый четвертый (23 %) респондент считает, что лихачество и любовь к высоким скоростям является главным врагом безаварийной езды.

Около 15 % в качестве причин аварии назвали то, что водители, будучи за рулем, часто отвлекаются от дороги (кофе, сигарета, мобильный, окрестности, разговор с пассажирами и пр.).

Несоблюдение дистанции указали 7 % опрошенных, прием алкоголя – почти 3 %.

Система обеспечения безопасности движения на автодорогах включает в себя следующие составляющие: уровень развития дорожно-транспортной инфраструктуры и ее техническое состояние; техническое состояние автомобилей и других транспортных средств; уровень подготовки и опытность водителей; дисциплинированность участников дорожного движения; нормативные акты в сфере безопасности дорожного движения и их выполнение; характеристики технических, информационных и организационных систем; масштабы и структура транспортных потоков; технологический уровень дорожно-транспортной системы; соблюдение участниками дорожного движения норм этики и морали; взаимодействие различных типов транспорта (общественный, личный, специальный, грузовой, аварийный и др.).

Чтобы движение на автодорогах стало безопаснее, в настоящее время идет поиск инновационных решений, в числе которых дублирующие способы оповещения участников дорожного движения об опасности в системах «автомобиль – автомобиль», «автомобиль – пешеход» и «автомобиль – дорога». Такое оповещение позволит повысить эффективность используемых в настоящее время традиционных средств информирования водителя, в число которых входят:

- дорожные знаки различного назначения, установленные по направлению движения транспорта;
- вертикальная разметка из чередующихся полос черного и белого цветов, нанесенная на элементах ограждения с целью обозначить габариты проезжей части;
- горизонтальная разметка в виде линий, надписей и стрелок, нанесенных на дорожном полотне с целью установить режимы и порядок движения;
- видеокамеры, установленные вдоль проезжей части с целью фиксации нарушения правил и определения номеров автомобилей.

У всех имеющихся средств информирования водителя о дорожной ситуации есть один существенный недостаток - они малозаметны в условиях плохой видимости (в ночное время или при ухудшении погодных условий).

Причины снижения эффективности перечисленных визуальных средств могут быть следующими:

- Во-первых, вождения в состоянии усталости или болезни.
- Во-вторых, наличия других визуальных объектов (например, рекламных щитов), которые отвлекают внимание водителя.
- В-третьих, управления транспортным средством водителем с недостаточным опытом или пожилого возраста.
- В-четвертых, использования временных дорожных знаков, не всегда соответствующих ГОСТу или знаков, установленных в местах с недостаточным обзором.

Мероприятия по снижению количества ДТП в Краснодаре:

- необходимо уделить большое внимание обеспечению соблюдения скоростных режимов путем привлечения нарушителей к строгим дисциплинарным наказаниям (штрафы, принудительный курсы по безопасности движения и т.д.).
- расширить применение знаков, предупреждающих о пешеходных переходах со светодиодной подсветкой;
- провести техническое переоснащение светодиодными светофорами;
- провести освещение дорог и подсветка пешеходных переходов в течении всей ночи;
- выделить территории для стоянок автотранспорта (около магазинов и т.п.), так как из-за отсутствия парковочных мест водители часто оставляют свои транспортные средства на пешеходных переходах или ближе чем 15 метров от и до них;
- увеличить контроль за прохождением государственного технического осмотра транспортных средств, так как несмотря на то, что ДТП по технической неисправности не так уж много, однако последствия, как правило, от них одни из самых тяжёлых;
- снизить нештрафуемый порог превышения скорости (на данный момент 20 км/ч);
- обезопасить пешеходные переходы: островки безопасности, треугольник видимости, освещение;
- развивать общественный транспорт -чем меньше машин, тем безопасней пешеходу.

Реализация перечисленных мероприятий совместно с уже реализуемыми мероприятиями (государственный технический осмотр транспортных средств; внедрение акций стань заметней (фликеры); необходимость пристёгивания ремней безопасности для пассажиров на заднем сидении; обязательное использование детских автомобильных кресел; обязательное медицинское освидетельствование водителей; широкий доступ к информации о безопасном управлении транспортными средствами и безопасном поведении на дороге и т.д.) позволит снизить количество ДТП.

Литература

1. Исследование рынка перевозок по заказам в регионе / Т.В. Коновалова [и др.] // В сборнике: Международная научно-практическая конференция «Архитектура, строительство,

- транспорт» (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»). Сборник научных трудов № 8 кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте». ФГБОУ ВПО «СибАДИ», кафедра «ОПиУТ»; Ответственный за выпуск Е.Е. Витвицкий. – 2015. – С. 74–77.
2. Анализ методов прогнозирования интенсивности дорожного движения (на примере г. Краснодара) / Т.В. Коновалова [и др.] // В сборнике: Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2018. Материалы IV Международной научно-практической конференции в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие». – 2018. – С. 226–230.
 3. Особенности экономического прогнозирования пассажиропотоков (на примере Краснодарского края) / Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – № 1 (47). – С. 109–116.
 4. Проблемы взаимодействия различных видов пассажирского транспорта в городе / Т.В. Коновалова [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 12. – С. 133–139.
 5. Коновалова Т.В., Миронова М.П., Надирян С.Л. Расчет экономической эффективности международных перевозок в транспортно-технологических системах // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2018. – № 10. – С. 232–235.
 6. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н. Организационно-производственные структуры транспорта. – Краснодар, 2014.
 7. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н., Надирян С.Л. Способы оценки эффективности организации дорожного движения : учебное пособие. – Краснодар, 2018.
 8. Изюмский А.А., Коновалова Т.В., Надирян С.Л. Повышение эффективности функционирования транспортно-логистических систем через воздействие на финансовые потоки // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2017. – № 10. – С. 168–172.
 9. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Сенин И.С. Особенности информационного обеспечения деятельности автотранспортных предприятий по повышению безопасности движения // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 2. – С. 96–103.

References

1. Research of the market of order transportation in the region / T.V. Konovalova [et al.] // In the collection: International scientific-practical conference «Architecture, construction, transport" (to the 85-th anniversary of FSBEI VO «SibADI»). Collection of scientific papers № 8 of the department «Organization of transportation and management on transport». FGBOU VO «SibADI», Department «OPiUT»; Responsible for the issue E.E. Vitvitsky. – 2015. – P. 74–77.
2. Analysis of methods of forecasting traffic intensity (by the example of Krasnodar) / T.V. Konovalova [et al.] // In the collection: Scientific and technical aspects of the development of the road transport complex 2018. Proceedings of the IV International Scientific-Practical Conference within the framework of the Fourth International Scientific Forum of the Donetsk People's Republic «Innovative prospects of Donbass: Infrastructural and socio-economic development». – 2018. – P. 226–230.
3. Peculiarities of economic forecasting of passenger flows (on the example of Krasnodar region) / T.V. Konovalova [et al.] // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy. – 2016. – № 1 (47). – P. 109–116.
4. Problems of interaction of different types of passenger transport in the city / T.V. Konovalova [et al.] // Electronic network multidisciplinary journal «Scientific Proceedings of Kuban State Technical University». – 2015. – № 12. – P. 133–139.
5. Konovalova T.V., Mironova M.P., Nadiryans S.L. Calculation of economic efficiency of international transport in transport-technological systems // Humanities, socio-economic and social sciences. – 2018. – № 10. – P. 232–235.
6. Konovalova T.V., Kotenkova I.N. Organizational and production structures of transport. – Krasnodar, 2014.
7. Konovalova T.V., Kotenkova I.N., Nadiryans S.L. Ways to assess the effectiveness of the organization of road traffic : tutorial. – Krasnodar, 2018.
8. Izumskiy A.A., Konovalova T.V., Nadiryans S.L. Increasing the efficiency of transport and logistics systems through the impact on financial flows // Humanitarian, Socio-Economic and Social Sciences. – 2017. – № 10. – P. 168–172.
9. Konovalova T.V., Nadiryans S.L., Senin I.S. Features of information support of motor transport enterprises to improve traffic safety // Electronic network multimedia journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2015. – № 2. – P. 96–103.

УДК 656.073

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТНО-ГРУЗОВОЙ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ



FEATURES OF THE TRANSPORT AND CARGO SYSTEM FOR THE DELIVERY OF PERISHABLE GOODS

Коновалова Т.В.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Надирян С.Л.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Миронова М.П.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены особенности транспортно-грузовой системы доставки скоропортящихся грузов. Перевозка скоропортящихся грузов – ответственный процесс, требующий учёта множественных факторов, позволяющих обеспечить его сохранность. Транспортировка всегда сопряжена с рядом рисков, поскольку груз на всём её протяжении нуждается в создании вокруг себя особых условий, отвечающих стандартам его хранения.

Ключевые слова: автомобильные транспорт, транспортно-грузовая система, перевозка, скоропортящийся груз, транспортировка.

Konovalova T.V.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Nadiryan S.L.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Mironova M.P.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Annotation. The article discusses the features of the transport and cargo system for the delivery of perishable goods. Transportation of perishable goods is a responsible process that requires taking into account multiple factors to ensure its safety. Transportation is always associated with a number of risks, since the cargo throughout its entire length needs to create special conditions around it that meet the standards of its storage.

Keywords: automobile transport, transport and cargo system, transportation, perishable cargo, transportation.

Транспорт является важнейшим инфраструктурным элементом экономики любой страны. Во все времена его функция заключалась в обеспечении соединения материальных ресурсов в процессе воспроизводства и в создании условий их доступа на рынок реализации. Транспорт объединяет производителей, продавцов и покупателей. Доля транспорта в ВВП большинства стран колеблется в пределах 4–9 %, а в занятости – 3–8 %. Эти данные не включают индивидуальный и внутрифирменный транспорт, который увеличивает значение транспортных услуг (затрат) в экономике, особенно в случае значительной скрытности получаемых доходов. Как правило, доля ВВП понижается по мере увеличения национального дохода. При современных масштабах производства объем продукции в среднем на одного жителя достигает в развитых странах 20–25 т, а в целом по всему миру – около 10 т в год. В то же время каждая тонна общественной продукции суммарно в сфере производства, не считая технологических перевозок внутри предприятия, и в сфере обращения в среднем требует 860 т / км работы транспорта, включая международные морские перевозки и более 550 т / км – без их учета. Для анализа роли перевозок в экономическом развитии используется ряд показателей: соотношение ВВП и грузооборота, эластичность спроса на транспорт по отношению к доходу на душу населения и др. Соотношение ВВП и грузооборота (т / км) – наименьшее в промышленно развитых странах – на один доллар ВВП приходится примерно 2,4 т / км перемещения груза, в странах со средним уровнем развития – 2,8 т / км, в восточноевропейских государствах – 5,3 т / км. Примерно такое соотношение отмечается и в эластичности спроса. Различия в показателях, как видно, довольно значительны. Они означают, что равный экономический рост требует больших перевозок в менее развитых странах, чем в высоко развитых. Дело в

том, что в западных странах больше развита сфера услуг, которая не требует больших расстояний перевозок на единицу производства. Так, транспортные издержки в себестоимости продукции составляют в России от 15 % до 26 %, в то время, как странах Европы – всего 7–8 %. Из общей суммы затрат на организацию товародвижения в развитых странах наблюдается следующее соотношение по отдельным составляющим: транспортировка – 46 %; складирование – 26 %; поддержание товароматериальных запасов – 10 %; погрузка и выгрузка – 6 %; упаковка – 5 %; обработка документов – 3 %; административные расходы – 4 %. Различна роль транспорта в подсистемах мирового хозяйства при осуществлении внешнеторговых связей. Ее показателем выступает транспортная составляющая, которая представляет собой отношение фрахта к стоимости экспортируемых/импортируемых товаров. Транспортная составляющая активно влияет на развитие международной специализации и кооперирования производства. В том случае, когда величина дополнительных транспортных расходов превышает выгоды, получаемые от международной специализации и кооперирования производства, последнее становится неэффективным [1–3].

Транспортная система любой страны обеспечивает необходимые перевозки для функционирования экономики и жизнедеятельности общества. Перевозки – это не только доставка грузов и пассажиров определенным видом транспорта по определенному маршруту, указанному в договоре. Это – цепочка последовательных действий, которые должны обеспечить наиболее выгодные для заказчика условия по надежности и безопасности перемещения в любом направлении и в заранее оговоренные сроки.

Перевозка скоропортящихся грузов – ответственный процесс, требующий учёта множества факторов, позволяющих обеспечить его сохранность. Транспортировка всегда сопряжена с рядом рисков, поскольку груз на всём её протяжении нуждается в создании вокруг себя особых условий, отвечающих стандартам его хранения. Например, обеспечение подходящего температурного режима, контроль за уровнем влажности. Гарантировать их полное выполнение на протяжении всего пути – гораздо более сложная задача, чем поддержание тех же условий внутри обычных складских помещений. В этой связи, необходима качественная организация перевозки, предусматривающая непредвиденные обстоятельства и способная уберечь груз от их разрушительных воздействий [4]. Это предполагает грамотное применение технических средств, понимание особенностей их работы, в том числе возникающих во время транспортировки.

В связи со спецификой скоропортящихся товаров существуют определенные условия и правила их перевозки. Компании - перевозчики, при осуществлении перевозки должны установить соответствующую температуру в транспортных средствах, где будет происходить перевозка скоропортящихся продуктов. Свежие продукты или овощи можно перевозить летом, осенью и весной при температуре не ниже 0 градусов по Цельсию, но не более шести часов, при этом зелень можно перевозить в неспециализированном транспорте не более 3 часов. Все санитарные требования, предъявляемые к подвижному составу должны быть соблюдены.

Транспортные средства, предоставляемые перевозчиком должны быть оборудованы специальными устройствами для охлаждения летом и подогрева грузов зимой. Скоропортящиеся грузы должны быть упакованы согласно требованиям и перевозиться в исправной таре, пригодной для данного вида груза. Фрукты и овощи необходимо перевозить исключительно в таре. Все продукты нужно уложить так, чтобы они плотно прилегали друг к другу, но тем не менее они не должны биться или тереться о потолок ТС. Правилами перевозки скоропортящихся грузов, предусмотрены документы, которые необходимо иметь с собой перевозчику при транспортировке товаров. К ним относятся: транспортная накладная является главным документом, так как в ней указываются все необходимые условия для перевозки; путевой лист, договор заключенный с перевозчиком, фактура и свидетельство о качестве продукта [5].

Перевозка скоропортящихся продуктов в прямых смешанных сообщениях является наиболее экономичной и прогрессивной. На сегодняшний день существуют преимущественно железнодорожно-водные, автомобильно-водные и железнодорожно-автомобильные перевозки скоропортящихся грузов. При перевозках скоропортящихся грузов в прямом смешанном сообщении к документам обязательно прилагаются сертификаты или удостоверения качества. В этих документах кроме информации, описы-

вающей состояние перевозимых грузов, указывают сроки возможной транспортировки с учетом условий перевозки на конкретных видах транспорта [6–7]. При отсутствии таких документов или в случае невозможности доставить груз в срок, указанный в сертификатах, сторона, передающая груз к перевалке на другой вид транспорта, обязана вызвать представителя инспекции по качеству или эксперта и оформить передачу по вновь выданному сертификату или составленному акту экспертизы.

В Западной Европе и Японии широко используются изотермические контейнеры охлаждаемые навесными или встроенными; холодильно-отопительными агрегатами. Масса брутто таких контейнеров составляет от 5 до 30 т. Характерно, что высота и ширина всех контейнеров независимо от объема стандартизирована ISO и равны 2438 мм (8 футов). Крупнотоннажные контейнеры, предназначенные для перевозки пищевых продуктов, классифицируют по наличию источников холода, по типу применяемой системы охлаждения или отопления. В соответствии со стандартами ISO контейнеры проектируют для использования при наружных температурах от +45 до –45 °С. Система охлаждения (отопления) должна качественно функционировать при наружных температурах от +55 до –55 °С [8–9].

По происхождению скоропортящиеся грузы делят на продукты растительного (фрукты, ягоды, овощи, грибы и др.) и животного (мясо различных животных и птиц, рыба, икра, яйца, молоко и др.) происхождения, продукты переработки (жиры, молочные продукты, колбасные изделия и др.), а также живые растения (цветы, саженцы и др.).

Для каждого груза существует допустимый минимальный и максимальный температурный режим, при котором процесс нежелательных изменений качества замедляется, что особенно важно при длительных перевозках, характерных как для междугородных перевозок, так и для международного сообщения.

Под ЛХТ понимается такая транспортно-технологическая инфраструктура, где концентрируются следующие операции со скоропортящимися грузами: разгрузка завозимого на автотранспорте груза, упаковка, пакетирование, сортировка по заказам, маркировка, калибровка, холодильная обработка, лабораторные проверки и загрузка в рефрижераторы.

Эффективность холодильной обработки скоропортящихся грузов при доставке их на дальние расстояния очевидны, так как расход энергии тратится всегда больше при охлаждении груза в рефрижераторных вагонах, чем в стационарном режиме. Выполнено достаточно много научных разработок в этом направлении, в них предлагаются различные способы холодильной обработки (с углекислым газом, азотом, регулируемой газовой средой и т.п.). Применение пакетирования позволит уменьшить долю ручного труда по всей цепочке доставки. В настоящее время, при организации перевозок плодоовощной продукции от поля фермерских хозяйств до реализационных сетей при выполнении погрузочно-разгрузочных работ используется только ручной труд. Однако осуществление на практике вышеизложенных операций требует научно-обоснованных разработок по созданию ЛХТ.

Анализ выполненных теоретических исследований в области перевозок скоропортящихся грузов на автомобильном транспорте свидетельствует, что в большой степени на эффективную организацию перевозок данного вида груза негативно влияют погрузка плодоовощных грузов в изотермический транспорт в неохлажденном состоянии и низкая скорость доставки. Поэтому организация перевозки скоропортящихся грузов автомобильным транспортом с использованием холодильных терминалов и технология работы данного терминала с входящим и исходящим грузопотоком, определение параметров терминала вызывает актуальность проведения дополнительного исследования по совершенствованию структуры логистических цепей мелкопартионных поставок плод овощей путем концентрации грузопотоков в холодильных терминалах.

Литература

1. Исследование рынка перевозок по заказам в регионе / Т.В. Коновалова [и др.] // В сборнике: Международная научно-практическая конференция «Архитектура, строительство, транспорт» (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»). Сборник научных трудов № 8 кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте». ФГБОУ ВПО «СибАДИ», кафедра «ОПиУТ»; Ответственный за выпуск Е.Е. Витвицкий. – 2015. – С. 74–77.

2. Анализ методов прогнозирования интенсивности дорожного движения (на примере г. Краснодара) / Т.В. Коновалова [и др.] // В сборнике: Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2018. Материалы IV Международной научно-практической конференции в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие». – 2018. – С. 226–230.
3. Особенности экономического прогнозирования пассажиропотоков (на примере Краснодарского края) / Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – № 1 (47). – С. 109–116.
4. Проблемы взаимодействия различных видов пассажирского транспорта в городе / Т.В. Коновалова [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 12. – С. 133–139.
5. Коновалова Т.В., Миронова М.П., Надирян С.Л. Расчет экономической эффективности международных перевозок в транспортно-технологических системах // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2018. – № 10. – С. 232–235.
6. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н. Организационно-производственные структуры транспорта. – Краснодар, 2014.
7. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н., Надирян С.Л. Способы оценки эффективности организации дорожного движения : учебное пособие. – Краснодар, 2018.
8. Изюмский А.А., Коновалова Т.В., Надирян С.Л. Повышение эффективности функционирования транспортно-логистических систем через воздействие на финансовые потоки // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2017. – № 10. – С. 168–172.
9. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Сенин И.С. Особенности информационного обеспечения деятельности автотранспортных предприятий по повышению безопасности движения // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 2. – С. 96–103.

References

1. Research of the market of order transportation in the region / T.V. Konovalova [et al.] // In the collection: International scientific-practical conference «Architecture, construction, transport" (to the 85-th anniversary of FSBEI VO «SibADI»). Collection of scientific papers № 8 of the department «Organization of transportation and management on transport». FGBOU VO «SibADI», Department «OPiUT»; Responsible for the issue E.E. Vitvitsky. – 2015. – P. 74–77.
2. Analysis of methods of forecasting traffic intensity (by the example of Krasnodar) / T.V. Konovalova [et al.] // In the collection: Scientific and technical aspects of the development of the road transport complex 2018. Proceedings of the IV International Scientific-Practical Conference within the framework of the Fourth International Scientific Forum of the Donetsk People's Republic «Innovative prospects of Donbass: Infrastructural and socio-economic development». – 2018. – P. 226–230.
3. Peculiarities of economic forecasting of passenger flows (on the example of Krasnodar region) / T.V. Konovalova [et al.] // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy. – 2016. – № 1 (47). – P. 109–116.
4. Problems of interaction of different types of passenger transport in the city / T.V. Konovalova [et al.] // Electronic network multidisciplinary journal «Scientific Proceedings of Kuban State Technical University». – 2015. – № 12. – P. 133–139.
5. Konovalova T.V., Mironova M.P., Nadiryanyan S.L. Calculation of economic efficiency of international transport in transport-technological systems // Humanities, socio-economic and social sciences. – 2018. – № 10. – P. 232–235.
6. Konovalova T.V., Kotenkova I.N. Organizational and production structures of transport. – Krasnodar, 2014.
7. Konovalova T.V., Kotenkova I.N., Nadiryanyan S.L. Ways to assess the effectiveness of the organization of road traffic : tutorial. – Krasnodar, 2018.
8. Izumskiy A.A., Konovalova T.V., Nadiryanyan S.L. Increasing the efficiency of transport and logistics systems through the impact on financial flows // Humanitarian, Socio-Economic and Social Sciences. – 2017. – № 10. – P. 168–172.
9. Konovalova T.V., Nadiryanyan S.L., Senin I.S. Features of information support of motor transport enterprises to improve traffic safety // Electronic network multimedia journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2015. – № 2. – P. 96–103.

УДК 656.073

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
ПО УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА**



**ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF TRAFFIC MANAGEMENT
ON THE CITY'S ROAD NETWORK**

Коновалова Т.В.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Надирян С.Л.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Бурмантова А.Д.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы эффективности организации дорожного движения по улично-дорожной сети города. В наше время для многих Российских городов свойственно снижение пропускной способности транспортных сетей и перенасыщение транспортных сетей автотранспортом.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, безопасность, дорожное движение, аварийность, водитель, автомобильный транспорт.

Konovalova T.V.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Nadiryan S.L.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Burmantova A.D.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Annotation. The article deals with the issues of efficiency of traffic management on the city's road network. Nowadays, many Russian cities tend to reduce the capacity of transport networks and oversaturation of transport networks by road.

Keywords: road accident, safety, traffic, accident rate, driver, road transport.

В наше время для многих Российских городов свойственно снижение пропускной способности транспортных сетей и перенасыщение транспортных сетей автотранспортом. На примере улично-дорожной сети г. Краснодар, преимущественно в часы пик, замечена загруженность дорог автотранспортом, что собственно, ведет к сокращению обычной скорости движения автотранспорта и появлению заторов [1–3].

Главная причина перечисленных задач связана с увеличением значения оснащённости населения автомобилями и недостаточно быстрого развития улично-дорожной сети города. В следствии этого, одной из главных задач улучшения пассажироперевозок и увеличение значения организации дорожного движения (ОДД) является усовершенствование городской транспортной системы на основе осуществления систематических исследований и применения научного подхода.

Разумная ОДД позволяет предельно удовлетворить потребности населения в перевозках, сократить неблагоприятное воздействие транспортных средств на окружающую среду, уменьшить сроки доставки грузов и пассажиров, улучшить производительность работы транспорта и значение безопасности дорожного движения [4].

Использование многообразных методов ОДД действительно только при конкретных ситуациях, в следствии этого, до введения тех или иных мероприятий должен предшествовать полный анализ, который включает в себя: исследование количественных и качественных характеристик дорожного движения, дорожно-транспортных условий города, анализ ДТП и причины задержек транспортных средств и пешеходов.

Оценка эффективности ОДД по улично-дорожной сети города является исходным этапом разработки мероприятий по ОДД. На основании приобретенных данных выделяются менее целесообразные требованиям дорожного движения элементы улично-дорожной сети, определяются причины и характер данных неблагоприятных явлений и уже после того создаются и вводятся необходимые, аргументированные решения по их исключению. Этим объясняется необходимость и значимость данного анализа, как метода исследования [5–6].

1. Исходные данные, необходимые для анализа.

Исходная информация должна обеспечивать абсолютное описание текущего состояния дорожно-транспортных условий в городе. Источником служат расчетные данные, имеющие информацию об исследуемом городе, статистике и информации, полученной настоящей проверкой.

Применяемая информация относительно разделена на следующие пункты:

– Общая информация о городе. В данном случае приводится соответствующая информация: занимаемая площадь; климатические условия, численность населения; характеристика города, как регионального транспортного узла; топографические данные; общие экологические характеристики.

В качестве примера рассмотрена краткая характеристика г. Краснодар. Краснодар – город в Краснодарском крае РФ. Общая площадь – 339,31 км². Географическая широта: 45°02'. Географическая долгота: 38°59'. Высота над уровнем моря: от 19 до 32 метров. Образует муниципальное образование город Краснодар со статусом городского округа.

– Место расположения в Краснодарском крае – южная часть Прикубанской равнины, в долине реки Кубань (на правом, высоком берегу). Климат Краснодара – от мягко континентального к субтропическому климату.

– Численность населения 932 629 жителей (на 2020 год).

Через территорию Краснодара проходят автомобильные дороги федерального значения: автодорога М4 «Дон» Москва – Новороссийск; А146 дорога Краснодар – Новороссийск – Верхнебаканский; А147 дорога Краснодар – Джубга – Сочи – Адлер; А289 дорога Краснодар – Славянск-на-Кубани – Темрюк – автомобильная дорога А-290 Новороссийск – Керчь, а также автодороги регионального и местного значения.

В городе Краснодар имеется два автовокзала – Центральный и «Южный». Главный находится рядом с железнодорожной станцией Краснодар-1, через который осуществляется автобусное сообщение с другими населенными пунктами Краснодарского края и других субъектов Российской Федерации.

– Городской общественный транспорт города представлен автобусами средней и малой вместимости, маршрутными такси и такси.

Характеристика улично-дорожной сети города. К характеристике относятся: плотность УДС (общая и магистральная); общая протяженность, протяженность магистральной УДС; расположение и техническая характеристика мостов, путепроводов, железнодорожных переездов, внеуличных пешеходных переходов [7–9].

Характеристика ОДД. На схеме УДС требуется отметить расположение дорожных знаков, устанавливающих ограничения на направления движения или на ее элементах и расположение светофорных объектов.

2. Оценка состояния ОДД.

Следующим пунктом данного плана является – исследование ОДД, с целью приобретения информации, которая не могла быть приобретена в итоге анализа первичной информации. Исследуя анализ состояния ОДД на УДС города как одну из задач комплексного плана организации движения, то для оценки состояния ОДД используются следующие показатели: суммарный пробег ТС по УДС; затраты времени на движение по УДС; экологические характеристики (транспортный шум, выбросы в атмосферу) и другие.

Экономические характеристики оценки состояния ОДД. Более значимый критерий оценки состояния ОДД – транспортная работа УДС. Еще характеристика, применяемая для экономической оценки эффективности ОДД – суммарная задержка. Под суммарной задержкой понимается задержка всех транспортных средств за определенный промежуток времени в границах рассматриваемой УДС или ее участка.

Характеристики безопасности дорожного движения. Количественная оценка безопасности ОДД, используя суммарную конфликтную загрузку УДС, а также характеристика относительной аварийности.

Характеристики экологической безопасности. Характеристики экологического состояния окружающей среды являются: выбросы оксида углерода и окислов азота за единицу времени; эквивалентный степень транспортного шума на расстоянии 7,5 м от края проезжей части.

Характеристики устойчивости работы УДС. Устойчивость – свойство не сокращать свою пропускную способность в результате полного или частичного отказа отдельных ее составляющих. Для оценки устойчивости УДС разделяется на этапы, границами которых считаются перекрестки, где транспортные имеют возможность менять маршруты. Для каждого из элементов определяется коэффициент потерь при полном его отказе.

3. Критерии оценки состояния ОДД на отдельных элементах УДС.

Вид движения	Элемент улично-дорожной сети	Критерии оценки
1	2	3
Транспортные средства	Перегон дороги или улицы	Пропускная способность Скорость
	Развязки в разных уровнях	Пропускная способность
Транспортные средства	Кольцевые пересечения	Пропускная способность Длина очереди Средняя задержка Суммарная задержка
	Нерегулируемые пересечения	Пропускная способность Длина очереди Доля остановившихся транспортных средств Средняя задержка Суммарная задержка
	Регулируемые пересечения	Пропускная способность Длина очереди Доля остановившихся транспортных средств Средняя задержка Суммарная задержка
	Улично-дорожная сеть	Пропускная способность Время сообщения Количество остановок (при движении по сети) Суммарная задержка
Пешеходное	Тротуары	Пропускная способность Скорость Плотность пешеходного потока
	Нерегулируемые переходы	Средняя задержка Размер очереди (территория, занятая пешеходами)
	Регулируемые переходы	Пропускная способность Средняя задержка Размер очереди

Составленный план анализа определяет возможность получить предельно полное представление о состоянии дорожно-транспортных условий исследуемого города на сегодняшний день. В последующем полученная информация может быть использована для планирования ОДД, усовершенствования уже существующей ОДД, а также улучшения качества обслуживания и безопасности всех участников дорожного движения.

Литература

1. Исследование рынка перевозок по заказам в регионе / Т.В. Коновалова [и др.] // В сборнике: Международная научно-практическая конференция «Архитектура, строительство, транспорт» (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»). Сборник научных трудов № 8 кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте». ФГБОУ ВПО «СибАДИ», кафедра «ОПиУТ»; Ответственный за выпуск Е.Е. Витвицкий. – 2015. – С. 74–77.
2. Анализ методов прогнозирования интенсивности дорожного движения (на примере г. Краснодара) / Т.В. Коновалова [и др.] // В сборнике: Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2018. Материалы IV Международной научно-практической конференции в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие». – 2018. – С. 226–230.
3. Особенности экономического прогнозирования пассажиропотоков (на примере Краснодарского края) / Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – № 1 (47). – С. 109–116.

4. Проблемы взаимодействия различных видов пассажирского транспорта в городе / Т.В. Коновалова [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 12. – С. 133–139.
5. Коновалова Т.В., Миронова М.П., Надирян С.Л. Расчет экономической эффективности международных перевозок в транспортно-технологических системах // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2018. – № 10. – С. 232–235.
6. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н. Организационно-производственные структуры транспорта. – Краснодар, 2014.
7. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н., Надирян С.Л. Способы оценки эффективности организации дорожного движения : учебное пособие. – Краснодар, 2018.
8. Изюмский А.А., Коновалова Т.В., Надирян С.Л. Повышение эффективности функционирования транспортно-логистических систем через воздействие на финансовые потоки // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2017. – № 10. – С. 168–172.
9. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Сенин И.С. Особенности информационного обеспечения деятельности автотранспортных предприятий по повышению безопасности движения // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 2. – С. 96–103.

References

1. Research of the market of order transportation in the region / T.V. Konovalova [et al.] // In the collection: International scientific-practical conference «Architecture, construction, transport" (to the 85-th anniversary of FSBEI VO «SibADI»). Collection of scientific papers № 8 of the department «Organization of transportation and management on transport». FGBOU VO «SibADI», Department «OPIUT»; Responsible for the issue E.E. Vitvitsky. – 2015. – P. 74–77.
2. Analysis of methods of forecasting traffic intensity (by the example of Krasnodar) / T.V. Konovalova [et al.] // In the collection: Scientific and technical aspects of the development of the road transport complex 2018. Proceedings of the IV International Scientific-Practical Conference within the framework of the Fourth International Scientific Forum of the Donetsk People's Republic «Innovative prospects of Donbass: Infrastructural and socio-economic development». – 2018. – P. 226–230.
3. Peculiarities of economic forecasting of passenger flows (on the example of Krasnodar region) / T.V. Konovalova [et al.] // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy. – 2016. – № 1 (47). – P. 109–116.
4. Problems of interaction of different types of passenger transport in the city / T.V. Konovalova [et al.] // Electronic network multidisciplinary journal «Scientific Proceedings of Kuban State Technical University». – 2015. – № 12. – P. 133–139.
5. Konovalova T.V., Mironova M.P., Nadiryan S.L. Calculation of economic efficiency of international transport in transport-technological systems // Humanities, socio-economic and social sciences. – 2018. – № 10. – P. 232–235.
6. Konovalova T.V., Kotenkova I.N. Organizational and production structures of transport. – Krasnodar, 2014.
7. Konovalova T.V., Kotenkova I.N., Nadiryan S.L. Ways to assess the effectiveness of the organization of road traffic : tutorial. – Krasnodar, 2018.
8. Izumskiy A.A., Konovalova T.V., Nadiryan S.L. Increasing the efficiency of transport and logistics systems through the impact on financial flows // Humanitarian, Socio-Economic and Social Sciences. – 2017. – № 10. – P. 168–172.
9. Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Senin I.S. Features of information support of motor transport enterprises to improve traffic safety // Electronic network multimedia journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2015. – № 2. – P. 96–103.

**ВОЗМОЖНОСТИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ МЕТОДОЛОГИИ
НА ТРАНСПОРТЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ**



**OPPORTUNITIES FOR LOGISTICS METHODOLOGY OF TRANSPORT
IN THE KRASNODAR REGION**

Лотникова Диана Юрьевна

кандидат технических наук, доцент,
Кубанский государственный
технологический университет
diana.lotnikova@gmail.com

Lotnikova Diana Yurievna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Kuban State Technological University
diana.lotnikova@gmail.com

Аннотация. В крае создана нормативно-правовая база, позволяющая осуществлять государственное регулирование на рынке пассажирских транспортных услуг всех участников перевозочного процесса независимо от форм собственности, что хотя, и позволяет, но не в достаточной степени, обеспечить требуемый уровень качества обслуживания населения, особенно городских жителей. Малый бизнес, с учетом равноправных участников на рынке транспортных услуг и резком уменьшении подвижного состава в специализированных предприятиях из-за морального и физического старения, не может в полной степени решать проблему перевозок льготной категории пассажиров. В статье рассмотрены некоторые пути решения перевозок пассажиров льготной категории.

Annotation. In the region there is a legal framework that allows state regulation in the market of passenger transport services of all participants of the transportation process, regardless of ownership, which, although it allows, but not sufficiently, to ensure the required level of quality of service to the population, especially urban residents. Small businesses, in view of equal players on the market of transport services and sharp decrease of rolling stock in specialized enterprises due to the obsolescence and physical aging, can not fully solve the problem of transportation of privileged categories of passengers. The article considers some ways of solving the problem of transportation of passengers of privileged category.

Ключевые слова: транспорт, логистика, пассажирские перевозки, льготные категории, подвижной состав.

Keywords: transport, logistics, passenger transportation, preferential categories, rolling stock.

Обеспечение качественного уровня транспортного обслуживания населения (ТОН) тесно связано с эффективной работой пассажирского транспорта общего пользования, его техническим состоянием и потребным количеством подвижного состава.

На качество ТОН оказывает влияние транспортная подвижность. Транспортная подвижность населения как постоянно проживающих в крае, так и приезжего на курорт, лечение, отдых или с туристическими целями в Краснодарском крае связана, прежде всего, с провозными возможностями различных видов транспорта, особенно автомобильного, который используется в городском, пригородном, междугородном, международном сообщениях, а также для обслуживания туристов.

Анализ насыщенности подвижного состава (ПС) указывает на его рост в последние три года на 10,3 %. Так в крае сегодня 1,89 млн легковых автомобилей, 144,2 тыс. штук грузовых автомобилей и 69,5 тысяч автобусов, причем 96 % легковых автомобилей и 38,6 % автобусов принадлежит физическим лицам [1].

Такая автомобилизация населения естественно уменьшила объемы перевозок пассажиров общественным транспортом.

Вместе с тем, работа предприятий автомобильного и городского электротранспорта позволяет обеспечить необходимый объем социально значимых пассажирских перевозок в городах [2].

В крае создана нормативно-правовая база, позволяющая осуществлять государственное регулирование на рынке пассажирских транспортных услуг всех участников перевозочного процесса независимо от форм собственности, что хотя, и позволяет, но не в достаточной степени, обеспечить требуемый уровень качества обслуживания населения, особенно городских жителей.

Малый бизнес, с учетом равноправных участников на рынке транспортных услуг и резком уменьшении подвижного состава в специализированных предприятиях из-за

морального и физического старения, не может в полной степени решать проблему перевозок льготной категории пассажиров. Сдерживающим фактором дальнейшего повышения качества перевозок пассажиров являются [3]:

- все обостряющая конкуренция между водителями автобусов малой и особо большой и большой вместимости;
- отсутствие федерального закона по автобусному транспорту;
- несовершенные нормативно-правовые акты по качественному обслуживанию населения и пассажиров;
- нет четкости в действующем Положении пассажирских предприятий по адресному механизму перевозки пассажиров;
- существующая маршрутная сеть и графики движения подвижного состава требуют совершенствования, особенно в часы-пик и вечернее время.

Дорожные условия, особенно в городах, не соответствуют транспортным потокам из-за узких улиц и перенасыщенности автомобилями, которые движутся с низкими скоростями, задымляя все вокруг отработавшими газами при высокой температуре в летний период, что влияет на окружающую среду, усугубляя экологическую обстановку, которая особенно сказывается на быстром росте детской онкологии и скопление сгустков энергии которые образуют геопатогенные зоны [3].

Определенная возможность улучшения уровня транспортного обслуживания населения за счет использования эффективной системы управления пассажирским транспортом на территории края, представлена в принятом законе «О пассажирских перевозках автомобильным транспортом в Краснодарском крае» и постановлении главы администрации края «О совершенствовании системы организации пассажирских перевозок автомобильным транспортом».

Создана также краевая комиссия по регулированию рынка транспортных услуг, которая координирует вопросы организации международного, междугородных и пригородных (межрайонных) автомобильных пассажирских перевозок (утверждение маршрутной сети, открытие новых и закрытие нерентабельных маршрутов по заявкам органов местного самоуправления или перевозчиков, утверждение базовых предприятий ПАТП) [4, 5].

Аналогичные комиссии функционируют в каждом территориальном органе местного самоуправления. Кроме того, принят закон Краснодарского края «Об административных правонарушениях», в котором устанавливается ответственность пассажиров и перевозчиков за безбилетный проезд пассажиров и неоплаченный провоз багажа.

Несмотря на негативные стороны деятельности, ПАТП разрабатывают и внедряют в производство передовые формы и технологии перевозок пассажиров, ими взят курс на самовывживание за счет самообеспечения водой, электрической энергией, отоплением, топливом, перевода подвижного состава на альтернативные виды топлива (газовое топливо). Переходом только на газовое топливо позволяет сократить удельный вес ГСМ в себестоимости перевозки пассажиров до 25–30 % [6].

Использование компьютеризации в производстве, эксплуатации построенных диагностических центров, а также информационный контроль за работой автобусов на линии с передовой технологией (например, использование радионавигационной системы типа «Луч», обеспечивает снижение затрат на перевозки сохраняя квалификационные кадры.

Хорошая производительная база способствует не только высокому качеству проведения ТО и Р собственного подвижного состава, но и является привлекательной для других предприятий и предпринимателей, имеющих незначительное количество автомобилей нуждающихся в проведении технических осмотров и ремонтов на контрактной основе, что способствует получению дополнительных доходов от такой деятельности [7, 8].

Заключение договоров с крупными предприятиями-производителями, строительными организациями, на заказные и разовые перевозки повышают прибыльность ПАТП.

Всякая деятельность должна приносить прибыль предприятию, в том числе за счет компенсации по выпадающим доходам, так как действующие тарифы, особенно

на городских автобусных перевозках, не в полной степени покрывают затраты на их осуществление из-за их несвоевременности выплат и необоснованности. Дотации выплачиваются не в полной степени (выплаты обеспечиваются по отдельным городам края на 25–50 %), что ущемляет работников, занятых этими перевозками.

Годы рыночных реформ в экономике России и в частности для ПАТП края стали тяжелым испытанием всей транспортной деятельности из-за нарушения вертикали управления. Процесс акционирования авто-транспортных предприятий в условиях недостаточного финансирования с учетом передачи управляющих функций регионами и муниципальным образованиям, вызвало большую конкуренцию со стороны частных перевозчиков, доходы которых в 1,5–2 раза выше, чем в ПАТП, а уплачивают налоги в 3 раза меньше. И в этом направлении есть резерв улучшения своих показателей по доходности за счет принятия на себя функций организации и допуска на линию маршрутных такси на основе заключения соответствующих договоров.

Полученные дополнительные доходы могут быть направлены на приобретение новых автобусов по лизингу с привлечением заинтересованных предприятий и организации в их работе на дополнительных маршрутах.

Организация такой работы с частными предпринимателями по общим правилам с государственными предприятиями способствует обеспечению требуемой безопасности пассажирских перевозок. И в этом случае, как заказчик пассажирских перевозок, администрация городов и районов должна делегировать определенные полномочия по их организации действующим базовым автотранспортным предприятиям, которые обеспечивают диспетчерское, техническое и медицинское обслуживание, а также технологический контроль перевозочного процесса в целом на всей утвержденной транспортной сети. Администрации городов (районов) должны взять на себя права по открытию, изменению и закрытию маршрутов, устанавливать потребность в подвижном составе, а также контролировать работу перевозчиков.

Основными путями повышения эффективности транспортного обслуживания населения с целью более полного их удовлетворения являются:

- улучшения дорожных условий и снижение экологических воздействий на окружающую среду;
- обеспечение равноправных условий перевозок для предпринимателей, муниципальных и федеральных предприятий;
- организация маршрутных перевозок по квотам и на основе торгов;
- обеспечения исполнения Конституции РФ в том, что любой транспорт общего пользования (автобусы, маршрутные такси) обязаны перевозить пассажиров, имеющих льготы по законам РФ;
- обеспечение снижения статей затрат в общей структуре себестоимости перевозок пассажиров;
- создание и реализация современной законодательной базы деятельности пассажирского транспорта.

Необходимость устойчивого экономического развития городов и регионов выдвигает в число приоритетов повышения эффективности и качества функционирования автобусного транспорта, находящегося в введении муниципальных образований и предприятий, различных организационно-правовых форм, осуществляющих служебные перевозки [9].

Служебные перевозки пассажиров (СПП) собственными автобусами мало эффективны и не имеют конкретных преимуществ перед маршрутными перевозками, осуществляющим транспортом общего пользования. Автобусы, задействованные в служебных перевозках, работают только на подвозе (отвозе) своих рабочих и служащих в течении 3–4 часов, а остальное время простаивают. Их работа значительно увеличивает себестоимость выпускаемой основной продукции.

Изыскание возможностей использования служебного автобусного транспорта (САТ) в процессах транспортного обслуживания населения (ТОН) пассажирским автомобильным транспортом общего пользования (ПАТОП) на существующей маршрутной сети городов и его пригородных зон составляет одно из важнейших направлений повышения качества обслуживания пассажиров (КОП). Это необходимость вызвана зна-

чительным количеством причин низкой эффективности услуг населению (большие затраты времени на поездки, стесненность доставки, неуверенность в осуществлении поездки, высокие тарифы, низкая комфортабельность и безопасность перевозки и другое), отсутствием четко выраженных границ между ними, большим количеством взаимосвязей между производственно-экономическими факторами, а также неформализуемостью многих этих факторов и связей между ними.

Повышение эффективности использования служебного автобусного транспорта в процессах обслуживания населения автомобильным транспортом общего пользования с привлечением служебного транспорта обеспечивает значительное улучшение КОП на маршрутах

Транспортное обслуживание населения муниципальных образований Краснодарского края осуществляется по 670 городским автобусным маршрутам регулярного сообщения и 690 пригородным муниципальным маршрутам регулярного сообщения. В трёх городах Краснодарского края развита маршрутная сеть городского электрического транспорта: город Краснодар имеет трамвайные и троллейбусные маршруты; в городах Армавир, Новороссийск осуществляются троллейбусные перевозки пассажиров. Общая протяжённость маршрутной сети городского и пригородного пассажирского в муниципальных образованиях Краснодарского края составляет свыше 34 тыс. км, в том числе автобусных маршрутов городского сообщения – 10,4 тыс. км, автобусных маршрутов пригородного сообщения – 23,2 тыс. км, трамвайных линий – 124,0 км, троллейбусных линий – 263,8 км. Значительный объём перевозок пассажиров городским транспортом приходится на город Краснодар (краевой центр), где 72 % перевозок осуществляются электротранспортом (трамвай, троллейбус), а также на крупные города с численностью населения более 60 тысяч человек, такие как Анапа, Армавир, Геленджик, Кропоткин, Новороссийск, Сочи, Тихорецк. В других муниципальных районах Краснодарского края особо развита и преобладает перевозка пассажиров по автобусным маршрутам пригородного сообщения, которыми обеспечивается связь районных центров с городскими и сельскими поселениями внутри муниципальных районов края.

Особое значение в сфере перевозок автомобильным транспортом занимают междугородные автобусные перевозки регулярного сообщения, выполняемые 95 юридическими лицами, в том числе 12 государственными предприятиями (государственными унитарными предприятиями и хозяйствующими обществами, акции (доли) которых принадлежат Краснодарскому краю) и 356 индивидуальными предпринимателями без образования юридического лица.

Перевозка пассажиров осуществляется на 92 межмуниципальных пригородных маршрутах регулярного сообщения и на 219 межмуниципальных междугородных автобусных маршрутов. При этом государственными унитарными предприятиями и хозяйственными обществами, акции (доли) которых принадлежат Краснодарскому краю, обслуживается 88 межмуниципальных междугородных (40 %) и 27 межобластных автобусных маршрутов (30 %).

Из-за нехватки средств обновление парка автобусов осуществляется недостаточно быстро. Низкое состояние парка подвижного состава не позволяет в полной мере обеспечивать техническую готовность автомобильного пассажирского транспорта регулярного сообщения для выполнения сменно-суточных планов. Средний коэффициент выпуска автобусов на городские и пригородные маршруты составляет 0,63 при рекомендуемом показателе от 0,75 до 0,85. Поддержание в работоспособном состоянии и выпуск на линию изношенных транспортных средств требует повышенных эксплуатационных затрат, ухудшает экологическую обстановку в населённых пунктах Краснодарского края и снижает безопасность дорожного движения.

Преодоление данной ситуации возможно только путем приобретения необходимого для перевозок пассажиров подвижного состава, отвечающего требованиям безопасности и комфортности. Для этого необходимо использование возможностей краевого бюджета.

В целях повышения качества перевозок пассажиров департаментом по транспорту и связи Краснодарского края организовано приобретение по лизинговым схемам

автотранспортными предприятиями краевой формы собственности автобусов зарубежного производства, которые характеризуются в первую очередь разумным сочетанием цены и качества, а также топливной экономичностью и безопасностью. К таким относятся автобусы производства фирм «MAN», «MUDAN», «Hyundai», «Higer».

В Краснодарском крае развернута региональная система мониторинга транспортных средств. Закуплено и установлено серверное оборудование, программные средства, установлены средства спутниковой навигации на автобусах для мониторинга междугородных автобусных маршрутов, обслуживаемых государственными унитарными автопредприятиями Краснодарского края.

Создана также круглосуточная дежурная диспетчерская служба контроля междугородных пассажирских перевозок на базе государственного учреждения Краснодарского края «Кубаньтрансавто» для обеспечения мониторинга междугородных пассажирских перевозок автомобильным транспортом.

В условиях отставания федеральной нормативно-правовой базы от изменившихся условий хозяйствования в Краснодарском крае принят Закон о таксомоторных перевозках реализация основных положений которого направлена на повышение безопасности и качества таксомоторных перевозок.

Благодаря принятому закону в большинстве муниципальных образований значительное обновлен парк автомобилей, используемых в качестве легкового такси, и, соответственно, повысился уровень качества и безопасности пассажирских перевозок. В городах Анапа, Армавир, Ейск, Сочи количество легковых автомобилей, имеющих «возраст» с момента выпуска до 5 лет составляет более 66%.

На территории Краснодарского края работают около 140 таксомоторных организаций и более 2800 индивидуальных предпринимателей, получивших удостоверения соответствия – документ, удостоверяющий соответствие перевозчика требованиям осуществления безопасности пассажирских перевозок. Деятельность по приему и исполнению заказов осуществляют 254 службы заказа легкового такси. Перевозка пассажиров выполняется более 7300 автомобилями, соответствующими требованиям краевого закона.

В большинстве муниципальных образований края приняты нормативные правовые акты о порядке создания, эксплуатации, благоустройства и оборудования стоянок легковых такси. Уже организованы и эксплуатируются более 430 стоянок легкового такси.

Принятые в крае меры по упорядочению деятельности перевозчиков легкового такси позволили снизить количество хозяйствующих субъектов, работающих без разрешительных документов, и легализовать их деятельность, тем самым повысить качество предоставляемых услуг населению, уровень безопасности дорожного движения и объемы налоговых платежей во все уровни бюджетов.

В Краснодарском крае, как и в целом по Российской Федерации, структура автогрузовой отрасли претерпела значительные изменения - произошло явное перераспределение объема грузовых перевозок, ранее выполняемого специализированными автотранспортными предприятиями, к частным перевозчикам и индивидуальным предпринимателям, доля которых увеличилась до 80 %. Крупные специализированные автогрузовые предприятия не выдерживая конкуренцию с «частными» перевозчиками уходят с рынка, их подвижной состав практически не обновляется, износ достиг 80% и продолжает нарастать, структура же автомобильного парка порой не соответствует запросам грузоотправителей.

С целью создания условий для обновления перевозчиками подвижного состава оказывается содействие производителям автотранспортной техники и их дилерам по организации работы на территории Краснодарского края центров обслуживания и продаж грузовых автомобилей и автобусов.

В последние годы начали работу дилерские центры фирм SCANIA, IVECO, MAN. Для развития данного направления представители ведущих Российских и мировых производителей автотранспортной техники привлекаются к участию в крупных инвестиционных мероприятиях, например, таких как ежегодный международный инвестиционный Форум «Сочи». Анализ международных перевозок Краснодарского края показывает огромный бюджетный потенциал, который практически не используется по от-

ношению к транзитным международным перевозкам. По данным экспертов из общего объема грузов на внутрироссийских перевозках между Краснодарским краем и другими регионам России местные перевозчики перевозят лишь 20–25 %. На международных маршрутах этот показатель еще меньше и составляет 3 %. Немаловажной причиной этой ситуации также является несоответствие структуры грузового парка специализированных предприятий края потребностям грузоотправителей [10, 11].

В настоящее время сложилась следующая ситуация, общая как для региональных, так и для международных перевозок грузов:

- мелкие перевозчики при отсутствии крупных краевых экспедиторов не способны обслуживать большие грузопотоки, следовательно, грузовладельцы привлекают операторов из Москвы и Санкт-Петербурга, которые предпочитают работать со своими перевозчиками, что ведет к ослаблению и разорению местных перевозчиков – как следствие, увеличивается вывод финансовых средств в оплату услуг этих экспедиторов в другие регионы России, что приводит к снижению поступлений в краевую бюджет;

- произошла потеря рынка автогрузовых услуг Краснодарского края местными перевозчиками (их доля составляет не более 24 %), что привело к зависимости торгово-промышленного комплекса и экономики края от иногородних и иностранных транспортно-экспедиционных компаний;

- контроль и учет деятельности перевозчиков и экспедиторов со стороны государства по-прежнему неэффективны;

- недобросовестная конкуренция между перевозчиками приводит к демпингу цен, коррупции и общему снижению их доходов, что негативно отражается не только на бюджетной эффективности автогрузовой отрасли края и на поступлениях в бюджет от других секторов экономики, но и на самих перевозчиках.

В целях упорядочения работы и обеспечения безопасности в условиях увеличения движения грузового автотранспорта по территории Краснодарского края администрацией края разработаны предложения по решению проблемных вопросов транспортного комплекса.

Предложения предусматривают создание Единого диспетчерского центра транспортного сообщения Краснодарского края и организацию работы автоматизированной системы управления движения транспортом Краснодарского края с размещением 26 пунктов мониторинга на основных магистральных въездах и в крупных транспортных узлах региона с центральной информационно-аналитической службой автомобильных перевозок, расположенной в Краснодаре. Совместно с муниципальными образованиями запланированы мероприятия по выбору и выделению земельных участков для создания около 30 автомобильных терминалов.

Литература

1. Нагорный В.В., Крамаренко С.С. Влияние электромагнитных полей аномальных зон на безопасность дорожного движения // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2013. – Т. 6. – № 10 (113). – С. 75–77.
2. Кравченко Е.А., Нагорный В.В. Вопросы обеспечения безопасности на автомобильном транспорте // Автотранспортное предприятие. – 2011. – № 4. – С. 22–23.
3. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Нагорный В.В. Модели формирования эффективной логистической системы // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 3. – С. 359–362.
4. Нагорный В.В., Лотникова Д.Ю. Основные проблемы безопасности дорожного движения в городе Краснодаре за 2020 год // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 7. – С. 202–207.
5. Лотникова Д.Ю., Нагорный В.В. Проблемы функционирования систем транспорта России // В сборнике: Проблемы функционирования систем транспорта. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – 2020. – С. 412–413.
6. Служба ГИБДД, ГАИ, учебное пособие для вузов / В.В. Нагорный [и др.]. – 2011. – С. 447.
7. Мировая Экономика, учебное пособие / А.Б. Мельников [и др.]. – Краснодар, 2009.

8. Продовольственная безопасность – основа обеспечения экономической безопасности России / А.Б. Мельников [и др.] // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2012. – № 3. – С. 189–194.
9. Артемова Е.И., Белова Л.А. Приоритетные направления государственного регулирования АПК // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 1. – С. 99–110.
10. Нагорный В.В., Лотникова Д.Ю. Сфера безопасности общественного и индивидуального транспорта, на примере г. Краснодар // В сборнике : механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам третьей научно-практической конференции. – 2020. – С. 1160–1163.
11. Лотникова Д.Ю., Тимков А.В. Повышение эффективности логистических центров // В сборнике : механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам третьей научно-практической конференции. – 2020. – С. 1139–1141.

References

1. Nagorny V.V., Kramarenko S.S. Influence of electromagnetic fields of anomalous zones on road safety // Proceedings of the Volgograd State Technical University. Series: Ground Transportation Systems. – 2013. – Vol. 6. – № 10 (113). – P. 75–77.
2. Kravchenko E.A., Nagorny V.V. Issues of safety on road transport // Avtotransportnoe predpriyatie. – 2011. – № 4. – P. 22–23.
3. Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Nagorny V.V. Models of formation of an effective logistics system // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 3. – P. 359–362.
4. Nagorny V.V., Lotnikova D.Yu. Main problems of road safety in the city of Krasnodar in 2020 // Electronic network polytematicheskij journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2020. – № 7. – P. 202–207.
5. Lotnikova D.Y., Nagorny V.V. Problems of functioning of transport systems in Russia // In the collection: Problems of functioning of transport systems. Materials of All-Russian (National) scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University». – 2020. – P. 412–413.
6. GIBDD service, GAI, textbook for universities / V.V. Nagorny [et al.]. – 2011. – P. 447.
7. World Economy, textbook / A.B. Melnikov [et al.]. – Krasnodar, 2009.
8. Food security – the basis of economic security of Russia / A.B. Melnikov [et al.] // Humanities, socio-economic and social sciences. – 2012. – № 3. – P. 189–194.
9. Artemova E.I., Belova L.A. Priority directions of state regulation of the agroindustrial complex // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. – 2006. – № 1. – P. 99–110.
10. Nagorny V.V., Lotnikova D.Y. Sphere of safety of public and individual transport by the example of Krasnodar // In the collection: mechanics, equipment, materials and technologies. Electronic collection of scientific papers on the materials of the third scientific-practical conference. – 2020. – P. 1160–1163.
11. Lotnikova D. Yu., Timkov A.V. Increasing the Efficiency of Logistics Centers // In compilation: mechanics, equipment, materials and technologies. Electronic collection of scientific papers on the materials of the third scientific conference. – 2020. – P. 1139–1141.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ПЕРЕВОЗОК



ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF PRODUCTION ACTIVITY ON THE PROFITABILITY OF TRANSPORTATION

Лотникова Диана Юрьевна

кандидат технических наук, доцент,
Кубанский государственный
технологический университет
diana.lotnikova@gmail.com

Lotnikova Diana Yurievna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Kuban State Technological University
diana.lotnikova@gmail.com

Аннотация. Для автомобильного транспорта названная проблема имеет особое значение в виду имеющихся сложностей в управлении, а также специфичности отрасли. Кроме того, имеет место значительное рассредоточение клиентуры, а также обширная и часто меняющаяся номенклатура грузов, многочисленность одновременно обслуживаемых заказчиков, степень их платежеспособности, разномарочность подвижного состава, влияние сезонных факторов.

Ключевые слова: транспорт, логистика, пассажирские перевозки, подвижной состав, рентабельность перевозок.

Annotation. For road transport, this problem is particularly important because of the difficulties in management, as well as the specificity of the industry. In addition, there is a significant dispersion of customers, as well as an extensive and frequently changing range of cargo, the large number of simultaneously served customers, the degree of their solvency, the variety of rolling stock, the influence of seasonal factors.

Keywords: transport, logistics, passenger transportation, rolling stock, profitability of transportation.

Одной из наиболее актуальных проблем на автомобильном транспорте была и остается в настоящее время проблема управления эффективностью транспортного процесса, которая охватывает все стороны производственной, финансово-экономической и организационной деятельности компании.

К критериям оценки эффективной работы можно отнести достаточно широкий круг показателей. Традиционно к ним относят показатели рентабельности. Они характеризуют эффективность работы компании в целом, доходность различных направлений деятельности, а именно: производственной, финансовой, инвестиционной [1, 2]. Рентабельность более полно, чем прибыль, характеризует окончательные результаты хозяйствования, так как ее величина показывает соотношение эффекта с наличными или использованными ресурсами. Рентабельность отвечает и принципу сопоставимости, а значит, с ее помощью можно сравнивать результаты работы различных компаний. Однако в условиях рыночной экономики субъект рынка (предприятие) вправе самостоятельно отдавать предпочтение тому или иному критерию.

Принятие рациональных управленческих решений в отношении способов повышения эффективности производственно-хозяйственной деятельности должно основываться на маргинальном анализе показателей рентабельности. Именно с его помощью можно оценить как качественное, так и количественное влияние различных факторов на результативный показатель [3].

Для составления детерминированной факторной модели целесообразно использовать формулу рентабельности хозяйственной деятельности:

$$R = \Pi \div Z \cdot 100\%, \quad (1)$$

где R – рентабельность хозяйственной деятельности, %; Π – прибыль, руб.; Z – затраты на изготовления продукции, руб.

Методика анализа прибыли, применяемая на многих российских предприятиях, основана на выражении:

$$V_{\text{рп}} \text{ Ц} - Z, \quad (2)$$

где V_{rp} – объем реализованной продукции, ед.; Z – полная себестоимость перевозок грузов всеми марками подвижного состава, руб.; Π – цена единицы продукции, руб.

По данной методике уровень прибыли не зависит от объема продаж, так как с изменением последнего происходит равномерное увеличение прибыли и суммы затрат. В действительности, и прибыль, и издержки предприятия не изменяются пропорционально объему реализации, поскольку часть расходов является постоянной [4, 5].

Приведенная модель исходит из предположения, что все факторы изменяются сами по себе, независимо друг от друга. Такая модель не учитывает взаимосвязь объема производства продукции и ее себестоимости. Обычно при увеличении объема производства себестоимость единицы продукции снижается, так как возрастает только сумма переменных расходов, а сумма постоянных затрат остается без изменения. И наоборот, при спаде производства себестоимость продукции возрастает из-за того, что больше постоянных расходов приходится на единицу продукции. Поэтому для обеспечения системного подхода при изучении факторов изменения прибыли и прогнозирования ее величины используют следующую модель:

$$V_{rp} (\Pi - b) - A, \quad (3)$$

где b – переменные затраты на единицу продукции, руб.; A – постоянные затраты на весь объем продажной продукции, руб.

Для решения моделей в детерминированном анализе используются следующие способы: цепная подстановка, абсолютные и относительные разницы, пропорциональное деление, логарифмирование, интегральный, балансовый и другие способы. Наиболее универсальным из них является способ цепной подстановки. Создать детерминированную факторную систему – значит представить изучаемое явление в виде алгебраической суммы, частного или произведения нескольких факторов, определяющих его величину и находящихся с ним в функциональной зависимости, что и было сделано в формуле (3) [6].

Подставляя формулу (14) в выражение (12) получаем новую зависимость рентабельности перевозочной деятельности:

$$R = V_{rp} (\Pi - b) - A, \quad (4)$$

где R – рентабельность основной хозяйственной деятельности в целом по предприятию, %; Π – тариф на перевозку средний по предприятию, руб.; b – средний уровень переменных затрат на единицу продукции, руб.; A – уровень постоянных затрат, руб.

Используя формулы (4) можно определить влияние количества реализованной продукции, цены, уровня удельных переменных и суммы постоянных затрат на изменение величины резульативного показателя рентабельности (табл. 1).

Таблица 1 – Факторный анализ рентабельности

Фактор	Отклонение рентабельности основной хозяйственной деятельности, %
Объем перевозимых грузов	+1,215
Тариф на перевозку	+6,109
Уровень переменных затрат	-5,083
Сумма постоянных затрат	-3,311
Итого:	-1,069

Приведенный факторный анализ рентабельности перевозочной деятельности показал, что по отношению к 2019 году показатель автотранспортной организации снизился в 2020 году на 1,069 %. Наиболее отрицательное влияние оказал фактор переменных затрат. В результате увеличения переменных затрат на 5, 92 % уровень рен-

табельности снизился практически пропорционально на 0,83 %. Повышение уровня постоянных затрат на 12,61 % привело к снижению Рентабельности на 3,31 %. Повышение тарифов на услуги на 5,4 % частично компенсировало снижение рентабельности на 6,12 %. В результате увеличения объемов производства на 4,39 % рентабельность повысилась на 1,22 % [7].

Суммарное снижение рентабельности в 2020 году можно рассматривать как негативный фактор, когда в результате роста затрат предприятие недополучило прибыль. При проведении мероприятий, направленных на снижение переменных затрат, автотранспортная организация сможет повысить эффективность перевозочного процесса.

Таким образом, маржинальный анализ позволяет выявить именно те факторы, которые в наибольшей степени оказывают отрицательное влияние. В данном случае управленческое решение должно быть направлено на снижение переменных затрат (табл. 2, рис. 1).

В последнее время в муниципальных образованиях РФ наблюдается все большее несоответствие ПВА потребностями местного и приезжего населения в качественном обслуживании. В результате ухудшается КОП, увеличиваются расходы АТП, снижается безопасность перевозок и эффективности работы маршрутного транспорта в целом [8, 9].

Таблица 2 – Влияние уровня переменных затрат на рентабельность транспортного процесса

Уровень переменных затрат, руб./ед.	Темп снижения, %	Рентабельность, %
223,10	100	10,8
216,41	97	13,3
209,71	94	15,9
203,02	91	18,7
198,56	89	20,6

Эффективность управления ПВА и КОП КЗ зависят от многих взаимосвязанных факторов. Наиболее важным из них является нормативный уровень адекватности ПВА работающих на маршрутной сети потребностями населения в перевозках, обеспечивающий минимальные затраты времени на передвижения при соблюдении соответствующих нормативов повышение удобств и комфортности обслуживания пассажиров и безопасности движения при умеренных тарифах на проезд.

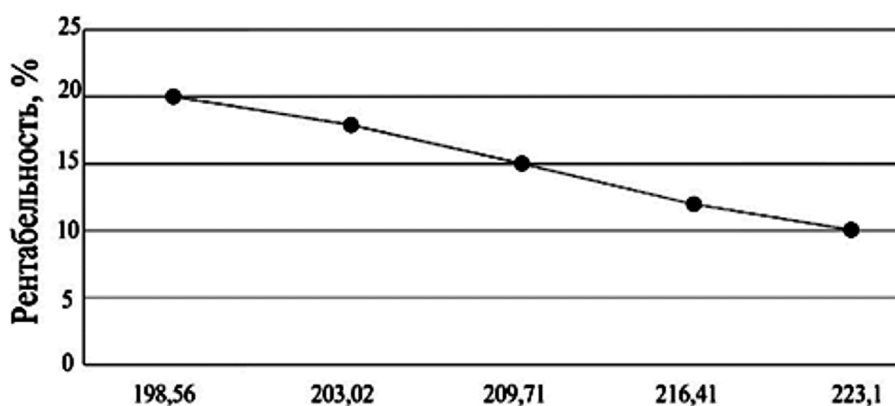


Рисунок 1 – Влияние уровня переменных затрат на рентабельность

Разработанная методология отражает методику управления и оценки ПВА и КОП КЗ. Применение их в практической деятельности дает возможность осуществить оценку и выбор наиболее эффективных вариантов перевозок пассажиров с позиции общества, предпринимательства и государства.

На основании реальных анализов литературных источников предложена система понятий и номенклатура нормативных показателей, определяющих ПВА и КОП, а также формализованы методики их определения с использованием ПЭВМ по специальной программе [10, 11].

Обоснована методология расчета потребностей в подвижном составе на перспективу с учетом существующих провозных способностей работающих автобусов, позволяющие осуществлять квотирование перевозок пассажиров по МО.

В результате экспериментальных расчетов по разработанной программе имитационного моделирования выявлены общие закономерности и зависимости технико-организационных показателей работы автотранспорта, определяющие ПВА и КОП в городах МО.

Обоснована интенсификация ПВА и качества обслуживания населения КЗ за счет: предоставления автобусам преимущественных условий движения на горных дорогах и интенсивным движением; введение скоростных режимов движения и специальных экскурсионных маршрутов повышение частоты и регулярности движения; создание при администрациях городов специальных организационных структур управления курортными перевозками; использования спутниковых радионавигационных систем управления типа «ЛУЧ».

Расчеты по проверке целесообразности использования технико-организационных и экономических форм и методов управления перевозочным процессом только в КЗ Краснодарского края дают возможность получить годовой экономический эффект на один работающий автобус в размере 23 тыс. рублей. Выявленные нормативные показатели социально экономического эффекта позволяют сократить общие затраты времени населения КЗ на передвижения от 2 до 8 %.

Литература

1. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Нагорный В.В. Модели формирования эффективной логистической системы // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 3. – С. 359–362.
2. Нагорный В.В., Крамаренко С.С. Влияние электромагнитных полей аномальных зон на безопасность дорожного движения // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2013. – Т. 6. – № 10 (113). – С. 75–77.
3. Кравченко Е.А., Нагорный В.В. Вопросы обеспечения безопасности на автомобильном транспорте // Автотранспортное предприятие. – 2011. – № 4. – С. 22–23.
4. Нагорный В.В., Лотникова Д.Ю. Основные проблемы безопасности дорожного движения в городе Краснодаре за 2020 год // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 7. – С. 202–207.
5. Лотникова Д.Ю., Нагорный В.В. Проблемы функционирования систем транспорта России // В сборнике: Проблемы функционирования систем транспорта. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – 2020. – С. 412–413.
6. Служба ГИБДД, ГАИ, учебное пособие для вузов / В.В. Нагорный [и др.]. – 2011. – С. 447.
7. Мировая Экономика, учебное пособие / А.Б. Мельников [и др.]. – Краснодар, 2009.
8. Продовольственная безопасность – основа обеспечения экономической безопасности России / А.Б. Мельников [и др.] // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2012. – № 3. – С. 189–194.
9. Артемова Е.И., Белова Л.А. Приоритетные направления государственного регулирования АПК // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 1. – С. 99–110.
10. Нагорный В.В., Лотникова Д.Ю. Сфера безопасности общественного и индивидуального транспорта, на примере г. Краснодар // В сборнике : механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам третьей научно-практической конференции. – 2020. – С. 1160–1163.
11. Лотникова Д.Ю., Тимков А.В. Повышение эффективности логистических центров // В сборнике : механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам третьей научно-практической конференции. – 2020. – С. 1139–1141.

References

1. Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Nagorny V.V. Models of formation of an effective logistics system // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 3. – P. 359–362.

2. Nagorny V.V., Kramarenko S.S. Influence of electromagnetic fields of anomalous zones on road safety // Proceedings of the Volgograd State Technical University. Series: Ground Transportation Systems. – 2013. – Vol. 6. – № 10 (113). – P. 75–77.
3. Kravchenko E.A., Nagorny V.V. Issues of safety on road transport // Avtotransportnoe predpriyatie. – 2011. – № 4. – P. 22–23.
4. Nagorny V.V., Lotnikova D.Yu. Main problems of road safety in the city of Krasnodar in 2020 // Electronic network polytematicheskiiy journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2020. – № 7. – P. 202–207.
5. Lotnikova D.Y., Nagorny V.V. Problems of functioning of transport systems in Russia // In the collection: Problems of functioning of transport systems. Materials of All-Russian (National) scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University». – 2020. – P. 412–413.
6. GIBDD service, GAI, textbook for universities / V.V. Nagorny [et al.]. – 2011. – P. 447.
7. World Economy, textbook / A.B. Melnikov [et al.]. – Krasnodar, 2009.
8. Food security – the basis of economic security of Russia / A.B. Melnikov [et al.] // Humanities, socio-economic and social sciences. – 2012. – № 3. – P. 189–194.
9. Artemova E.I., Belova L.A. Priority directions of state regulation of the agroindustrial complex // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. – 2006. – № 1. – P. 99–110.
10. Nagorny V.V., Lotnikova D.Y. Sphere of safety of public and individual transport by the example of Krasnodar // In the collection: mechanics, equipment, materials and technologies. Electronic collection of scientific papers on the materials of the third scientific-practical conference. – 2020. – P. 1160–1163.
11. Lotnikova D. Yu., Timkov A.V. Increasing the Efficiency of Logistics Centers // In compilation: mechanics, equipment, materials and technologies. Electronic collection of scientific papers on the materials of the third scientific conference. – 2020. – P. 1139–1141.

УДК 656

ФОРМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОВОЗНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ АВТОБУСОВ И КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПассаЖИРОВ



FORMS OF IMPROVING THE CAPACITY OF BUSES AND THE QUALITY OF PASSENGER SERVICE

Лотникова Диана Юрьевна

кандидат технических наук, доцент,
Кубанский государственный
технологический университет
diana.lotnikova@gmail.com

Аннотация. Городской пассажирский транспорт доставляет рабочих и служащих на производство, обеспечивает транспортное обслуживание. На сегодняшний день свыше трети парка автобусов по России требуют замены. Минтранс Российской Федерации изыскиваются дополнительные мощности по производству автобусов. Обновление идет за счет кредита мирового банка. Осваиваются и другие кредитные направления в части лизинга и привлечения средств субъектов Российской Федерации и зарубежных инвесторов для финансирования обновления городского транспорта.

Ключевые слова: экономика, автотранспортное предприятие, пассажирские перевозки, экология.

Lotnikova Diana Yurievna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Kuban State Technological University
diana.lotnikova@gmail.com

Annotation. Urban passenger transport delivers workers and employees to production facilities and provides transportation services. Today more than a third of the bus fleet in Russia needs to be replaced. The Ministry of Transport of the Russian Federation is seeking additional bus production capacity. The renewal is being done with the help of a World Bank loan. Other credit directions are mastered in terms of leasing and attraction of funds of the subjects of the Russian Federation and foreign investors to finance the renewal of urban transport.

Keywords: economics, motor transport enterprise, passenger transportation, ecology.

Транспорт является важным связующим звеном в экономике Российской Федерации, без которого невозможно нормальное функционирование ни одной отрасли хозяйства, ни одного региона страны.

Стабилизация ситуации в экономике, ее рост невозможны без решения основных проблем транспортного комплекса, в том числе пассажирского [1].

Повышение качества обслуживания пассажиров должно основываться на рационально развиваемой транспортной сети города, района области и ее изучения различными методами, что позволяет повысить корреспонденции и характер пассажиропотоков, транспортную подвижность населения, пересадочность и другие количественные показатели качества обслуживания населения в целом по городу или району с учетом работы различных видов пассажирского транспорта и установления рационального соотношения между нормативными показателями качества обслуживания пассажиров на маршрутах [2, 3, 4, 5].

На нормативные показатели качества перевозок оказывает большое влияние схема организации дорожного движения, диспетчерское управление ими, использование автоматизированных систем регулирования дорожным движением и управлением массового общественного пассажирского транспорта и др.

В условиях интенсивного роста объемов городских перевозок пассажиров, который опережает рост численности населения, наблюдается недостаточный уровень комфорта при перевозках, нарушается частота и регулярность движения, низкая скорость сообщений особенно при междугородних перевозках, малая плотность сети, создаются потенциальные возможности для снижения надежности работы отдельных узлов и агрегатов, ведущих к травматизму, резко увеличивается число случаев проездов без билетов. Все это снижает качество обслуживания населения и должно учитываться при определении норматива качества обслуживания пассажиров на маршруте [6, 7].

Повышение скорости сообщения и эксплуатационной скорости, которая оказывает основное влияние на качество обслуживания населения, может быть осуществлено за счет организации широкой сети экспрессных, скоростных и укороченных маршрутов (рейсов) для доставки пассажиров на работу и с работы. Экспрессная организация движения автобусов обеспечивает увеличение скорости сообщения в 1,2...1,5 раз по сравнению с обычным режимом работы движения. Граничные значения максимального интервала движения автобусов на линии зависят от времени поездки непосредственно в транспорте, т.е. скорости сообщения и затрат времени на прохождение пути пешком, т.е. скорости передвижения пассажиров.

Повышение качества обслуживания населения с учетом развития того или иного вида городского пассажирского транспорта (ГПТ) с минимальными транспортными затратами. Организационное обеспечение перевозочного процесса должно отвечать следующим принципам функциональной деятельности любого структурного подразделения, в котором имеются элементы [8]:

- Потребности населения.
- Управляющий орган.
- Управляющие сигналы.
- Блок сравнения.
- Программы.
- Управляемый объект (подвижной состав, АТП, субъект).
- Блок результатов деятельности (оценка качества обслуживания населения).
- Каналы внутрипроизводственных связей контроля показателей по провозным возможностям подвижного состава и качеству обслуживания пассажиров на маршрутах.

Принцип управляемости предложенной системы распространяется как на макроструктуру всей государственной системы, так и на структуру любой частной подсистемы, реализующей управляемую деятельность-нормативную, управленческую, информационную, научную, экспертную, перевозочную, ремонтную, контрольно-диагностическую, воспитательную.

Литература

1. Мировая Экономика, учебное пособие / А.Б. Мельников [и др.]. – Краснодар, 2009. – 404 с.
2. Нагорный В.В., Лотникова Д.Ю. Основные проблемы безопасности дорожного движения в городе Краснодаре за 2020 год // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 7. – С. 202–207.
3. Лотникова Д.Ю., Нагорный В.В. Проблемы функционирования систем транспорта России // В сборнике: Проблемы функционирования систем транспорта. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – 2020. – С. 412–413.
4. Лотникова Д.Ю., Нагорный В.В. Каршеринг в России и за рубежом // В сборнике: Проблемы функционирования систем транспорта. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – 2020. – С. 414–415.
5. Нагорный В.В., Лотникова Д.Ю. Сфера безопасности общественного и индивидуального транспорта, на примере г. Краснодар // В сборнике : механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам третьей научно-практической конференции. – 2020. – С. 1160–1163.
6. Лотникова Д.Ю., Тимков А.В. Повышение эффективности логистических центров // В сборнике : механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам третьей научно-практической конференции. – 2020. – С. 1139–1141.

References

1. World Economy, textbook / A.B. Melnikov [et al.]. – Krasnodar, 2009. – 404 p.
2. Nagorny V.V., Lotnikova D.Yu. Main problems of road safety in the city of Krasnodar in 2020 // Electronic network polytematicheskij journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2020. – № 7. – P. 202–207.

3. Lotnikova D.Y., Nagorny V.V. Problems of functioning of transport systems in Russia // In the collection: Problems of functioning of transport systems. Materials of All-Russian (National) scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University». – 2020. – P. 412–413.
4. Lotnikova D.Y., Nagorny V.V. Carsharing in Russia and abroad // In the collection: Problems of functioning of transport systems. Materials of All-Russian (National) scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University». – 2020. – P. 414–415.
5. Nagorny V.V., Lotnikova D.Y. Sphere of safety of public and individual transport by the example of Krasnodar // In the collection: mechanics, equipment, materials and technologies. Electronic collection of scientific papers on the materials of the third scientific-practical conference. – 2020. – P. 1160–1163.
6. Lotnikova D. Yu., Timkov A.V. Increasing the Efficiency of Logistics Centers // In compilation: mechanics, equipment, materials and technologies. Electronic collection of scientific papers on the materials of the third scientific conference. – 2020. – P. 1139–1141.

УДК 699.86

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАВЕСНОГО ВЕНТИЛИРУЕМОГО ФАСАДА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В РОССИИ



FEATURES OF THE APPLICATION OF THE VENTILATED FACADE IN THE RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN RUSSIA

Марковец Ольга Константиновна

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
markovets.olga@bk.ru

Катилевский Семен Игоревич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
ofdeat322@gmail.com

Аннотация. Объектом исследования данной публикации являются навесные вентилируемые фасады. В статье рассмотрены особенности применения навесных вентилируемых фасадов при реконструкции. Упомянуты характеристики и классификация, плюсы и минусы данного материала, основные проблемы, связанные с ним, способ монтажа. Рассмотрена степень распространенности на российском строительном рынке вентилируемого фасада. Особое внимание уделяется разновидности этого материала, его состав. В заключение проведен анализ полученных результатов.

Ключевые слова: строительство, реконструкция, навесные вентилируемые фасады, применение вентилируемых фасадов.

Markovets Olga Konstantinovna

Student,
Kuban State Technological University
markovets.olga@bk.ru

Katilevsky Semyon Igorevich

Student,
Kuban State Technological University
ofdeat322@gmail.com

Annotation. The object of research of this publication is suspended ventilated facades. The article discusses the features of the use of ventilated facades during reconstruction. The characteristics and classification, pros and cons of this material, the main problems associated with it, the method of installation are mentioned. The degree of prevalence of the ventilated facade in the Russian construction market is considered. Special attention is paid to the variety of this material, its composition. In conclusion, the analysis of the obtained results is carried out.

Keywords: construction, reconstruction, suspended ventilated facades, application of ventilated facades.

Д овольно часто при реконструкции фасада зданий применяют вентилируемые фасады. Данный метод универсален, его можно применять для реконструкции как жилых и общественных, так и для производственных зданий. Огромный ассортимент облицовочных панелей позволяет создать привлекательный вид сооружению и решить любую практическую задачу [2].

Навесной вентилируемый фасад – это совершенно новая система отделки внешних стен зданий, состоящая из монтируемых на каркас отделочных материалов. Данная система имеет такое название, потому что между строением и облицовочным слоем остается зазор с циркулирующим воздухом. Благодаря этому на стене не образуется конденсат, тем самым стена защищена от влаги [3].

В добавок такая система укрепляет здание, защищает от агрессивного воздействия окружающей среды и продляет срок эксплуатации.

Современные вентфасады – это довольно сложная, но универсальная система. Вторым критерием и наличием нескольких разновидностей крепления способствуют использовать данную систему как в частном строительстве, так и в общественном.

Преимущественно форма панелей вентфасадов является квадратной или прямоугольной, благодаря чему устанавливать их намного проще.

Вентилируемая панель бывает нескольких типов по виду облицовочного материала [5].

Керамогранит появился недавно на рынке облицовочных материалов. Он отлично копирует натуральные материалы, имея при этом хорошие эксплуатационные свой-

ства. Его изготавливают из двух видов глин – иллит и каолинит. Эти глины переплавляют с добавлением кварцевого песка и полевого шпата. Иллит обладает пластичностью, а каолинит – огнеупорностью, что создает материал с уникальными свойствами такими как: прочность, износостойчивость и негорючесть [6]. По сравнению с натуральным камнем его цена намного меньше, что добавляет ему больше преимуществ.

Натуральный камень по-прежнему не теряет своей популярности на рынке. В большинстве случаев используется гранит и мрамор. Но из-за большой стоимости его применяют в основном для зданий правительственного назначения и загородных особняков. Но затраты окупаются так как эти материалы поистине долговечны. Он обладает большой прочностью, износостойчивостью, влагорезистентностью, стойкостью к атмосферным влияниям и экологической чистотой [7].

Агломератная плитка – это искусственный камень, состоящий из смеси цементного раствора каменной крошки и разного размера. Этот материал сочетает в себе все достоинства натурального камня.

Большой популярностью в гражданском строительстве пользуются фиброцементные плиты из-за своей универсальности и доступности. В их основе лежит цемент с включением гидравлических добавок и армирующих волокон, улучшающих ее влагостойкость, прочность на сжатие и изгиб. Данный способ облицовки на сегодня считается самым экономичным [9].

Одними из самых долговечных плит являются алюминиевые, срок службы которых начинается от 50 лет и более. Панель состоит из двух листов алюминия, в середине которых располагается слой гидроксида алюминия со смолой или полиэтилена. Благодаря своему составу она не подвергается коррозии, погодным воздействиям и имеет небольшой вес.

Линейные панели – металлический сайдинг с закрытыми торцами. Панели изготавливаются в соответствии с размерами зданий. Их форма напоминает фасадные кассеты. Панели изготавливаются различного вида. Бывают закрытыми или открытыми торцами, с соединением в замок или без него, узкими, широкими или ступенчатыми.

Панели из ламината высокого давления изготавливаются методом прессования при высокой температуре из нескольких слоев бумаги или древесного волокна. Толщина панелей изменяется от 0,6 мм до 25 мм из-за количества слоев бумаги. Это один из самых дорогих материалов для отделки.

Установка навесного вентилируемого фасада происходит довольно быстро. Монтаж делится на три стадии. Первая заключается в установке несущего каркаса. Вначале определяют точки для размещения крепежных элементов. Каркас представляет собой ряд вертикальных несущих профилей, устанавливаются которые с помощью кронштейнов. В зависимости от используемого материала, чтобы снизить нагрузку на него применяют также горизонтальные профили [4].

Второй стадией является укладка изоляционного слоя – утеплителя. Главная задача его заключается в защите от влаги. Для этого утеплитель размещают во влагонепроницаемом мешке или покрывают мембранной пленкой. Закрепить его можно с помощью пластиковых дюбелей или просто приклеить. На третьей стадии происходит облицовка каркаса. Важно обратить внимание на весовую категорию материала и на его характеристики. Крепятся панели с помощью профилей и крепежных изделий.

Благодаря тому, что у вентфасадов число плюсов больше, чем минусов, он становится лидирующим типом отделки здания.

Его преимущества: разнообразие материалов; высокий уровень шумо- и теплоизоляции; экономия на отоплении здания; можно использовать для облицовки многоэтажных домов; долговечность; быстрый и локальный ремонт; легкость в уходе; пожаростойкость; защита от коррозии; устойчивость к негативным атмосферным изменениям.

В случае несоблюдения технологии монтажа плюсы оборачиваются минусами. Например, промахи при организации подсистемы отзываются свистом при ветре [8].

Основные проблемы данного вида отделки, приводящие к появлению 80 % первоначальных повреждений, являются некачественный монтаж, строительные материалы и ненадежность конструкции несущей подсистемы. В ходе использования навесных вентилируемых фасадов были выявлены основные ошибки, приводящие к дефектам.

Вот некоторые из них. При монтаже утеплителя: неплотно прилегают слои утеплителя; механические повреждения; необоснованное количество доборных элементов; некачественная отделка мест выхода кронштейнов.

При монтаже защиты от ветра и влаги недостатки могут возникнуть при неплотном прилегании ветровлагозащитной пленки к утеплителю.

На стадии монтажа: отсутствие прокладок, вызывающих контактную коррозию и теплопотери; установка панелей и плит без учета термических деформаций; работы при отсутствии проекта; выход ржавчины на облицовку; бесцельная герметизация рустов [11].

На сегодняшний день использование навесных вентилируемых фасадов при реконструкции в России начинает набирать обороты, в отличие от других стран, где их используют в большинстве случаев отделки зданий и сооружений. На территории РФ навесные вентилируемые фасады пользуются популярностью у архитекторов, строителей и заказчиков. Самыми популярными системами на российском рынке являются: Россия – Диат, Алкон Трейд (U-kon), Мосмек завод металлоконструкция (КТС), Техноком, Граниторгесс; Австрия – Slavonia (Spidi), Eurofox; Германия – Wagner-System.

Согласно исследованию, ранка вентфасадов в России, сделанного агентством маркетинговых исследований Research Group, преимущественная часть навесных вентилируемых фасадов в 2017 г. устанавливалась на жилых домах. На этот год объем рынка вентфасадов составил 20 млн м². Примерно 42 % пришлось на многоэтажные новые дома, а 8 % – реконструкция городского жилищного фонда. На российском рынке представлены вентилируемые фасады как импортного, так и отечественного производства [10].

На российском рынке появилась проблема, заключающаяся в отсутствии нормативной базы в сегменте навесных фасадных систем. Для устранения этой проблемы Минстрой РФ запланировал кардинальную актуализацию нормативного поля.

Таким образом, можно констатировать, что рынок навесных вентилируемых фасадов разнообразен, что положительно сказывается на реконструкции или строительстве зданий. Благодаря разнообразию облицовочных материалов данный вид отделки фасада может применяться при различных климатических условиях и назначениях зданий и сооружений [1].

Литература

1. Леонова А.Н., Курочка М.В. Методы повышения энергоэффективности зданий при реконструкции // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – № 7 (118). – С. 805–813.
2. Гамм М.В., Леонова А.Н. Основные параметры ресурсосбережения при реконструкции зданий // В сборнике: Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие». Октябрь 2017. Сборник избранных статей. – 2017. – С. 56–59.
3. Фурсина Ю.В., Иванова С.О., Леонова А.Н. Опыт реконструкции зданий в странах Европы и сравнение с реновацией в России // Бюллетень науки и практики. – 2019. – Т. 5. – № 5. – С. 241–246.
4. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Мониторинг энергоэффективных зданий // В сборнике: Строительство в прибрежных курортных регионах. материалы IX международной научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ; Сочинский государственный университет. – 2016. – С. 145–148.
5. Вербицкий Д.О., Леонова А.Н. Энергоэффективность при строительстве и реконструкции зданий // В сборнике статей Международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Институт строительства и транспортной инфраструктуры; ФГБОУ ВО «КубГТУ»; Международный центр инновационных исследований «OMEGA SCIENCE». – 2017. – С. 32–37.
6. Леонова А.Н. Достоинства и недостатки применения навесных вентилируемых фасадных систем при реконструкции зданий в курортных регионах // В сборнике: Строительство в прибрежных курортных регионах. Материалы 7-й международной научно-практической конференции. – 2012. – С. 68–71.
7. Леонова А.Н., Сорокина Е.Н. Конструктивное преимущество и эффективная функциональность энергосберегающих фасадов при реконструкции зданий // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2018. – № 9. – С. 206–215.
8. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Значение теплопереноса как свойство строительных конструкций в зданиях и сооружениях // Перспективы науки. – 2016. – № 9 (84). – С. 39–43.

9. Калкан С.Н., Леонова А.Н. Особенности современных подходов при реконструкции фасадов жилых зданий // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – С. 314–316.
10. URL : <https://drgroup.ru/press-relizy/1668-analiz-rynka-ventiliruemykh-fasadov-v-rossii.html> (дата обращения 04.04.2021 г.)
11. Грудачев В.Г., Петрова И.В. «Навесные вентилируемые фасадные системы гражданских зданий» // Учебное пособие Редакционно-издательский отдел ЧПИ МГОУ Чебоксары 2010. – URL : <http://diss.seluk.ru/m-tehnicheskije/1100386-1-vg-grudachev-petrova-navesnie-ventiliruemie-fasadnie-sistemi-grazhdanskih-zdaniy-uchebnoe-posobie-redakcionno-izdatelskiy-otdel-ch.php> (дата обращения 05.04.2021 г.)

References

1. Leonova A.N., Kurochka M.V. Methods to improve energy efficiency of buildings during reconstruction // MSCU Bulletin. – 2018. – Vol. 13. – № 7 (118). – P. 805–813.
2. Gamm M.V., Leonova A.N. Main parameters of resource-saving in the reconstruction of buildings // In the collection: Proceedings of the conference SNII «National Development». October 2017. Collection of selected articles. – 2017. – P. 56–59.
3. Fursina Y.V., Ivanova S.O., Leonova A.N. Experience in building renovation in European countries and comparison with renovation in Russia // Bulletin of Science and Practice. – 2019. – Vol. 5. – № 5. – P. 241–246.
4. Karpanina E.N., Leonova A.N. Monitoring of energy-efficient buildings // In the collection: Construction in coastal resort regions. materials IX international scientific and practical conference. Ministry of Education and Science of the Russian Federation; Sochi State University. – 2016. – P. 145–148.
5. Verbitsky D.O., Leonova A.N. Energy efficiency in the construction and reconstruction of buildings // In the collection of articles of the International Scientific-Practical Conference. FGBOU VO «Kuban State Technological University», Institute of Construction and Transport Infrastructure; FGBOU VO «KubGTU»; International Center for Innovative Research «OMEGA SCIENCE». – 2017. – P. 32–37.
6. Leonova A.N. Advantages and disadvantages of using hinged ventilated facade systems in the reconstruction of buildings in resort areas // In the collection: Construction in coastal resort regions. Materials of the 7th International Scientific and Practical Conference. – 2012. – P. 68–71.
7. Leonova A.N., Sorokina E.N. Structural advantage and effective functionality of energy-saving facades in the reconstruction of buildings // Electronic network journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2018. – № 9. – P. 206–215.
8. Karpanina E.N., Leonova A.N. Value of heat transfer as a property of building constructions in buildings and structures // Perspectives of Science. – 2016. – № 9 (84). – P. 39–43.
9. Kalkan S.N., Leonova A.N. Features of modern approaches to the reconstruction of the facades of residential buildings // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 1. – P. 314–316.
10. URL : <https://drgroup.ru/press-relizy/1668-analiz-rynka-ventiliruemykh-fasadov-v-rossii.html> (accessed 04.04.2021)
11. Grudachev V.G., Petrova I.V. «Hinged ventilated facade systems of civil buildings» // Manual Editorial and Publishing Department of Cheboksary MSU Cheboksary 2010. – URL : <http://diss.seluk.ru/m-tehnicheskije/1100386-1-vg-grudachev-petrova-navesnie-ventiliruemie-fasadnie-sistemi-grazhdanskih-zdaniy-uchebnoe-posobie-redakcionno-izdatelskiy-otdel-ch.php> (accessed 05.04.2021).

УДК 69.07

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ
◆◆◆◆
WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS

Пальянова Анастасия Владиленовна

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
nasya.palyanova@bk.ru

Хейшхо Асет Борисовна

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
akheyshkho@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются способы повышения энергетической эффективности ограждающих конструкций зданий и сооружений. Приведены традиционные и современные энергосберегающие системы и их особенности.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, тепловые потери, теплоизоляция.

Palyanova Anastasia Vladimirovna

Student,
Kuban State Technological University
nasya.palyanova@bk.ru

Kheyshkho Aset Borisovna

Student,
Kuban State Technological University
akheyshkho@mail.ru

Annotation. This article considers the ways to increase energy efficiency of building envelopes and constructions. Traditional and modern energy-saving systems and their peculiarities are given.

Keywords: energy efficiency, energy saving, heat losses, heat insulation.

Н а сегодняшний день очень актуальна тема повышения энергетической эффективности зданий и сооружений. Рациональное потребление энергетических ресурсов приводит к снижению их потерь, значительной экономии средств, а также повышает качество и комфорт жилья.

К традиционным методам по повышению энергоэффективности относится утепление наружных ограждающих конструкций. Чтобы уменьшить теплопотери, необходимо использовать современные теплоизоляционные материалы. Например, пеностекло обладает высокими показателями теплоизоляции, прочное, водостойкое, не горит и не боится перепадов температур.

Легкие пористые материалы дают возможность сохранить тепло и уменьшить энергетические затраты.

Другим способом уменьшения тепловых потерь является увеличение теплоизолирующей способности окна. Как известно, через окна здания могут терять до 40 % тепла, поэтому необходимо применять современные окна с трехслойным остеклением и наносить теплоотражающее покрытие.

Выбор размера и формы здания или сооружения также может способствовать энергосбережению. При увеличении ширины здания, общая площадь ограждающих конструкций уменьшается. Таким образом, снижаются потери тепла через ограждающие конструкции и удельные строительные затраты.

В выборе формы нужно отдавать предпочтение зданию с минимальным количеством наружных углов [3] для того, чтобы понизить теплоотдачу.

К способам повышения энергоэффективности также относится применение вентилируемых фасадов. Минимизация потерь тепла происходит за счет удаления избыточной влаги при естественной циркуляции воздуха в зазоре между наружной обшивкой и влагозащитной мембраной.

Для энергосбережения реконструируемого здания иногда целесообразно применение солнечных батарей. Энергия от батарей будет поступать на снабжение здания.

При усовершенствовании систем отопления и вентиляции здания также повышается его энергоэффективность. К основным методам можно отнести устройство крышных газовых котельных, установка индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) с

пластинчатыми теплообменниками для систем отопления и горячего водоснабжения здания, установка на каждом отопительном приборе терморегуляторов для поддержания постоянной температуры в помещении на заданном уровне [2].

Снижение затрат на подачу и отвод холодной воды достигается за счет использования современных материалов и технологий. К преимуществам использования ПВХ труб относятся: химическая стойкость, высокая термостойкость, ударопрочность, износостойкость, высокая проницаемость, долговечность, малый вес, простота монтажа, герметичность, а также наличие широкого спектра фитингов. В соответствии с вышеизложенным, использование новых материалов, арматуры и сантехники (унитазы с экономичным сливным баком) приводит к снижению потерь воды при эксплуатации объекта.

В современных условиях все большее значение приобретает поиск новых инженерно-технических решений по организации и конструктивного внедрения систем обеспечения микроклимата в жилых и общественных зданиях с целью снижения энергопотребления. Большинство технологических процессов, работа многих механизмов и систем связана с выделением большого количества тепловой энергии [1], которая не используется, а теряется в окружающей среде и называется «сбросное тепло».

К данному виду конструкций относятся предложенные авторами статьи энерго-сберегающие системы дополнительной теплоизоляции стен при строительстве и реконструкции зданий. Такие системы направлены на снижение теплопотребления помещения по толщине стен при установке теплоизоляционных панелей внутри помещения или для защиты стен от негативных атмосферных процессов при установке панелей с наружной стороны. Принцип работы предлагаемой конструкции заключается в поддержании заданных теплоизоляционных свойств панелей в изменяющихся погодноклиматических условиях при длительной эксплуатации путем устранения забивания полостей криволинейных канавок загрузками в виде мелкодисперсных твердых и каплеобразных частиц [3]. Это достигается за счет обеспечения максимально быстрого спуска в полостях, что не позволяет им расширяться и коагулировать, тем самым ограничивая криволинейные канавки в процессе перехода в тыльную плоскость листов панели пылевых частиц и каплеобразной влаги.

Технический результат достигается тем, что панель для дополнительной теплоизоляции стен содержит листы, образующие при этом криволинейные канавки, касательная которых имеет направление по ходу часовой стрелки и криволинейные канавки, касательная которых имеет направление против хода часовой стрелки, выполнена с кривизной по линии циклоиды как брахистохроны.

Повышение энергетической эффективности ограждающих конструкций путем рекуперации тепла можно использовать как в строящихся зданиях, так и при реконструкции. Основной принцип работы системы по рекуперации трансмиссионного тепла (путем теплопередачи и конвекции) и радиационного тепла (тепловое излучение) состоит в организации условий поступления потока наружного воздуха и его дальнейшем прохождении через ограждающую конструкцию, а также отражения тепла через специальный экран (автономный или в виде покрывающих слоев). В воздушном зазоре на входе в воздушный поток образуется завеса, состоящая из холодного поступающего воздуха, охлаждающая поверхности, слои, теплоотражающие экраны и гибкие связи. Снаружи здание охлаждается, теряющееся ранее тепло передается поступающему воздуху, который будучи уже нагретым, используется для вентиляции в нормируемом объеме (или большем), без зоны дискомфорта, что повышает комфортность микроклимата и позволяет интенсивно проветривать помещение в присутствии людей [5].

Таким образом, в настоящее время существует множество материалов, различных систем и устройств, способных повысить энергоэффективность зданий и в то же время сократить количество потребляемых топливно-энергетических ресурсов.

Литература

1. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность : Монография. – 2014. – С. 172–187.
2. Кувшинов Ю.Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий : Монография. – 2010. – С. 271–279.

3. Королев Д.Ю., Семенов В.Н. Современные методы повышения тепловой защиты зданий // Молодой ученый. – 2010. – № 3. – С. 26–29.
4. Горшков А.С., Гладких А.А. Мероприятия по повышению энергоэффективности в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 246–250.
5. Система активного энергосбережения с рекуперацией тепла / Т.А. Ахмяров [и др.] // Энергосбережение. – 2013. – № 4. – С. 36–46.
6. Лапина О.А., Лапина А.П. Энергоэффективные технологии // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 1. – Ч. 2.
7. Вербицкий Д.О., Леонова А.Н. Энергоэффективность при строительстве и реконструкции зданий // Экологические, инженерно-экономические, правовые и управленческие аспекты развития строительства и транспортной инфраструктуры. – 2017.
8. СП 60.13330.2016 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23.02.2003.
9. Леонова А.Н., Сорокина Е.Н. Конструктивное преимущество и эффективная функциональность энергосберегающих фасадов при реконструкции зданий // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2018. – № 9. – С. 206–215.
10. Леонова А.Н., Курочка М.В. Методы повышения энергоэффективности зданий при реконструкции // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – № 7 (118). – С. 805–813.
11. Гамм М.В., Леонова А.Н. Основные параметры ресурсосбережения при реконструкции зданий // В сборнике: Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие». Октябрь 2017. Сборник избранных статей. – 2017. – С. 56–59.
12. Energy performance and energy saving of life-support systems in educational institution / A.N. Volkov [et al.] // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 9. – № 2. – P. 931–944.
13. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Мониторинг энергоэффективных зданий // В сборнике: Строительство в прибрежных курортных регионах. Материалы IX международной научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ; Сочинский государственный университет. – 2016. – С. 145–148.
14. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Значение теплопереноса как свойство строительных конструкций в зданиях и сооружениях // Перспективы науки. – 2016. – № 9 (84). – С. 39–43.
15. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Некоторые аспекты использования конструкционных бетонов в каркасах энергоэффективных зданий // Экологические, инженерно-экономические, правовые и управленческие аспекты развития строительства и транспортной инфраструктуры. Международный центр инновационных исследований «OMEGA SCIENCE». – 2017. – С. 119–122.

References

1. Samarin O.D. Thermophysics. Energy saving. Energy efficiency : Monograph. – 2014. – P. 172–187.
2. Kuvshinov Yu.Ya. Energy saving in the system of microclimate of buildings : Monograph. – 2010. – P. 271–279.
3. Korolev, D.Y.; Semenov, V.N. Modern Methods to Increase Thermal Protection of Buildings (in Russian) // Young Scientist. – 2010. – № 3. – P. 26–29.
4. Gorshkov, A.S.; Gladkikh, A.A. Measures to improve energy efficiency in construction (in Russian) // Academia. Architecture and Construction. – 2010. – № 3. – P. 246–250.
5. System of active energy saving with heat recovery / T.A. Akhmyarov [et al.] // Energy Saving. – 2013. – № 4. – P. 36–46.
6. Lapina O.A., Lapina A.P. Energy Efficient Technologies // Engineering Herald of the Don. – 2015. – № 1. – Part 2.
7. Verbitsky D.O., Leonova A.N. Energy efficiency in the construction and reconstruction of buildings // Environmental, engineering, economic, legal and managerial aspects of the development of construction and transport infrastructure. – 2017.
8. SP 60.13330.2016 «Thermal protection of buildings». Updated edition of SNiP 23.02.2003.
9. Leonova A.N., Sorokina E.N. Structural advantage and effective functionality of energy-efficient facades in the reconstruction of buildings // Electronic network polytheme journal «Scientific Proceedings of KubGTU». – 2018. – № 9. – P. 206–215.
10. Leonova A.N., Kurochka M.V. Methods to increase the energy efficiency of buildings during reconstruction // Bulletin of MSCU. – 2018. – Vol. 13. – № 7 (118). – P. 805–813.
11. Gamm MV, Leonova AN The main parameters of resource saving in the reconstruction of buildings // In the collection: Proceedings of the conference SNiI «Natsrazvitie». October 2017. Collection of selected articles. – 2017. – P. 56–59.

12. Energy performance and energy saving of life-support systems in educational institution / A.N. Volkov [et al.] // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 9. – № 2. – P. 931–944.
13. Karpanina E.N., Leonova A.N. Monitoring of energy-efficient buildings // In the collection: Construction in coastal resort regions. Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference. Ministry of Education and Science of the Russian Federation; Sochi State University. – 2016. – P. 145–148.
14. Karpanina E.N., Leonova A.N. The importance of heat transfer as a property of building structures in buildings and structures // Perspectives of Science. – 2016. – № 9 (84). – P. 39–43.
15. Karpanina E.N., Leonova A.N. Some aspects of the use of structural concretes in the frames of energy-efficient buildings // Environmental, engineering-economic, legal and management aspects of the development of construction and transport infrastructure. International Center for Innovative Research «OMEGA SCIENCE». – 2017. – P. 119–122.

УДК 69.07

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ



IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF RESIDENTIAL APARTMENT BUILDINGS

Пенькова Арина Анатольевна

студент
института строительства и
транспортной инфраструктуры,
Кубанский государственный
технологический университет
arisha_99@mail.ru

Аннотация. Растущее потребление энергоресурсов ведет к увеличению их стоимости и ухудшению экологического состояния окружающей среды. Особую остроту вопросы энергопотребления приобретают при ремонте и реконструкции старого жилого фонда, который на сегодняшний день имеет значительный моральный и физический износ. В данной статье рассмотрена проблема повышения энергоэффективности многоквартирных жилых домов. Проанализированы и исследованы методы и мероприятия по повышению их энергоэффективности.

Ключевые слова: энергоэффективность, реконструкция, жилые дома, энергия, многоквартирный дом.

Penkova Arina Anatolievna

Student,
Institute of Construction and
Transport Infrastructure,
Kuban State Technological University
arisha_99@mail.ru

Annotation. The growing consumption of energy resources leads to increase in their quality and deterioration of the ecological state of the environment. Energy consumption issues become especially acute during the repair and reconstruction of the old housing stock, which today has significant moral and physical deterioration. This article discusses the problem of improving the energy efficiency of apartment buildings. Methods and measures to improve their energy efficiency have been analyzed and investigated.

Keywords: energy efficiency, reconstruction, residential buildings, energy, apartment building.

Энергоэффективность – это показатель рационального использования энергетических ресурсов в процессе эксплуатации объектов. То есть, чем меньше многоквартирный жилой дом тратит электричества и тепла, тем выше его энергоэффективность.

В настоящее время более 80-ти % жилого фонда нашей страны не отвечают современным требованиям, предъявляемым к энергоэффективности, большая часть домов построена по уже устаревшим строительным нормам и характеризуется малоэффективным ресурсопотреблением. Так, стандартная многоэтажка, которая была построена до 1999–2000-х годов, потребляет тепловой энергии на 70 % больше, чем аналогичное здание, которое было построено уже после 2000-х, а с учётом его срока эксплуатации, давно уже нуждается в проведении капитального ремонта.

Эту проблему можно рассматривать с двух разных сторон. Это постройка новых домов, оборудованных системой автоматизации распределения потребления энергии или же повышение энергоэффективности уже построенных и введенных в эксплуатацию многоквартирных жилых домов. Наиболее перспективным является второй способ.

При объединении двух задач – капитальный ремонт и повышение энергоэффективности многоквартирных жилых домов, можно не только восстановить проектные характеристики зданий, которые со временем изменились в худшую сторону, но и привести их к соответствию современным стандартам рационального целесообразного потребления коммунальных ресурсов. Благодаря этому можно не только повысить качество жизни живущих в квартирах людей, но и увеличить рыночную стоимость квартир и коммерческих помещений в домах на вторичном рынке недвижимости.

Рассматривая проблему энергоэффективности в жилых многоквартирных домах, необходимо понимать, что для реализации данной программы необходимо пройти 2 этапа.

Первый этап – это учет воды, тепловой энергии, электроэнергии на источниках тепла, а так же у потребителей этих энергоресурсов. Учет сам по себе не дает никакой экономии, но, в то же время, он представляет собой инструмент экономии.

Второй этап – это создание и поддержание мотивации для всех участников рыночных отношений. В сфере ЖКХ участниками рынка являются: государство, а также местное самоуправление, районные, городские органы управления; энергоснабжающие предприятия ЖКХ: муниципальные источники тепла, «водоканалы», «электросети»; жилищно-эксплуатационные предприятия; население – потребители услуг ЖКХ.

Одним из эффективных способов повышения энергоэффективности введенных в эксплуатацию жилых многоквартирных домов является радикальный, он включает в себя мероприятия, которые проводит управляющая организация или собственник многоквартирного дома и, меняющие коренным образом энергопотребление и распределение энергии домов, но, в тоже время, считаются гораздо более затратными, чем мероприятия при бытовом способе, где меры по повышению энергоэффективности дома принимает непосредственно собственник данного жилья.

Необходимость энергосбережения в многоквартирном жилом доме понимают, конечно же, и люди, которые научились экономить такие ресурсы как вода, электроэнергия, газ и тепло.

Тепловая энергия является самым финансово затратным энергетическим ресурсом из всех. Поэтому мероприятия по сбережению тепла являются наиболее важными при проведении капитального ремонта многоквартирного дома. Они направлены на рациональное использование тепловой энергии, увеличение срока службы систем теплоснабжения, снижение утечек тепла, увеличения срока службы горячего водоснабжения, а также и конструктивных элементов многоквартирных жилых зданий. К ним относятся главные мероприятия:

- установка общедомовых приборов учёта горячей воды и тепловой энергии, внесенных в государственный реестр средств измерений;
- уплотнение, заделка и утепление дверных блоков на входной группе;
- установка дверей и заслонок в проемах чердачных и подвальных помещений;
- обеспечение автоматического закрывания входных дверей в помещения, предназначенные для общего пользования;
- установка линейных балансировочных вентилей;
- балансировка системы отопления с помощью воздуховыпускных клапанов и запорных вентилей;
- промывка стояков и трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения.

Дополнительные мероприятия:

- заделка компенсационных и межпанельных швов герметиком, мастикой или теплоизоляционными прокладками;
- остекление лоджий и балконов с применением современных алюминиевых и пластиковых конструкций и стеклопакетов с увеличенным термическим сопротивлением;
- повышение теплозащиты наружных стен здания, пола и стен чердака, крыши, подвала, оконных и балконных блоков до действующих нормативов с применением водо-, паро- и теплоизоляционных материалов;
- установка теплоотражающих пленок и низкоэмиссионных стекол на окна в помещениях для общего пользования;
- модернизация или монтаж индивидуальных тепловых пунктов с устройством теплообменников, а так же аппаратуры управления отоплением и горячим водоснабжением;
- модернизация арматуры систем отопления и горячего водоснабжения и трубопроводов;
- теплоизоляция внутридомовых инженерных сетей с помощью современных теплоизоляционных материалов в виде цилиндров и скорлуп;
- оснащение теплопотребляющих установок специальными терморегуляторами и шаровыми запорными вентилями;
- обеспечение автоматизированной рециркуляции воды в системе горячего водоснабжения.

Множкквартирные жилые дома являются самыми крупными потребителями электроэнергии в коммунально-бытовом хозяйстве. Ежегодно в них расходуется в среднем 400 кВт·ч на человека, примерно 280 кВт·ч из которых потребляется внутри квартиры в основном на бытовые приборы и освещение и 120 кВт·ч расходуется в установках инженерного оборудования и освещения помещений общего пользования. И с каждым годом энергопотребление в жилых домах только растёт за счёт использования новой бытовой техники.

На основе расчетов можно сделать вывод, что каждая единица денежных средств, затраченная на мероприятия по экономии электроэнергии, даёт такой же эффект, как вдвое большая сумма, потраченная на увеличение её производства. Поэтому требуются специальные мероприятия, которые будут направлены на экономию электроэнергии при улучшении качества освещения в доме, повышение достоверности и точности учёта электрической энергии, потребленной в многоквартирных жилых домах, более точное регулирование параметров в системах горячего водоснабжения и холодного водоснабжения, а так же отопления. К ним относятся главные мероприятия:

- замена ламп накаливания в местах для общего пользования жильцов дома на светодиодные или газоразрядные;
- установка индивидуальных или коллективных приборов учёта, которые позволяют измерять объёмы потребления электрической энергии по зонам суток и записанных в государственный реестр средств измерений.

Дополнительные мероприятия:

- модернизация электрических двигателей или замена их на более энергоэффективные (трехскоростные, с переменной скоростью вращения и так далее);
- монтаж частотно-регулируемых приводов в лифтовом оборудовании;
- автоматизация регулирования освещения мест общего пользования жильцов дома с помощью специальных датчиков движения и освещённости.

На сегодняшний день, в среднем, обычный небольшой город потребляет ежедневно около 3 млн куб. м воды в сутки, но ещё 10–15 лет назад цифра доходила до 5–6 млн куб.м воды в сутки. Начиная с 1995 года наблюдается достаточно устойчивая тенденция снижения водопотребления. Это снижение начало происходить за счёт населения, которое в общей сложности, потребляет около 70 % от общего количества потребляемой воды в городе. И именно поэтому основные усилия по водосбережению прикладываются как раз в жилищном фонде.

Эти энергосберегающие мероприятия направлены на рационализацию потребления воды, снижение утечек и количества аварий, увеличение срока службы трубопроводов:

- модернизация арматуры и трубопроводов;
- монтаж специальных стабилизаторов давления;
- установка коллективных и индивидуальных приборов учёта воды.

Природный газ – это невозобновляемый природный ресурс. В жилых домах газ используется довольно часто, хоть и сейчас во многих домах стараются переходить на электроэнергию. Это приводит к истощению ресурса, а так же, исчерпанию энергетического потенциала нашей планеты. Вдобавок, при сжигании газа, в природную среду попадают вредные вещества и увеличивается концентрация углекислого газа.

Рациональное потребление природного газа жильцами и собственниками помещений в многоквартирных жилых домах достигается при выполнении данных мероприятий:

- оборудование топочных устройств блок-котельных энергоэффективными газовыми горелками, а так же, для управления ими, специальными системами климат-контроля;
- автоматизация управления работой газовых горелок в квартирных системах отопления;
- использование варочных газовых плит с керамическими ИК-излучателями и программным управлением, так как они являются наиболее энергоэффективными;
- установка коллективных и индивидуальных приборов учёта газа.

Так же большую роль в повышении энергоэффективности многоквартирных жилых зданий играет снижение издержек конкретно на вентиляцию и кондиционирование, так как эти системы являются одними из самых энергоемких. На них приходится обычно около 40 % тепловой и 70 % электрической энергии, потребляемой инженерным оборудованием жилого здания по мощности. Поэтому так же требуются специальные мероприятия, такие как:

- применение автоматических гравитационных систем вентиляции;
- подогрев поступающего воздуха за счет охлаждения отводимого воздуха;
- установка проветривателей в помещениях и на окнах;
- исключение сквозняков в помещениях;
- применение двигателей с плавным или ступенчатым регулированием частоты;
- применение водонаполненных охладителей в ограждающих конструкциях для отвода излишнего тепла;
- использование тепловых насосов для выхолаживания отводимого воздуха;
- использование реверсивных тепловых насосов в подвалах для охлаждения воздуха, подаваемого в приточную вентиляцию.

В качестве вывода можно заметить, что концепция формирования энергоэффективного многоквартирного дома в России не доработана, требуется поиск технических решений и анализ эффективности в климатических условиях РФ. Стоит еще отметить, что не существует одного средства, которое смогло бы самостоятельно, без всякой помощи, повысить энергоэффективность и комфорт в многоквартирном жилом доме. Здесь необходимо учитывать 2 основных принципа: это использовать несколько технологий в комплексе, для достижения наилучшего результата и рассматривать их целесообразность, которая, прежде всего, связана с окупаемостью. Так вполне реально уменьшить в 4–5 раз затраты на энергообеспечение всего здания, а также затраты всех жильцов дома.

Литература

1. Семак А.В., Косухин А.М., Богачева М.А. К вопросу об энергоэффективности многоквартирных домов // Образование, наука, производство. – 2016. – С. 729–733.
2. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Некоторые аспекты использования конструкционных бетонов в каркасах энергоэффективных зданий // Экологические, инженерно-экономические, правовые и управленческие аспекты развития строительства и транспортной инфраструктуры. Международный центр инновационных исследований «OMEGA SCIENCE». – 2017. – С. 119–122.
3. Пылаева М.М. Повышение энергоэффективности многоквартирных домов // Тенденции развития науки и образования. – 2017. – № 30–2. – С. 28–30.
4. Леонова А.Н., Сорокина Е.Н. Конструктивное преимущество и эффективная функциональность энергосберегающих фасадов при реконструкции зданий // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2018. – № 9. – С. 206–215.
5. Курдюков Н.А. Применение энергоэффективных технологий при реконструкции многоквартирных жилых зданий // Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского Государственного технического университета. – 2018. – С. 297–298.
6. Леонова А.Н., Курочка М.В. Методы повышения энергоэффективности зданий при реконструкции // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – № 7 (118). – С. 805–813.
7. Смирнова Ю.О., Логинова В.В. Влияние энергоэффективных мероприятий на теплотехнические и экономические характеристики многоквартирных жилых домов // Региональная архитектура и строительство. ПГУАС. – 2017. – № 4 (33). – С. 96–101.
8. Гамм М.В., Леонова А.Н. Основные параметры ресурсосбережения при реконструкции зданий // В сборнике: Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие». Октябрь 2017. Сборник избранных статей. – 2017. – С. 56–59.
9. Energy performance and energy saving of life-support systems in educational institution / A.N. Volkov [et al.] // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 9. – № 2. – P. 931–944.
10. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Мониторинг энергоэффективных зданий // В сборнике: Строительство в прибрежных курортных регионах. Материалы IX международной научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ; Сочинский государственный университет. – 2016. – С. 145–148.

References

1. Semak A.V., Kosukhin A.M., Bogacheva M.A. On the energy efficiency of apartment buildings // Education, Science, Production. – 2016. – P. 729–733.
2. Karpanina E.N., Leonova A.N. The importance of heat transfer as a property of building structures in buildings and structures // Perspectives of Science. – 2016. – № 9 (84). – P. 39–43.
3. Pylaeva M.M. Increasing the energy efficiency of apartment buildings // Trends in the development of science and education. – 2017. – № 30–2. – P. 28–30.
4. Leonova A.N., Sorokina E.N. Structural advantage and effective functionality of energy-efficient facades in the reconstruction of buildings // Electronic network polytheme journal «Scientific Proceedings of KubGTU». – 2018. – № 9. – P. 206–215.
5. Kurdyukov N.A. Application of energy-efficient technologies in the reconstruction of apartment buildings // Review-contest of scientific, design and technological works of students of Volgograd State Technical University. – 2018. – P. 297–298.
6. Leonova A.N., Kurochka M.V. Methods to increase the energy efficiency of buildings during reconstruction // Bulletin of MSCU. – 2018. – Vol. 13. – № 7 (118). – P. 805–813.
7. Smirnova Yu.O., Loginova V.V.. Influence of energy-efficient measures on the thermal and economic characteristics of apartment buildings. PSUAS. – 2017. – № 4 (33). – P. 96–101.
8. Gamm MV, Leonova AN The main parameters of resource saving in the reconstruction of buildings // In the collection: Proceedings of the conference SNII «Natsrazvitie». October 2017. Collection of selected articles. – 2017. – P. 56–59.
9. Energy performance and energy saving of life-support systems in educational institution / A.N. Volkov [et al.] // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 9. – № 2. – P. 931–944.
10. Karpanina E.N., Leonova A.N. Monitoring of energy-efficient buildings // In the collection: Construction in coastal resort regions. Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference. Ministry of Education and Science of the Russian Federation; Sochi State University. – 2016. – P. 145–148.

УДК 69.059.32

**ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**



**THE USE OF CARBON FIBER
IN THE RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES**

Потужная Ирина Романовна

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
iririna17@mail.ru

Полурядникова Ирина Андреевна

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
irishka.99.buguruslan@mail.ru

Аннотация. В данной статье подробно разобран вопрос применения углеродного волокна при реконструкции зданий и сооружений. Дано определение углеволокна, а также его основные преимущества перед другими видами материалов. Описана технология усиления конструкций, и для каких элементов и конструкций возможно применение данного вида усиления. В статье указано, каким требованиям должна соответствовать эффективная технология усиления зданий и сооружений углеволокном. Также дана информация о том, каким сводом правил необходимо пользоваться при проектировании системы армирования из углеродного волокна.

Ключевые слова: углеродное волокно, углеволокно, прочность, конструкция, сооружение, технология.

Potuzhnaya Irina Romanovna

Student,
Kuban State Technological University
iririna17@mail.ru

Poluryadnikova Irina Andreevna

Student,
Kuban State Technological University
irishka.99.buguruslan@mail.ru

Annotation. This article discusses in detail the use of carbon fiber in the reconstruction of buildings and structures. The definition of carbon fiber is given, as well as its main advantages over other types of materials. The technology of reinforcement of structures is described, and for which elements and structures it is possible to use this type of reinforcement. The article specifies what requirements should be met by an effective technology for strengthening buildings and structures with carbon fiber. It also provides information on what set of rules should be used when designing a carbon fiber reinforcement system.

Keywords: carbon fiber, carbon fiber, strength, construction, structure, technology.

Н а сегодняшний день реконструкция, как и любая другая сфера, не обходится без внедрения новых технологий. Одна из основных задач – предотвращение проблем, связанных с прочностью зданий и сооружений [1, с. 13]. При реконструкции необходимо усиливать и сопрягать здание в целом или отдельные элементы конструкции, что определяется по результатам обследований и расчетов. При реконструкции важно сохранить архитектурную выразительность сооружения. Одной из инновационных методик является применение углеродного волокна для замены подверженных коррозии материалов на другие, которые менее подвержены воздействию агрессивных сред [2, с. 134].

Углеродное волокно – линейно-упругий композитный материал, получаемый при обработке химических или природных органических волокон. При этом в материале волокна остаётся около 90 % атомов углерода [3, с. 22]. На сегодняшний день углеволокно наиболее популярно среди других композитных материалов. Оно на 30 % легче алюминия, на 75 % – железа, но при этом прочность на разрыв углеволокна в 4 раза превосходит наилучшие марки стали [4, с. 67]. Также углеволокно имеет низкий удельный вес, а при нагревании расширяется незначительно. Оно обладает высокой огнеупорностью и ударопрочностью.

При реконструкции усиление сооружений происходит при помощи наклеивания на части сооружений высокопрочных холстов на специальный эпоксидный клей, обладающий высокой адгезией к железобетону [5, с. 18]. В процессе осуществления армирования углеволокно при вступлении в химическую реакцию с данным клеем превра-

щается в жесткий пластик, при этом его прочность превышает в 6–7 раз прочность стали. Усиление конструкций должно выполняться по подготовленным с помощью пропитки и грунтовки поверхностям. Усиление углеволокном можно применять для:

- изгибаемых конструкций в растянутых зонах;
- приопорных участков в зоне действия поперечных сил;
- сжатых элементов;
- внецентренно сжатых элементов.

Одним из важных преимуществ применения углеволокна для реконструкции зданий и сооружений является то, что в процессе осуществления усиления конструкции нет необходимости в прекращении эксплуатации усиливаемого сооружения [6, с. 501]. Также происходит сокращение временных и трудовых затрат. Углеволокно можно применять для усиления конструкций любой конфигурации и сложности, что делает данный вид усиления универсальным [7, с. 19]. Так, его можно использовать для усиления: закруглённых и угловых поверхностей, ребристых плит перекрытия, балочных элементов рамной конструкции, тавровых балок мостовых пролётов, характеризующихся малой шириной ребра.

Эффективная технология армирования должна соответствовать следующим требованиям: естественная влажность конструкции не препятствует монтажу армирующих элементов, элементы армирования надежно прикрепляются к любым строительным материалам, что гарантирует эффективную передачу усилий с усиливаемой конструкции на армирующие элементы, материалы, используемые в процессе армирования, должны характеризоваться стабильными свойствами во времени, модули упругости и прочности армирующих элементов должны быть представлены в широкой вариации, чтобы возможно было армировать конструкции из любых материалов (железобетон, металл, камень и т.д.) [8, с. 17]. Необходимость использования углеволокна при реставрации возникает при: повреждении конструкции, которое ведет к снижению несущей способности; необходимости повышения устойчивости к трещинам, жесткости; изменении условий эксплуатации сооружения (величина и характер нагрузок); необходимости повышения сейсмостойкости; необходимости увеличения межремонтных промежутков [8, с. 20].

При проектировании системы армирования из углеволокна необходимо руководствоваться СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования». Углеволокно наклеивается в зонах наибольшей нагрузки – центральная часть пролёта и место соприкосновения с нижней гранью конструкции [9, с. 77]. Так происходит значительное повышение несущей способности конструкции по изгибающим моментам. Для такой реконструкции применяются ламели, сетки, ленты из углеволокна. Для усиления колонн используются углеродные сетки и ленты, монтирующиеся в поперечном направлении – эффект бандажирования, предотвращающий поперечные деформации бетона [10, с. 331]. При армировании балок углеволокном также усиливаются и приопорные зоны, что ведёт к повышению несущей способности конструкции при воздействии поперечных сил.

Таким образом, использование углеволокна при реконструкции зданий и сооружений позволяет значительно сократить временные и трудовые затраты. При этом будет осуществлено надежное усиление конструкций, так как углеволокно – огнеупорный и ударопрочный материал, прочность на разрыв, которого в 4 раза превосходит сталь. Углеволокно – инновационный для реконструкции материал, который лёгок в монтаже, а также он позволяет осуществлять реконструкции зданий без прекращения их эксплуатации.

Литература

1. Применение базальтовой и углеродной сетки при реконструкции зданий и сооружений / Г.Э. Окольников [и др.] // Системные технологии. – 2019. – № 31. – С. 14–18.
2. Леонова А.Н., Курочка М.В. Структурные дефекты в пространственно-армированных композитах и их влияние на свойства материалов // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник статей Международного научно-практического конгресса. – 2018. – С. 132–136.

3. Павлова М.О. Современные исследования и разработки способов ремонта, реконструкции, реставрации и мониторинга в России и в Европе // *Технология строительства*. – 2009. – № 3. – С. 21–23.
4. Леонова А.Н., Софьяников О.Д., Кривенкова Т.В. Особенности усиления строительных конструкций композитными полимерными материалами в условиях высоких и низких температур // *Перспективы науки*. – 2019. – № 5 (116). – С. 64–69.
5. Костенко А.Н. Прочность и деформативность центрально и внецентренно-сжатых кирпичных и железобетонных колонн, усиленных угле- и стекловолокном : автореф. дис. ... канд. техн. наук, спец. 05.23.01. – М., 2010. – 29 с.
6. Леонова А.Н., Софьяников О.Д., Скрипкина И.А. Особенности усиления металлических конструкций композитными материалами при воздействии агрессивной среды // *Вестник МГСУ*. – 2020. – Т. 15. – № 4. – С. 496–509.
7. Белов В.В., Деркач В.Н. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций // *Инженерно-строительный журнал*. – 2010. – № 7. – С. 14–20.
8. Леонова А.Н., Бибииков Б.С. Современные методы усиления горизонтальных несущих конструкций углеволокном // В сборнике: *Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции*. – 2020. – С. 16–21.
9. Таровик В.В., Леонова А.Н. Современные способы усиления строительных конструкций углеродными композитными материалами // В сборнике: *Актуальные вопросы городского строительства, архитектуры и дизайна в курортных регионах. Материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции*. – 2015. – С. 75–79.
10. Леонова А.Н., Акритов Х.Э. Усиление деревянных конструкций композитными материалами // *Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник)*. – 2020. – № 2. – С. 329–333.

References

1. Application of basalt and carbon mesh in the reconstruction of buildings and structures / G.E. Okolnikova [et al.] // *System Technologies*. – 2019. – № 31. – P. 14–18.
2. Leonova A.N., Kurochka M.V. Structural defects in spatially reinforced composites and their impact on the properties of materials // In the collection: *Development and innovation in construction. Collection of articles of the International scientific and practical congress*. – 2018. – P. 132–136.
3. Pavlova M.O. Modern research and development of methods of repair, reconstruction, restoration and monitoring in Russia and Europe // *Technology of construction*. – 2009. – № 3. – P. 21–23.
4. Leonova A.N., Sofjanikov O.D., Krivenkova T.V. Features of strengthening of building constructions by composite polymeric materials in conditions of high and low temperatures // *Perspectives of science*. – 2019. – № 5 (116). – P. 64–69.
5. Kostenko A.N. Strength and deformability of centrally and eccentrically compressed brick and reinforced concrete columns reinforced with carbon and fiberglass : Ph. D. in Technical Sciences, specialty 05.23.01. – M., 2010. – 29 p.
6. Leonova A.N., Sofjanikov O.D., Skripkina I.A. Features of strengthening of metal structures by composite materials under the influence of aggressive environment // *Bulletin of MSCU*. – 2020. – Vol. 15. – № 4. – P. 496–509.
7. Belov V.V., Derkach V.N. Expertise and Technology of Strengthening of Stone Structures // *Engineering and Construction Journal*. – 2010. – № 7. – P. 14–20.
8. Leonova A.N., Bibikov B.S. Modern methods of strengthening horizontal bearing constructions with carbon fiber // In a collection: *Development and Innovations in Building. Materials of the III International Scientific-Practical Conference*. – 2020. – P. 16–21.
9. Tarovik V., Leonova A.N. Modern ways of strengthening of building structures by carbon composite materials // In the collection: *Actual issues of urban construction, architecture and design in the resort regions. Materials of the Second All-Russian scientific-practical conference*. – 2015. – P. 75–79.
10. Leonova A.N., Akritov H.E. Strengthening of wooden constructions by composite materials // *Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin)*. – 2020. – № 2. – P. 329–333.

УДК 699.86

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ**



**THE USE OF VENTILATED FACADES
IN THE RECONSTRUCTION OF BUILDINGS**

Уткина Ольга Александровна
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
u.olga1399@mail.ru

Сердюк Сергей Андреевич
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
senoize2323@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрен материал для строительства и реконструкции зданий – навесной вентилируемый фасад. Описываются составляющие его конструктивные элементы, принцип их действия, а также особое внимание уделяется положительному действию на состояние конструкции «воздушного зазора» вентилируемого фасада. Представлены достоинства и недостатки данного материала в процессах строительства и эксплуатации. Также упоминается о классификации навесных вентилируемых фасадов по различным признакам.

Ключевые слова: навесной вентилируемый фасад, реконструкция, теплоизоляция, облицовочный материал, строительство.

Utkina Olga Alexandrovna
Student,
Kuban State Technological University
u.olga1399@mail.ru

Serdyuk Sergey Andreevich
Student,
Kuban State Technological University
senoize2323@mail.ru

Annotation. This article discusses the material for the construction and reconstruction of buildings – a hinged ventilated facade. It describes its constituent structural elements, the principle of their operation, and also pays special attention to the positive effect on the state of the structure of the «air gap» of the ventilated facade. The advantages and disadvantages of this material in the process of construction and operation are presented. It also mentions the classification of hinged ventilated facades according to various criteria.

Keywords: hinged ventilated facade, reconstruction, thermal insulation, facing material, construction.

В настоящее время большое внимание уделяется проблемам создания современного архитектурного облика муниципальных сооружений и решению проблем обеспечения экономии энергии как вновь построенных зданий, так и зданий на стадии реконструкции. Также фасад здания подвергается наиболее интенсивному воздействию атмосферных явлений и первым принимает на себя все климатические удары: повышенную или пониженную влажность, резкие перепады температур, воздействие ветра, мороза, снега, сильной жары. Без использования современных строительных технологий все эти проблемы не могут быть решены.

Одним из современных решений, используемых при строительстве и реконструкции зданий, является устройство вентилируемой конструкции фасада с применением облицовочных стеновых материалов и дополнительного утепления [1, с. 119].

Применение модернизированных конструкций фасадов позволяет в короткие сроки уменьшить теплопотери, изменить и улучшить внешний вид как для уже построенных зданий, подвергаемых реконструкции, так и для зданий, только подготавливаемых к возведению, что в свою очередь дает незаурядные дизайнерские варианты, возможность широкой деятельности для специалистов во всех сферах строительства [12, с. 315].

Такой фасад позволяет осуществлять быстрый монтаж, а также включает высокое качество теплозащиты, долговечность, привлекательный внешний вид. При этом делать ремонт старой стены необязательно, если же присутствуют повреждения отдельных панелей, их легко заменить. Немаловажным отличием является и отсутствие мокрых процессов, что позволяет вести работы в любое время года.

Навесные вентилируемые фасады в России известны и используются сравнительно недавно. В ряде же стран (Германии, Финляндии) уже присутствует достаточ-

ный опыт по их использованию: в общественных, административных и промышленных зданиях, а также при реконструкции.

Само представление о вентилируемых фасадах пришло из Германии. Только появившиеся в России вентилируемые фасады незамедлительно стали популярны как среди архитекторов, строителей, так и у заказчиков. И на это много причин [8, с. 243].

Навесной фасад – это конструкция, состоящая из облицовочных материалов (плит, листовых материалов) и под облицовочной конструкции, которая прикрепляется к стене так, чтобы между защитным (декоративным) покрытием и стеной оставался промежуток воздуха (или еще этот промежуток называют зазором). Для утепления наружных конструкций между стеной и облицовкой может устанавливаться теплоизоляция – в этом случае вентиляционный зазор оставляется между облицовкой и теплоизоляционным слоем. Как правило материалы для облицовки под конструкцию и теплоизоляцию производят разные фирмы.

Слои конструкций вентфасадов располагаются следующим образом (приведено на рис. 1):

- ограждающая стена – основная, несущая стена реконструируемого или строящегося здания, является опорной частью всей конструкции вентилируемого фасада.
- теплоизоляция – теплозвукоизоляционный слой с паропроницаемой пленкой и гидробарьером, позволяет варьировать толщину теплоизоляции, благодаря этому учитываются особенности применения конструкции в различных климатических зонах и дает возможность более экономично использовать материал теплоизоляции.
- подконструкция – это кронштейны и несущие профили, составляющие каркасную систему конструкции навесного вентилируемого фасада
- воздушный промежуток – самая важная часть конструкции, которая при эксплуатации работает по принципу вытяжной трубы или вентиляции (отсюда и название самой конструкции)
- защитный экран – облицовка, фасадные панели, выполняющие функцию защиты теплоизоляционного материала, также несут дизайнерскую, декоративную функцию конструкции [3, с. 45].

Вспомогательными элементами конструкции вентфасадов являются:

- уплотнительные ленты между панелью и профилем под облицовочной конструкции;
- декоративные уголки, вставки для закрытия торцов и зазоров между панелями;
- перфорированные металлоконструкции для вентиляции системы снизу и сверху: заклепки, кляммеры, гребенки, и т.п. для крепления панелей к профилям.

Под облицовочная конструкция может крепиться как на несущую, так и на самонесущую стену, если каркасная система здания. Стена может быть выполнена из различных материалов (бетон, кирпич).

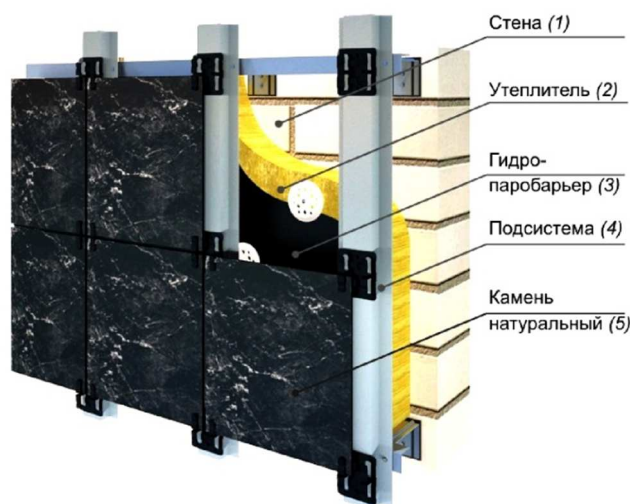


Рисунок 1 – Слои конструкции навесного вентилируемого фасада

Данная схема является наиболее оптимальной в связи с тем, что слои из разных материалов размещаются по мере уменьшения характеристик их теплопередачи, а сопротивления паропроницаемости увеличивается снаружи внутрь.

Ещё одним достоинством внешней теплоизоляции является повышение теплоаккумулирующей возможности массива стены [10, с. 207]. Согласно сведениям ЦНИИЭП жилья, в случае, если по какой-либо причине случится отключение теплоснабжения в доме с наружной изоляцией, кирпичная стена будет остывать в 6 раз медленнее, нежели при применении внутренней теплоизоляции такой же толщины. Также установка вентфасадов позволяет снизить расходы на ремонт при повреждении стен [2, с. 254].

Применение навесных вентиляционных фасадов лучшим образом повышает звукоизоляционные характеристики ограждающей конструкции, так как фасадные панели и слой теплоизоляции при применении в совокупности обладают звукопоглощающими свойствами в широком диапазоне частот.

Воздушный промежуток в вентилируемом фасаде кардинально отличает его от других типов фасадов, в связи с тем, что из-за перепада давления этот зазор работает как «вытяжная труба». Благодаря этому действию из ограждающей конструкции вся атмосферная и внутренняя влага удаляется в окружающую среду [11, с. 39]. Также снижаются теплотери, так как воздушный промежуток является температурным буфером. Воздух в нем примерно на 3 градуса выше, чем снаружи. [7, с. 57–58].

Свободная циркуляция воздуха – один из важных аспектов при проектировании конструкций фасада с вентиляционным зазором, поэтому на это следует обращать особое внимание. Например, циркуляцию воздуха для высоких зданий необходимо рассчитать таким образом, чтобы получилось соблюсти баланс, который в достаточной степени сможет обеспечить беспрепятственный и наиболее эффективный воздушный поток по всей поверхности наружной стены.

Наружный защитный экран из отделочных материалов дает защиту от атмосферных воздействий расположенным за ним слою теплоизоляции и ограждающей конструкции. Например, летом он выполняет функцию солнцезащитного экрана, отражающего тепловой поток [4, с. 167].

Конструкция может поглощать термические деформации, возникающие при суточных и сезонных перепадах температур благодаря специально разработанной схеме монтажа таких фасадов. Это исключает появление трещин и в последствии разрушение облицовки, так как позволяет избегать внутренних напряжений в материале облицовки и несущей конструкции [9, с. 37].

В систему навесных фасадов включены трудносгораемые или несгораемые, препятствующие распространению огня материалы, что соответствует нормам по обеспечению пожарной безопасности.

Выделим основные достоинства и недостатки вентилируемых фасадов [6, с. 69].

Основные достоинства систем вентилируемых фасадов:

- незаменимы при многоэтажном строительстве и реконструкции (более 15 этажей);
 - установка системы производится при любых атмосферных условиях, а также отличная защита от атмосферного воздействия;
 - по данным изготовителей срок службы 40–50 лет
 - возможность оперативного устранения неполадок;
 - придает современный вид зданию;
 - хорошая звукоизоляция;
 - эффективное удаление атмосферной влаги и водяных паров снаружи стены;
- Основные недостатки применения систем вентилируемых фасадов:
- при установке на зданиях требуют трудоемкого и тщательного расчета
 - проводить работы по монтажу могут только квалифицированные специалисты с большим опытом работы;
 - при облицовке зданий должны использоваться определенные материалы (алюминиевые панели, каменные, керамогранитные, полимерные плиты), а также для теплоизоляции;
 - высокая стоимость.

Рассмотри основные виды вентилируемого фасада [13, с. 337].

Вентилируемый фасада классифицируется по следующим признакам [5, с. 237]:

- 1) По виду материала для облицовки:
 - Керамогранитные (или гранитные) облицовочные материалы. (с видимым или скрытым креплением).
 - Фиброцементные облицовочные плиты.
 - Облицовочные алюминиевые композитные панели.
 - Металлические кассеты.
 - Пластиковый сайдинг.
 - Стекланные панели.
 - С деревянной облицовкой.
 - С облицовкой из ламината высокого давления (ЛВД).
 - Облицованные солнечными батареями.
- 2) По материалу несущей подконструкции:
 - Из оцинкованной стали (более экономичный вариант).
 - Из нержавеющей стали (дорогой вариант).
 - Из алюминия и его сплавов.
 - С деревянной подконструкцией.
- 3) По типу конструктива подсистемы:
 - вертикальная;
 - горизонтально-вертикальная.
- 4) По типу несущего основания.
 - С креплением к стене.
 - С креплением в плиты перекрытий.
- 5) В зависимости от наличия теплоизоляционного слоя.
 - С утепляющим слоем.
 - Без утепляющего слоя.

Таким образом, навесной вентилируемый фасад применяется в возведении новых зданий и реконструкции старых. Это современный многофункциональный материал, имеющий множество преимуществ, но как и в других материалах в нем также присутствуют и недостатки. Для правильного введения материала в эксплуатацию необходимо доверять работу с ним только опытным профессионалам. Навесные вентилируемые фасады являются более современными и превосходят другие материалы только при условии правильной технологии монтажа, а также правильном и внимательном расчете.

Литература

1. Кавер Н.С. Современные материалы для отделки фасадов. – М. : АрхитектураС, 2005. – 119 с.
2. Реконструкция зданий и сооружений. Учебное пособие для студентов строительных специальностей ВУЗов / Под редакцией д.т.н. , профессора Шагина А.Л.. – М. : Высшая школа, 1991. – 254 с.
3. Прядко Н.В. Обследование и реконструкция жилых зданий. – 45 с.
4. Теплоизоляционные материалы и конструкции / Ю.Л. Бобров [и др.]. – М. : ИНФРА-М, 2003. – 167 с.
5. Манейлюк А.И. Современные фасадные системы. – Киев, 2008. – 237 с.
6. Леонова А.Н. Достоинства и недостатки применения навесных вентилируемых фасадных систем при реконструкции зданий в курортных регионах // В сборнике: Строительство в прибрежных курортных регионах. Материалы 7-й международной научно-практической конференции. – 2012. – С. 68–71.
7. Гамм М.В., Леонова А.Н. Основные параметры ресурсосбережения при реконструкции зданий // В сборнике: Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие». Октябрь 2017. Сборник избранных статей. – 2017. – С. 56–59.
8. Фурсина Ю.В., Иванова С.О., Леонова А.Н. Опыт реконструкции зданий в странах Европы и сравнение с реновацией в России // Бюллетень науки и практики. – 2019. – Т. 5. – № 5. – С. 241–246.

9. Вербицкий Д.О., Леонова А.Н. Энергоэффективность при строительстве и реконструкции зданий // В сборнике статей Международной научно-практической конференции: Экологические, инженерно-экономические, правовые и управленческие аспекты развития строительства и транспортной инфраструктуры. «КубГТУ», «OMEGA SCIENCE». – 2017. – С. 32–37.
10. Леонова А.Н., Сорокина Е.Н. Конструктивное преимущество и эффективная функциональность энергосберегающих фасадов при реконструкции зданий // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2018. – № 9. – С. 206–215.
11. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Значение теплопереноса как свойство строительных конструкций в зданиях и сооружениях // Перспективы науки. – 2016. – № 9 (84). – С. 39–43.
12. Калкан С.Н., Леонова А.Н. Особенности современных подходов при реконструкции фасадов жилых зданий // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – С. 314–316.
13. Леонова А.Н., Федотова Е.А., Акопьян К.А. Проектирование и реконструкция с применением фотограмметрии // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – С. 336–338.

References

1. Kaver N.S. Modern materials for the finishing of facades. – M. : Architecture-S, 2005. – 119 p.
2. Reconstruction of buildings and structures. Tutorial for students of construction specialties of universities / edited by Ph. Shagin A.L. – M. : High School, 1991. – 254 p.
3. Pryadko N.V. Inspection and Reconstruction of Residential Buildings. – 45 p.
4. Thermal Insulation Materials and Constructions / Yu.L. Bobrov [et al.]. – M. : INFRA-IM, 2003. – 167 p.
5. Malejluk A.I. Modern Facade Systems. – Kyiv, 2008. – 237 p.
6. Leonova A.N. Dignity and disadvantages of the use of hinged ventilated facade systems in the reconstruction of buildings in the resort areas // In the collection: Construction in coastal resort regions. Materials of the 7th International Scientific and Practical Conference. – 2012. – P. 68–71.
7. Gamm M.V., Leonova A.N. Main parameters of resource-saving in the reconstruction of buildings // In the collection: Proceedings of the Conference of the State Research Institute «National Development». October 2017. Collection of selected articles. – 2017. – P. 56–59.
8. Fursina Y.V., Ivanova S.O., Leonova A.N. Experience in reconstruction of buildings in European countries and comparison with renovation in Russia // Bulletin of Science and Practice. – 2019. – Vol. 5. – № 5. – P. 241–246.
9. Verbitsky D.O., Leonova A.N. Energy efficiency in the construction and reconstruction of buildings // In the collection of articles of the International scientific-practical conference: Environmental, engineering-economic, legal and managerial aspects of the development of construction and transport infrastructure. «KubGTU», «OMEGA SCIENCE». – 2017. – P. 32–37.
10. Leonova A.N., Sorokina E.N. Structural advantage and effective functionality of energy-saving facades in the reconstruction of buildings // Electronic network journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2018. – № 9. – P. 206–215.
11. Karpanina E.N., Leonova A.N. Value of heat transfer as a property of building constructions in buildings and structures // Perspectives of Science. – 2016. – № 9 (84). – P. 39–43.
12. Kalkan S.N., Leonova A.N. Features of modern approaches to the reconstruction of the facades of residential buildings // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 1. – P. 314–316.
13. Leonova A.N., Fedotova E.A., Akopyan K.A. Design and reconstruction using photogrammetry // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy Vestnik). – 2020. – № 1. – P. 336–338.

УДК 69.059.32

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ



ENERGY EFFICIENCY AND RESOURCE SAVING IN THE RECONSTRUCTION OF BUILDINGS

Чумак Владимир Сергеевич

студент,
кафедра строительных конструкций,
Кубанский государственный
технологический университет
v4mak@mail.ru

Хапачев Нурбий Байзетович

студент,
кафедра строительных конструкций,
Кубанский государственный
технологический университет
nurbii68@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены все возможные виды деятельности по повышению энергоэффективности и ресурсосбережению для зданий промышленного, жилищного и административно-бытового комплекса при реконструкции.

Ключевые слова: энергоэффективность, ресурсосбережение, строительство, реконструкция.

Chumak Vladimir Sergeevich

Student,
Department of Structures,
Kuban State Technological University
v4mak@mail.ru

Chapachev Nurbii Baizetovich

Student,
Department of Structures,
Kuban State Technological University
nurbii68@mail.ru

Annotation. This article discusses all possible activities to improve energy efficiency and resource conservation for buildings of industrial, residential and administrative and utility complex during reconstruction.

Keywords: energy efficiency, resource saving, construction, reconstruction.

Энергосбережение и энергоэффективность при реконструкции зданий на сегодняшний день стали приоритетными направлениями энергетической политики у все более большого количества стран. Данные направления обусловлены сравнительно большими расходами топливно-энергетических ресурсов, усилением выбросов отходов, строительного мусора, что в свою очередь оказывает негативное влияние на окружающую среду, а также несоответствием собственных запасов ресурсов и потребностью в них. Повышение энергоэффективности зданий при реконструкции в последние десятилетия стало одним из основных направлений развития строительной индустрии. В преобладающем большинстве зарубежных стран нормируемые величины теплозащиты конструкций увеличились в 2–3,5 раза [1, с. 5].

На сегодняшний день требования по повышению эффективности мероприятий, которые направлены на энергосбережение в строительстве вплотную связаны с рациональными конструктивными решениями. Уменьшение теплопотерь на единицу энергии влечет за собой значительное увеличение энергозатрат при производстве эффективных теплоизоляционных материалов, производство которых сопровождается выбросом химических отходов в окружающую среду [2, с. 32]. Из этого следует, что ресурсосбережение проблема не только промышленного масштаба, но и экологического. При реконструкции зданий учитываются все требования строительных норм и стандартов, а также потребности людей с ограниченными физическими возможностями. Но на сегодняшний день мы сталкиваемся с проблемами того, что недостаточно просто обновить фасад, сохранить архитектурные детали представляющие историческую ценность, выполнить перепланировку, соблюсти все нормы естественного и искусственного освещения, используя новые, более экономические типы светильников и выполнить благоустройство территории. Также помимо этого нужно принимать в расчет требования по теплозащите зданий при реконструкции с обеспечением эффективного использования энергии [3, с. 56–59].

Основным показателем сбережения энергии, затрачиваемой на отопление, является создание адекватных энергосберегающих мер не только в отношении новых строящихся зданий, но и уже существующих. Повышение энергетической эффективности существующих зданий должно непременно выполняться наряду с модернизацией их конструктивных элементов и использованием оборудования для генерации альтернативных видов энергии. Критерием эффективности энергосбережения от применения архитектурных, строительных и инженерных решений, направленных на экономию энергетических ресурсов является суммарный эффект [4, с. 121–122].

Для уменьшения энергопотребления и потерь теплоизоляционных свойств различных конструкций, присутствующих в здании, можно прибегнуть к следующему комплексу мероприятий:

1. Сведение к минимуму тепловых потерь через ограждающие конструкции [5, с. 256–258]:

- тепло-влажностный режим регулируется с помощью архитектурно-конструктивных средств т.е. создание объемной пластики фасада благодаря эффективному утеплению, но при этом требуется выявить критерии эффективности теплоизоляционного материала с учетом экологичности его производства и сложности монтажа;

- сохранность витражей обеспечивается качественным теплоизолированным соединением остекления световых проемов с оконной рамой, с использованием специализированных дистанционных рамок по краям стеклопакета, а также применение солнцезащитных плёнок;

- минимизация взаимодействия объема здания и холодного зимнего ветра с севера обеспечивается применением обтекаемых ветрозащитных экранов.

2. Тепловые поступления через окна [6, с. 96–99].

Использование энергосберегающих стеклопакетов с применением низкоэмиссионных стекол и стеклопакетов, которые наполняются аргоном или криптоном. При этом их расположение относительно сторон света эффективнее применять с южной стороны (рис. 1).

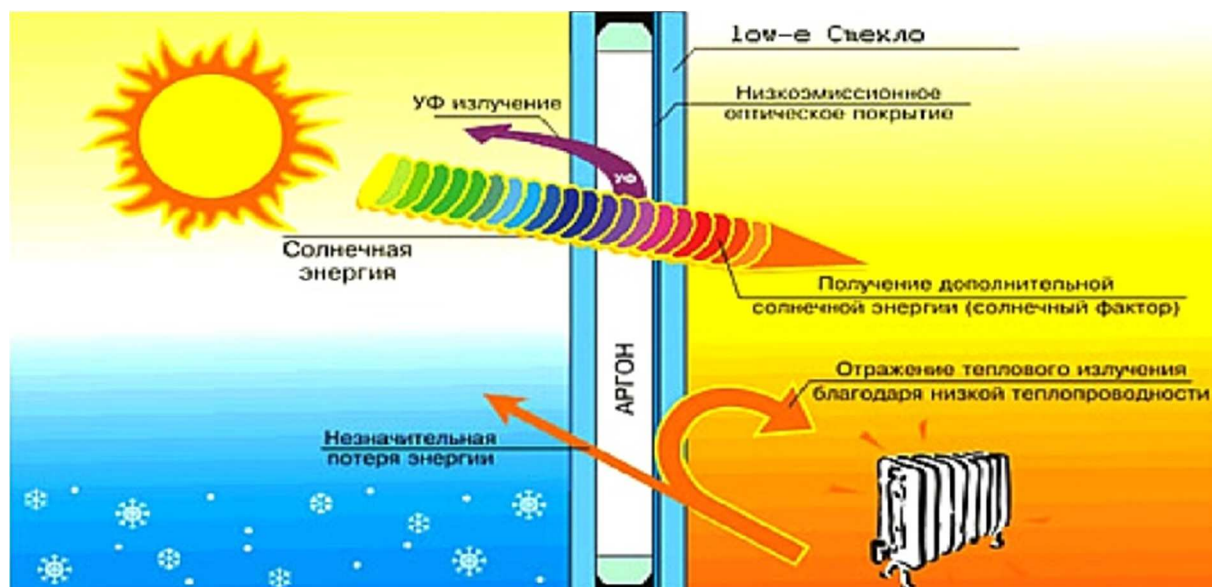


Рисунок 1 – Энергосберегающие стеклопакеты

3. Усовершенствование инженерных систем [7, с. 91–93]:

- автоматизированная работа устройств для регулирования и оптимизации работы агрегатов систем энергосбережения;

- применение системы вентиляции с рекуперацией теплоты, при котором вклад солнечной энергии в теплоснабжение здания может достигать 95 % (рис. 2);

- замена традиционных источников света на светодиодные.

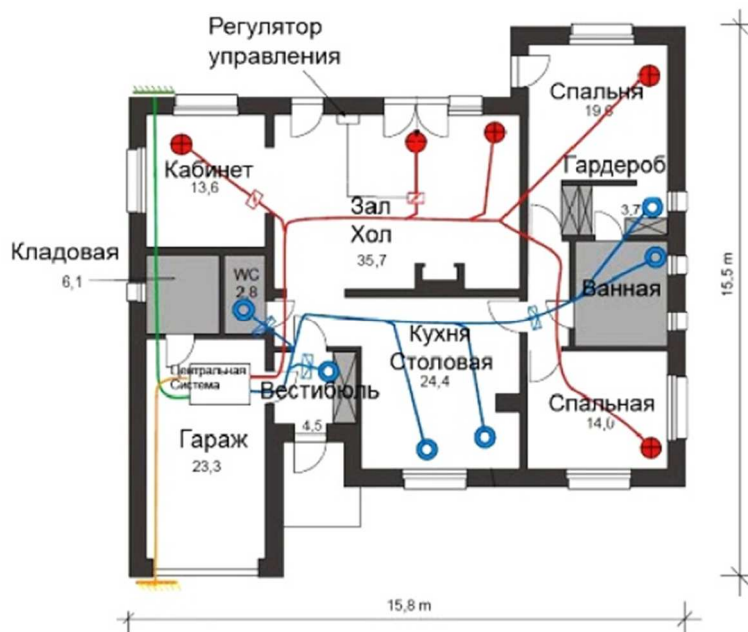


Рисунок 2 – Вентиляция с рекуперацией тепла

4. Использование генераторов альтернативных источников энергии [8, с. 88–91]:
 – применение тонкопленочных фотоэлектрических гидроизоляционных мембран. При этом фотоэлектрические модули устанавливаются на неотделанные основания (кирпич, бетон) по фасаду или кровле здания и вырабатывают электроэнергию;
 – использование геотермальных насосов, способствующих уменьшению затрат, связанных с охлаждением или нагревом воздуха в помещениях [9, с. 36].

На сегодняшний день всё стремится к тому, чтобы как можно сильнее свести энергопотребление к минимуму с учетом использования всех вышеперечисленных мероприятий по энергосбережению и применению возобновляемых источников энергии при реконструкции [10, с. 23–24]

Необходимо производить расчет энергопотребления, энергоаудит, еще на стадии проектирования [11, с. 134–135]. Кроме этого необходимо ввести постоянные разработки и внедрение инновационных технологий энергосбережения и мониторинг при реконструкции зданий.

В любом случае каждый вид данных мероприятий требует дополнительной проработки, оценки результативности и качества программ по энергосбережению, необходимо чтобы эти программы учитывали многовариантность, экологичность и экономичность применяемых мероприятий, которые предназначены для их осуществления [12, с. 218].

Литература

1. Перевозчикова А.С., Баженов Е.О. Модернизация зданий с целью повышения энергоэффективности и продления срока эксплуатации жилых зданий // Сборник статей Международного научно-практического конгресса. – 2017.
2. Леонова А.Н., Курочка М.В. Методы повышения энергоэффективности зданий при реконструкции // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – № 7 (118). – С. 805–813.
3. Захаров А.В., Сычкина Е.Н., Пономарев А.Б.. Энергоэффективные конструкции в строительстве // Учебное пособие. Минстрой РФ. – 2017.
4. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Мониторинг энергоэффективных зданий // В сборнике: Строительство в прибрежных курортных регионах. Материалы IX международной научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ; Сочинский государственный университет. – 2016. – С. 145–148.
5. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения. – Иваново : ПресСто, 2016. – 276 с.
6. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Значение теплопереноса как свойство строительных конструкций в зданиях и сооружениях // Перспективы науки. – 2016. – № 9 (84). – С. 39–43.

7. Фисенко А.А., Бассе М.Е. Энергоэффективность промышленной архитектуры: современная теория и практика.
8. Леонова А.Н., Сорокина Е.Н. Конструктивное преимущество и эффективная функциональность энергосберегающих фасадов при реконструкции зданий // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2018. – № 9. – С. 206–215.
9. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А., Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей // Учебное пособие. – СПб. : НИУ ИТМО. – 2013. – С. 40–45.
10. Гамм М.В., Леонова А.Н. Основные параметры ресурсосбережения при реконструкции зданий // В сборнике: Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие». Октябрь 2017. Сборник избранных статей. – 2017. – С. 56–59.
11. Энергоэффективность и энергосбережение систем жизнеобеспечения образовательного учреждения / А.Н. Волков [и др.] // Журнал фундаментальных и прикладных наук. – 2017. – Т. 9. – № 2. – С. 931–944.
12. Вербицкий Д.О., Леонова А.Н. Энергоэффективность при строительстве и реконструкции зданий // В сборнике статей Международной научно-практической конференции: Экологические, инженерно-экономические, правовые и управленческие аспекты развития строительства и транспортной инфраструктуры. Институт строительства и транспортной инфраструктуры; ФГБОУ ВО «КубГТУ»; Международный центр инновационных исследований «OMEGA SCIENCE». – 2017. – С. 32–37.

References

1. Perevozchikova A.S., Bazhenov E.O. Modernization of buildings to improve energy efficiency and extend the life of residential buildings // Proceedings of the International Scientific and Practical Congress. – 2017.
2. Leonova A.N., Kurochka M.V. Methods to improve energy efficiency of buildings during reconstruction // Bulletin of MSCU. – 2018. – Vol. 13. – № 7 (118). – P. 805–813.
3. Zakharov A.V., Synchkina E.N., Ponomarev A.B. Energy-efficient structures in building // Textbook. Ministry of Construction of the Russian Federation. – 2017.
4. Karpanina E.N., Leonova A.N. Monitoring of energy-efficient buildings // In the collection: Construction in coastal resort regions. Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference. Ministry of Education and Science of the Russian Federation; Sochi State University. – 2016. – P. 145–148.
5. Aloyan R.M., Fedosov S.V., Oparina L.A. Energy-efficient buildings - the state, problems and solutions. – Ivanovo : PresSto, 2016. – 276 p.
6. Karpanina E.N., Leonova A.N. Value of heat transfer as a property of building constructions in buildings and structures // Perspectives of Science. – 2016. – № 9 (84). – P. 39–43.
7. Fisenko A.A., Basse M.E. Energy efficiency of industrial architecture: modern theory and practice.
8. Leonova A.N., Sorokina E.N. Structural advantage and effective functionality of energy-efficient facades in the reconstruction of buildings // Electronic networked politem journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2018. – № 9. – P. 206–215.
9. Pilipenko N.V., Sivakov I.A., Energy saving and increasing energy efficiency of engineering systems and networks // Tutorial. – SPb. : NIU ITMO. – 2013. – P. 40–45.
10. Gamm M.V., Leonova A.N. Main parameters of resource-saving in the reconstruction of buildings // In the collection: Proceedings of the Conference of the State Research Institute «National Development». October 2017. Collection of selected articles. – 2017. – P. 56–59.
11. Energy efficiency and energy conservation of life support systems of educational institution / A.N. Volkov [et al.] // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 9. – № 2. – P. 931–944.
12. Verbitskiy D.O., Leonova A.N. Energy efficiency in construction and reconstruction of buildings // In the collection of articles of the International scientific-practical conference: Environmental, engineering-economic, legal and managerial aspects of development of construction and transport infrastructure. Institute of Construction and Transport Infrastructure; FGBOU VO «KubGTU»; International Center for Innovative Research «OMEGA SCIENCE». – 2017. – P. 32–37.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ



SCIENCES ABOUT THE EARTH

УДК 622

**КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ
В АЗЕРБАЙДЖАНЕ**
◆◆◆◆
**CONCEPT FOR THE DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE ENERGY
IN AZERBAIJAN**

Бахшалиева Ширин Октай кызы
доктор философии,
магистрант,
кафедра нефтегазовой инженерии,
Азербайджанского государственного
Университета нефти и промышленности
bahshaliyeva@mail.ru

Ибрагимов Заур Рафик оглы
магистр,
кафедра нефтегазовой инженерии,
Азербайджанского государственного
Университета нефти и промышленности
bahshaliyeva@mail.ru

Аннотация. Статье указано, что одной из важнейших проблем современного естествознания является экономия энергоресурсов и замена таких не возобновляемых источников, ветровой, солнечной энергии, геотермической и другими видами энергии. Термальные воды известны в ряде районов Абшеронского полуострова и на обширной территории Куринской впадины.

Статье указано, что одной из важнейших проблем современного естествознания является экономия энергоресурсов и замена таких не возобновляемых источников, ветровой, солнечной энергии, геотермической и другими видами энергии. Термальные воды известны в ряде районов Абшеронского полуострова и на обширной территории Куринской впадины.

Ключевые слова: термальные воды, Абшеронский полуостров, Куринский впадины, геотермические данные, скважины, температура.

Bakhshaliyeva Shirin Oktay gizi
Phd, Magistrants,
Oil and Qaz Engineering Department
Azerbaijan State Oil and
Industrial University
bahshaliyeva@mail.ru

Ibrahimov Zaur Rafiq oglu
Magistrants,
Oil and Qaz Engineering Department
Azerbaijan State Oil and
Industrial University
bahshaliyeva@mail.ru

Annotation. The article indicates that one of the most important problems of modern natural science is the saving of energy resources and the replacement of such non-renewable sources, wind, solar energy, geothermal and other types of energy. Thermal waters are known in a number of areas of the Absheron Peninsula and in the vast territory of the Kura depression. It is proposed that the use of thermal waters for energy purposes will be rational and economically profitable, because thermal waters of Azerbaijan contain salts of various chemical elements dissolved in them: iodine, bromine, boron, lithium, etc.

Keywords: thermal waters, Absheron peninsula, Kura depression, geothermal data, wells, temperature.

Введение

Одной из важнейших проблем современного естествознания является экономия энергоресурсов и замена таких не возобновляемых источников, ветровой, солнечной энергии, геотермической и другими видами энергии.

Главнейшее преимущество термальных вод состоит в том, что запасы их непрерывно возобновляются, имеется возможность получить тепло, энергию непосредственно на месте ее потребления, они ценны еще тем, что обладают целебными свойствами и возможностями получения ценных химических продуктов[1].

Следует особо отметить, что в настоящее время за рубежом имеется большой опыт по широкому использованию глубинного тепла Земли (Исландия, Италия, Новая Зеландия, США, Япония, Болгария, Венгрия и др.) в сельском хозяйстве, коммунальном хозяйстве, химической промышленности, для получения электроэнергии, а также в лечебных целях.

Постановка работы. В связи с непрерывным ростом мирового потребления энергии и постепенным истощением источников нефти и газа, каменного угля в земной коре, внимание ученых и специалистов сосредоточено на поисках новых источников энергии. При этом особое значение придается геотермальной энергии, т.к. ее запасы не ограничены, а ее использование не вызывает загрязнения окружающей среды.

Результаты и обсуждение. Носителем глубинного тепла Земли является термальная вода. Их использование в электроэнергетике усиленно конкурирует с нефтью,

газом, углем, торфом, как в экономике, так и в санитарно-гигиеническом отношении. Кроме того, неотразимо надвигающийся на мировую экономику энергетический кризис, выдвигает использование термальных вод на один из возобновляемых источников геотермальной энергии, в число важнейших проблем современности.

Термальные воды известны в ряде районов Большого и Малого Кавказа, Абшеронского полуострова, Талыше, и на обширной территории Куринской впадины и Прикаспийско-Кубинской области, где термальные воды вскрыты многочисленными скважинами, пробуренными на нефть и газ и специально на термальные воды. В настоящее время имеется геолого-промысловый материал по пробуренным на нефть и газ различного назначения более 40 тыс. скважин, порядка 33 тыс. из которых находятся в консервации или ликвидированы [2]. Мы считаем, что реанимация хотя бы их части (возвращение их во вторичное использование) не представляет сложной технической задачи, но будет являться существенным экономическим фактором при промышленных масштабах освоения месторождений геотермальных вод.

Ниже приводятся выборочные данные по основным месторождениям термальных вод [3].

Термальные воды в Масаллинском, Ленкоранском и Астаринском районах, приуроченных к региональному тектоническому разлому, пересекающий все горы Талыш.

В районе Аркеванских источников (Масаллы) скважинами глубиной до 500 м. вскрыты термальные воды с температурой на излив 44–45 °С. Температура воды в различных источниках изменяется от 50 до 64 °С. Дебит скважин 10–15 л / сек, вода минерализованная (17–18 г / л) – хлоридно-кальциевого состава.

В Ленкораском и Астаринском районах пробурен ряд скважин с глубиной 460–1000 м, которые вскрыли воды с температурой порядка 50 °С. В конце 60-х годов прошлого века в Астара-Ленкоран-Масаллинской зоне были организованы 2 опытных хозяйства, каждый из которых располагал теплицами, собранными из углового железа с покрытием полиэтиленовой пленкой. В грунт на глубину 20–25 см были уложены металлические трубы диаметром 40–55 мм, по которым циркулировала горячая вода. Расстояние между соседними трубами составляло примерно 100 см. В некоторых теплицах системой труб на стенах обогревался и воздух. В районе Масаллинской группы источников было построено 5 теплиц общей площадью 700 м². Вода из пробуренной скважины с температурой 44–50 °С и общим дебитом 5–6 л/сек подавалась с расстояния 120–140. Рассадку огурцов и помидоров посадили в декабре 1967 г., урожай был получен в марте 1968 г.

В районе Алашинских термальных источников (Астаринский район) было построено 4 теплицы общей площадью 1000 м². Вода с температурой 45–48 °С и общим дебитом 15–18 л / сек подавалась с расстояния 100 м. Рассадку помидоров и огурцов посадили в феврале 1968 г., урожай получен в начале мая.

Первый опыт использования термальных вод для обогрева теплиц показал большую перспективность метода и возможность получения 2–3 урожаев в год при минимальных затратах.

Следует отметить, что в 1960-х годах прошлого века эти воды изучались с целью вскрытия термальных вод для обогрева парниково-тепличных хозяйств.

Анализ геологических материалов показывает, что в Талыш-Ленкоранской зоне глубокими скважинами могут быть вскрыты термальные воды с температурой порядка 100 °С.

Малый Кавказ представляет особенный интерес в отношении геотермического режима. В центральной и южной его частях термальные воды приурочены, в основном, к районам развития магматических пород, главным образом, четвертичного вулканизма. Особенностью геологии термо-аномальных участков этого региона является наложение антикавказской (поперечно-кавказской) складчатости на более древнюю складчатость северо-западного направления.

Известная курортная зона Истису (Кельбаджарский район) на протяжении более 40 км по долине р.Истису характеризуется аномальным тепловым режимом. Геотермическая ступень на южных склонах (Курорт Истису и Багырсахский участок) снижается до 2–5 м и меньше, а для всего курортного района близка к 18 м/°С, т.е. тоже значительно меньше средней для Земной коры.

В тектонически разбитых участках прослеживается иногда повышение температуры вплоть до поверхности, наблюдается выделение углекислых газовых струй. Как

показали буровые работы, температура термальных вод на Багырсахском участке быстро повышается с глубиной и достигает 80° на глубине около 100 м.

В Прикаспийско-Кубинской зоне (ЮВ склон Большого Кавказа) специально пробуренными восемью скважинами вскрыты термальные воды с температурой 50–84 °С и с общим дебитом 12360 м³/сут.

Количество тепла, выносимого водой, составляет 4,2х10⁶ Гкал (12 МВт).

В Хачмазском районе одной скважиной вскрыты термальные воды с температурой 58 °С и дебиты 1228 м³/сут.

На Абшеронском полуострове термальные воды встречены скважинами на самых различных глубинах. Восточнее с.Говсан температура вод из пробуренных глубин достигает 100–135 °С. На Биби-Эйбате, непосредственно в близости г. Баку, фонтанируются скважины с температурой 71 °С.

Куринская впадина является единым, сложно построенным артезианским бассейном со сплошным распределением температуры и химического состава воды. Нами проанализированы материалы по 35 структурно-нефтяным площадям центральной Куринской депрессии Тарсдалляр, Дамир-Гала, Мамед-Гала, Джейран-чай, Дальмамедлы, Гедакбой, Гызылбулаг, Ворсинлу, Барда, Тер-Тер, Ширванлы, Агджабеды, Саатлы, Советляр, Мурадханлы, Геокчай, Сор-сор, Карамарьям и др.

Термальные воды здесь залегают на глубине 2000–4500 м, которые приурочены к отложениям абшеронского, акчагылского ярусов, продуктивной толщи, мойконской свиты и мела.

На площади Дшарлы (Кюрдамирский район) скважиной были вскрыты в верхнемеловых отложениях термальные воды с температурой порядка 100 °С и с дебитом 20 000 м³/сут.

Термальные воды с высокой температурой вскрыты и на других площадях этой зоны. Геотермические данные по скважинам показывают, что на глубинах 2000–5000 м температура достигает:

- на Абшеронском полуострове – 135 °С;
- в Гянджинском районе – 150 °С;
- в Нижне-Куринском прогибе – 135 °С;
- в Прикаспийско-Кубинском районе – 135 °С и т.д.

В условиях наличия глубинных разломов, являющихся по существу путями миграции жидкостей и газообразных веществ, глубинное тепло перемещается по этим разломам в вышележащие слои земной коры, образуются аномальные тепловые поля.

Важным способом теплообмена является перенос тепла посредством конвекции. Этот перенос осуществляется в тех случаях, когда частицы тела меняют свое местоположение в пространстве и выполняют роль носителей тепла, в частности флюиды (нефть, газ и поглощение воды), отличившихся чрезвычайно высокой теплоемкостью и подвижностью.

Выводы. Азербайджан в короткое время может создать и успешно эксплуатировать геотермические электростанции

Использование термальных вод в энергетических целях будет рационально и экономически выгодным, т.к. термальные воды Азербайджана содержат растворенные в них соли различных химических элементов: йода, брома, бора, лития и др.

Литература

1. Аббасов Ч.М. Экономика Азербайджана на путях глобализации: предпосылки и последствия. – Баку : «Элм», 2006. – 384 с.
2. Богомолов О.Т. Анатомия глобальной экономики. Учебное пособие. – М. : Академкнига, 2004.
3. URL : https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/IEEForum_Tbilisi_Sept13/Day_2/ws1/Rzayev_r.pdf

References

1. Abbasov Ch. M. Economy of Azerbaijan on the ways of globalization: preconditions and consequences. – Baku : Elm, 2006. – 384 p.
2. Bogomolov O.T. Anatomy of global economy. Text-book. – M. : Akademkniga, 2004.
3. URL : https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/IEEForum_Tbilisi_Sept13/Day_2/ws1/Rzayev_r.pdf.

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ МОДИФИКАТОРА НА
ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ КАТАЛИЗАТА ОКСИКРЕКИНГА
ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ**



**INFLUENCE OF THE NATURE OF THE MODIFIER ON
FRACTIONAL COMPOSITION OF OXYCRACKING
CATALYST OF VACUUM GASOIL**

Гусейнова Эльвира Анверовна

доктор философии по химии,
доцент кафедры нефтехимическая технология
и промышленная экология
Азербайджанского Государственного
Университета нефти и промышленности
elvira_huseynova@mail.ru

Guseinova Elvira Anverovna

D. in Chemistry, Associate Professor,
Department Petroleum Engineering
and Industrial Ecology,
Azerbaijan State University Oil and Industry
elvira_huseynova@mail.ru

Аннотация. Изучено влияние 10 d-элементов Периодической системы на фракционный состав катализатора оксикрекинга вакуумного газойля в идентичных условиях проведения процесса: температура процесса 500 °С, степень окисления – 1 %, время контакта – 0.7 сек, длительность – 900 сек, содержание модификатора составляло 2 % мас. В соответствии с возрастанием выхода фракции 50–195 (200) °С: W > Ni > Fe, Ti > Cu, Co > V > Cd > Cr > Mo. Ряд, характеризующий увеличение выхода фракции 195 (200) – 300 °С выглядит следующим образом: W > Co > Cu > Ti > Cd > Cr > Fe > Ni > V > Mo. Суммарный выход светлых фракций исследуемые модифицированные образцы располагаются в последовательности: W (38 %) > Cr (49,4 %) > Fe (55 %) > Ni (60 %) > V (64 %) > Mo (77 %). Полученные последовательности однозначно свидетельствуют в пользу наибольшей активности молибденсодержащего (на 37 % об. выход светлых превышает аналогичный показатель, полученный в присутствии немодифицированного ЦСК), а наименьшей, – вольфрам-содержащего ЦСК (на 13,6 % выход светлых меньше, чем в присутствии немодифицированного ЦСК). Кроме того, катализат, полученный в присутствии молибденсодержащего ЦСК обладает наименьшей температурой конца кипения (350 °С), тогда как вольфрам-содержащего, – наиболее высокой (500 °С).

Annotation. The effect of 10 d-elements of the Periodic Table on the fractional composition of the catalyst for the oxycracking of vacuum gas oil was studied under identical process conditions: the process temperature was 500 °C, the oxidation state was 1 %, the contact time was 0.7 sec, the duration was 900 sec, and the modifier content was 2 % wt. In accordance with the increase in the yield of the fraction 50–195 (200) °C: W > Ni > Fe, Ti > Cu, Co > V > Cd > Cr > Mo. The series characterizing the increase in the yield of the 195 (200) – 300° C fraction is as follows: W > Co > Cu > Ti > Cd > Cr > Fe > Ni > V > Mo. The total yield of light fractions of the studied modified samples are arranged in the sequence: W (38 %) > Cr (49,4 %) > Fe (55 %) > Ni (60 %) > V (64 %) > Mo (77 %). The obtained sequences unambiguously testify in favor of the highest activity of molybdenum-containing (by 37 % vol., the yield of light-colored ones exceeds that obtained in the presence of unmodified CSC), and the least – of tungsten-containing CSC (the yield of light-colored ones is 13,6 % less than in the presence of unmodified CSC). In addition, the catalyzate obtained in the presence of molybdenum-containing CSC has the lowest end-boiling point (350 °C), while the tungsten-containing one has the highest (500 °C).

Ключевые слова: модификатор, фракционный состав, оксикрекинг, вакуумный газойль.

Keywords: modifier, fractional composition, oxycracking, vacuum gas oil.

Введение

Известно, что эффективно работающие катализаторы всегда содержат добавки других элементов, оказывающих влияние на их активность и селективность. На роль добавок, увеличивающих активность гетерогенных катализаторов (промоторов), и их классификацию указал С.З. Рогинский в 1952 году [1].

По характеру действия Рогинский различает четыре группы добавок:

1. Модифицирующие – изменяющие характер и скорость первичных стадий контактных процессов.
2. Структурообразующие – регулирующие скорость макроскопических стадий в основном путем изменения структуры и величины удельной поверхности.

3. Упрочняющие (стабилизирующие) – повышающие сопротивление механическому и химическому разрушению.

4. Блокирующие – яды, выключающие частично или полностью активную поверхность.

В ходе подбора модифицирующих добавок проведения исследований процесса оксикрекинга исходили из того, что, во-первых, каталитический оксикрекинг вакуумного газойля сопровождается реакциями, протекающими и по кислотно-основному, и по окислительно-восстановительному (электронному) механизму [2–4], а во-вторых, основным направлением, по которому активность цеолитсодержащего катализатора планировалось повысить, являлось парциальное окисление.

Известно, что активными гетерогенными катализаторами окисления являются твердые соединения переходных металлов: оксиды, сульфиды и сами переходные металлы и сплавы. Характерными свойствами соединений переходных элементов как катализаторов или их модификаторов, обуславливающих каталитическую активность соединений переходных металлов в реакциях окисления, являются:

- 1) способность к координационному взаимодействию с реагентами,
- 2) изменение окислительного состояния (заряда катиона или аниона) в процессе катализа.

В ходе настоящих исследований в качестве модификаторов были изучены 10 d-элементов Периодической системы. Из них 7 d-элементов 4-го периода: Cu, Ti, V, Cr, Fe, Co Ni; 2 d-элемента 5-го периода: Cd и Mo; 1 d-элемент 6-го периода: W. Выбор Cd, который обладая заполненной d-оболочкой, формально является непереходным металлом, был продиктован эмпирическими соображениями (металлическое серебро обладает исключительно высокой активностью в некоторых реакциях селективного окисления). Ранее нами были проведены работы, посвященные исследованию фракционного состава жидких продуктов оксикрекинга, полученных в присутствии промышленного катализатора ОМНИКАТ 210 [5, 6]. Целью настоящего исследования является изучение влияния природы модификатора на фракционный состав жидких продуктов оксикрекинга вакуумного газойля.

Методика эксперимента

В качестве объекта исследований было выбрано традиционное сырье каталитического крекинга – ВГ, характеристика которого приведена в табл. Используемый в процессе цеолитсодержащий катализатор (ЦСК) ОМНИКАТ 210 (табл.) является промышленным катализатором крекинга (GRACE DAVISON, США), эксплуатируемым на НПЗ им Г.Алиева (Баку, Азербайджан) на установке каталитического крекинга с кипящим слоем.

Таблица – Физико-химические показатели вакуумного газойля и катализатора

Показатели	Значение	Показатели	Значение
Плотность при 20 °С, г / см ³	0,903	Площадь поверхности, м ² / г	200
Вязкость при 50 °С, мм ² / с	25,32	Объем пор, мм ² / г	0,4
Молекулярная масса	353	Насыпная плотность, г / мл	0,65
Коксуемость, % масс.	0,16	Прочность на раздавливание	5
Содержание серы, % масс.	1,7	Гранулометрический состав, % масс.	
Содержание азота, % масс.	0,14	0–20 мкм	1
Содержание смол, % масс.	1,59	0–40 мкм	15
Температура застывания, °С	24	0–80 мкм	92
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	74	Средний размер частиц, мкм	70
Фракционный состав, °С (ASTM D2887):		Al ₂ O ₃ , %	44,0
н.к.	272	Na ₂ O ₃	0,25
10 %	373	RE ₂ O ₃ , %	1,9
50 %	456	Pt, ppm	> 5
90 %	492		

Модифицированные образцы готовили на основе промышленного ОМНИКАТ 210 добавлением растворов индивидуальных азотнокислых солей. Содержание модификатора составляло 2 % масс.

В лабораторных условиях исследования процесса окискрекинга вакуумного газойля проводили в проточном реакторе с электрообогревом при атмосферном давлении в интервале температур 450–550 °С. В реакторе помещали катализатор фракции 1–2 мм, который сверху и снизу фиксировался слоями кварцевой крошки. Непрерывная подача сырья обеспечивалась с помощью насоса. Продукты реакции, проходя охлаждаемый до 5 °С змеевой холодильник, разделялись соответственно на газообразные и жидкие, которые собирались в приемниках.

Объемная скорость подачи сырьевой смеси была выбрана в соответствии с необходимостью обеспечения безопасного режима ведения процесса [7]: ВГ – 25 мл / мин, воздуха – 43,75, 87,5 и 175 мл / мин, что обеспечивало 0,7, 1,0 и 2,0 % степень окисления соответственно. Необходимое время контакта достигали варьированием объемной скорости.

Обсуждение результатов

Определение фракционного состава нефтяных фракций является научно-обоснованной методологией при оценке их физико-химических свойств и качества, в частности, испаряемости. Испаряемость характеризует способность создавать горючую смесь, т.е. перевести, к примеру, бензин, из жидкого состояния в парообразное, и тем самым сделать возможным наиболее полное сгорание смеси за весьма малый промежуток времени. Согласно литературным данным [8] на полноту сгорания горючей смеси наибольшее влияние оказывает неравномерность распределения смеси по цилиндрам, при котором в отдельные цилиндры может поступать горючая смесь разного качества. Неравномерность распределения может быть количественная и качественная. Если количественная неравномерность связана с различием в качестве горючей смеси в отдельных цилиндрах по коэффициенту избытка воздуха, то качественная характеризует различное содержание отдельных фракций топлива в горючей смеси, поступающей в цилиндры двигателя. Качественная неравномерность распределения горючей смеси по цилиндрам двигателя связана в первую очередь с тем обстоятельством, что бензины являются сложной смесью различных углеводородов. Переход отдельных фракций бензина в парообразное состояние происходит в определенной последовательности. Вначале испаряются более низкокипящие углеводороды, затем высококипящие, при этом жидкая фаза обогащается тяжелыми углеводородами, кипящими при высокой температуре.

Ввиду этого, были проведены исследования фракционного состава жидких катализаторов, полученных в процессе окискрекинга вакуумного газойля в присутствии цеолитсодержащих катализаторов, модифицированных d-элементами. Влияние природы модификатора обсуждается в свете количественного содержания I, II и III фракций (50–195 (200) °С, 195 (200) – 300 °С и 300–420 °С соответственно).

Представленный на рисунке 1 а экспериментальные данные наглядно показывают, что наиболее легкий по фракционному составу катализатор при использовании в качестве модификаторов d-элементов одного (4-го) периода 4, 5 и 6 группы (Ti, V и Cr соответственно) был получен в присутствии ванадия. При этом если выход I фракции (С5 – 195 (200) °С) был практически одинаков для всех трех модификаторов и находится на уровне 8 %, то наибольшее содержание II фракции (195 (200) – 300 °С) достигало уже 56 % в присутствии ванадий-модифицированного, против 37,2 и 41,2 % в присутствии титана и хром-модифицированного катализатора соответственно.

Влияние модификаторов в пределах одного периода и одной группы продемонстрировано на рисунке 1, б. Здесь, как и в предыдущем случае отличия в содержании низкокипящей I фракции минимально, ее выход находится в пределах 7,8 %, тогда как содержание II фракции в зависимости от модификатора отличаются значительно: наибольший выход (52,3 %) в присутствии никеля, а наименьший, – кобальта (32,1 %). Модифицированный железом образец демонстрирует промежуточный показатель – 47,2 %.

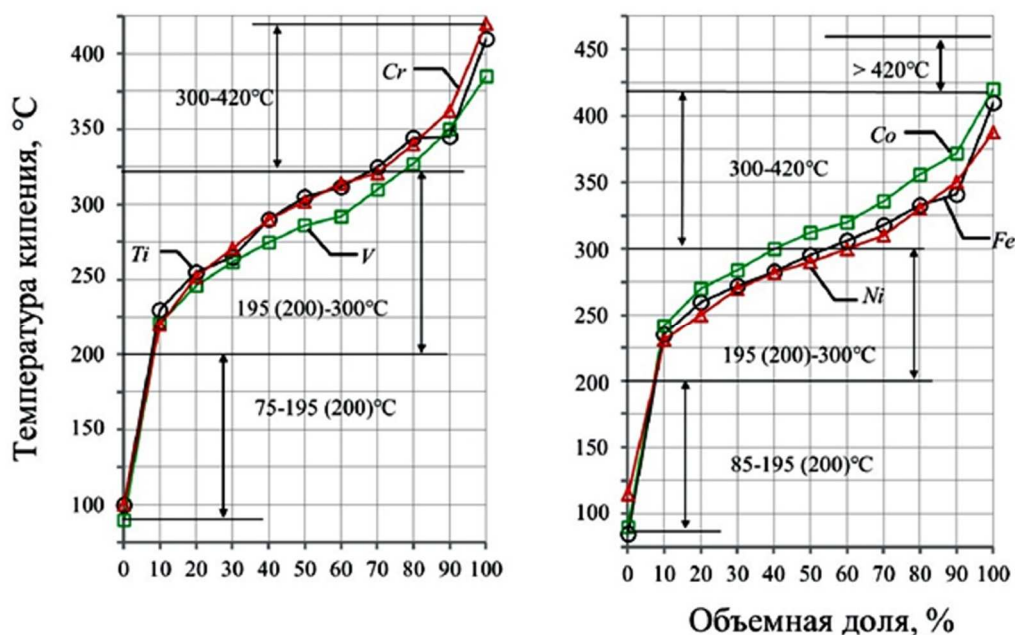


Рисунок 1 – Зависимость фракционного состава жидкого катализатора, полученных в присутствии ЦСК, модифицированного d-элементами одного (4-го) периода (а – элементы 4, 5 и 6 группы (Ti, V и Cr соответственно); б – 8 группы (Fe, Co и Ni))

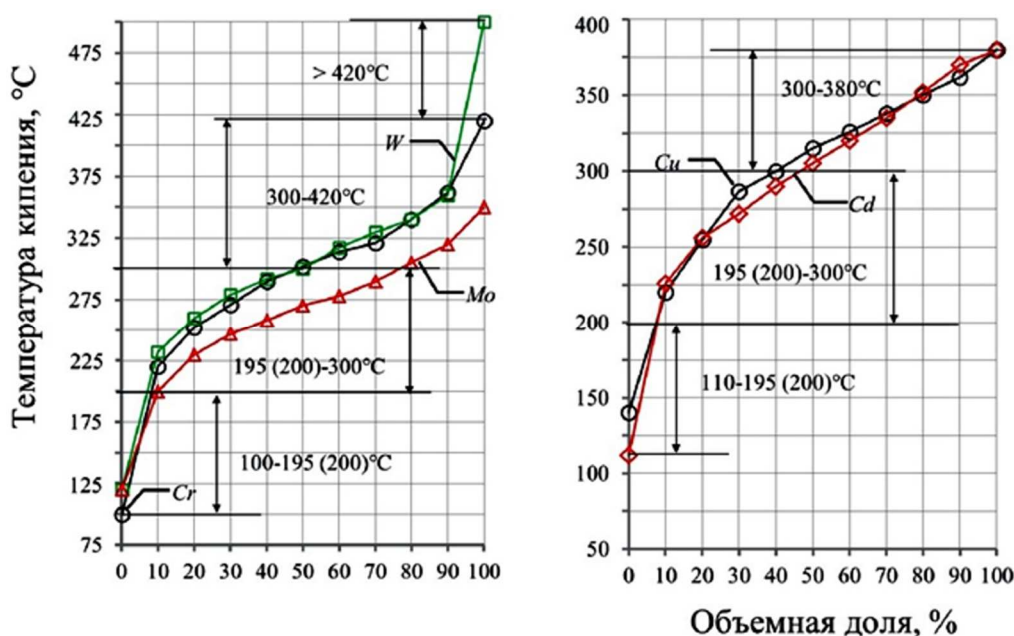


Рисунок 2 – Зависимость фракционного состава жидкого катализатора, полученных в присутствии ЦСК, модифицированного d-элементами одной (6-той) группы (а – элементы 4,5,6 периодов: Cr, Mo и W), а также различных (1 и 2-ой) групп (б – элементы 4 и 5 периодов: Cu и Cd)

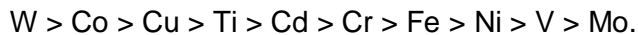
Зависимость фракционного состава жидкого катализатора, полученных в присутствии ЦСК, модифицированного d-элементами одной 6-той группы 4, 5, 6 периодов (Cr, Mo и W соответственно, рис. 2, а), указывает на более высокую крекирующую активность молибден-содержащего катализатора, – выход низкокипящей I фракции составляет 10 %, II фракции – 67 %. Содержащие вольфрам и хром ЦСК-образцы проявили значительно более скромные показатели и близкие друг к другу показатели: выход I фракции – 7,2–8,2 %, II фракции – 41,8–42,3 %.

Фракционный состав катализаторов, полученных в присутствии модификаторов различных (1 и 2-ой) групп и периодов (4 и 5-го): Cu и Cd соответственно, показал, что неперегородный металл кадмий проявил несколько большую активность, чем медь: выход светлых фракций на 6 % выше (за счет II фракции).

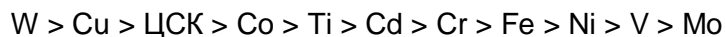
Полученные результаты позволили расположить исследуемые модификаторы в соответствии с возрастанием выхода низкомолекулярной I фракции:



Ряд, характеризующий увеличение выхода II фракции выглядит следующим образом:



Согласно суммарному выходу светлых фракций исследуемые модифицированные ЦСК располагаются в схожей с выше представленным рядом, за исключением смены мест меди и кобальта, а в сравнении с исходным немодифицированным образцом ЦСК модифицированные образцы располагаются в последовательности:



(38 %) (40 %) (40 %) (44 %) (45 %) (46,1 %) (49,4 %) (55 %) (60 %) (64 %) (77 %)

Для корректности сравнения, все результаты были получены при идентичных условиях проведения оксикрекинга: температура процесса 500 °С, степень окисления – 1 %, время контакта – 0,7 сек, длительность – 900 сек.

Таким образом, полученные последовательности однозначно свидетельствуют в пользу наибольшей активности молибденсодержащего (на 37 % об. выход светлых превышает аналогичный показатель, полученный в присутствии немодифицированного ЦСК), а наименьшей, – вольфрам-содержащего ЦСК (на 13,6 % выход светлых меньше, чем в присутствии немодифицированного ЦСК). Также следует отметить, что в целом, катализатор, полученный в присутствии молибденсодержащего ЦСК обладает наименьшей температурой конца кипения (350 °С), тогда как вольфрам-содержащего, – наиболее высокой (500 °С).

Литература

1. Кузнецов В.И. Развитие учения о катализе // АН СССР, Ин-т ист. естествозн. и техники. – М. : Наука, 1964. – 422 с.
2. Крылов О.В. Гетерогенный катализ // «Академкнига», 2004. – 679 с.
3. Марголис Л.Я. Окисление углеводородов на гетерогенных катализаторах. – М. : «Химия», 1977. – 328 с.
4. Алхазов Т.Г., Аджамов К.Ю., Ханмамедова А.К. Каталитическое окисление пропилена // Усп. хим. – 1982. – № 51:6. – С. 950–967; Russian Chem. Reviews. – 1982. – № 51:6 – P. 542–551.
5. Formation kinetics of hydrocarbon compounds in the vacuum gas oil oxycracking process / E.A. Guseinova [et al.] // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. – 2020. – № 131. – P. 57–74. – URL : <https://doi.org/10.1007/s11144-020-01831-7> ; <https://link.springer.com/article/10.1007/s11144-020-01831-7>
6. Guseinova E.A., Mursalova L.A., Ajamov K.Yu. Investigating the Acidic and Basic Properties of Zeolite-Containing Crack-ing Catalyst in the Process of Butene-1 Isomerization // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2016. – № 8. – Vol. 90. – P. 1533–1538. – URL : <https://link.springer.com/article/10.1134/S0036024416080197>
7. Гусейнова Э.А. влияние технологических параметров на фракционный состав продуктов оксикрекинга вакуумного газойля // «Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya» ETİ Elmi əsərləri, 2020. – С. 71–83.
8. Гуреев А.А. Применение автомобильных бензинов. – М. : Химия, 1972. – 368 с.

References

1. Kuznetsov V.I. Development of Catalysis Doctrine // USSR Academy of Sciences, Institute of History of Natural History and Technology. – М. : Nauka, 1964. – 422 p.
2. Krylov O.V. Heterogeneous Catalysis // Akademkniga, 2004. – 679 p.
3. Margolis L.Y. Oxidation of Hydrocarbons on Heterogeneous Catalysts. – М. : «Chemistry», 1977. – 328 p.
4. Alkhazov T.G., Adjamov K.Y., Khanmamedova A.K. Catalytic oxidation of propylene // Usp. chim. – 1982. – № 51:6. – P. 950–967; Russian Chem. Reviews. – 1982. – № 51:6 – P. 542–551.

5. Formation kinetics of hydrocarbon compounds in the vacuum gas oil oxycracking process / E.A. Guseinova [et al.] // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. – 2020. – № 131. – P. 57–74. – URL : <https://doi.org/10.1007/s11144-020-01831-7> ; <https://link.springer.com/article/10.1007/s11144-020-01831-7>
6. Guseinova E.A., Mursalova L.A., Ajamov K.Yu. Investigating the Acidic and Basic Properties of Zeolite-Containing Crack-ing Catalyst in the Process of Butene-1 Isomerization // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2016. – № 8. – Vol. 90. – P. 1533–1538. – URL : <https://link.springer.com/article/10.1134/S0036024416080197>
7. Huseynova E.A. Influence of technological parameters on the fractional composition of vacuum gasoil oxycracking products // «Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və kimya» ETİ Elmi əsərləri, 2020. – P. 71–83.
8. Gureev A.A. Application of automobile gasoline. – M. : Chemistry, 1972. – 368 p.

УДК 622.276.66

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРП В УСЛОВИЯХ
СЕВЕРО-САВИНОБОРСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**



**DESIGN OF THE HYDRAULIC FRACTURING IN THE CONDITIONS
OF THE SEVERO-SAVINOBORSKOYE OIL FIELD**

Дерли Наталия Александровна

студент
направления подготовки Нефтегазовое дело
Ухтинский государственный технический университет
nata_kovalchuk@mail.ru

Савенок Ольга Владимовна

доктор технических наук, профессор
кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и
газовых месторождений и подземной гидромеханики,
Ухтинский государственный технический университет
olgasavenok@mail.ru

Аннотация. Геолого-промысловые исследования Северо-Савиноборского нефтяного месторождения, расположенного в юго-восточной части Республики Коми на территории Вуктыльского района, показали низкую проницаемость в призабойной зоне пласта. Уровень добычи нефти падает на 7 тыс. тонн ежегодно. В связи с этим необходимо провести гидравлический разрыв пласта с целью повышения проницаемости призабойной зоны. В статье описывается проектирование ГРП в условиях этого месторождения, который необходим для образования новых или раскрытия уже существующих трещин с целью повышения проницаемости призабойной зоны пласта и увеличения производительности скважины. Показано, что процесс проведения ГРП экономически обоснован, т.к. окупается за 3,5 месяца, что является сравнительно небольшим сроком. Дополнительно добытая нефть за сутки получается 31 тонна, а увеличение объёмов добычи всегда было целью любой нефтяной компании.

Ключевые слова: теоретические основы гидравлического разрыва пласта; подбор скважин для проведения ГРП; порядок проведения работ по подготовке к ГРП; жидкости для проведения ГРП; техника для гидравлического разрыва пласта; расчёт параметров процесса ГРП; технико-экономическое обоснование ГРП.

Derly Natalia Alexandrovna

Student,
Training Direction Oil and Gas Engineering,
Ukhta State Technical University
nata_kovalchuk@mail.ru

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Development and
Operation of Oil and Gas Fields and
Underground Hydromechanics,
Ukhta State Technical University
olgasavenok@mail.ru

Annotation. Geological field studies of the Severo-Savinoborskoye oil field located in the southeastern part of the Komi Republic in the Vuktyl region showed low permeability in the bottomhole formation zone. The level of oil production falls by 7 thousand tons annually. In this regard, it is necessary to carry out hydraulic fracturing in order to increase the permeability of the bottomhole zone. The article describes the design of hydraulic fracturing in the conditions of this field, which is necessary for the formation of new or opening of existing fractures in order to increase the permeability of the bottomhole formation zone and increase well productivity. It is shown that the process of hydraulic fracturing is economically justified, since pays off in 3.5 months, which is a relatively short period. Additional oil produced per day is 31 tons, and increasing production volumes has always been the goal of any oil company.

Keywords: theoretical foundations of hydraulic fracturing; selection of wells for hydraulic fracturing; the procedure for carrying out work to prepare for hydraulic fracturing; hydraulic fracturing fluids; hydraulic fracturing equipment; calculation of the parameters of the hydraulic fracturing process; feasibility study of hydraulic fracturing.

Теоретические основы гидравлического разрыва пласта

В настоящее время в разработку широко вовлекаются трудноизвлекаемые запасы нефти, приурочены к низкопроницаемым, слабодренлируемым, неоднородным и расчленённым коллекторам. Одним из эффективных методов повышения продуктивности скважин, вскрывающих такие пласты, и увеличения темпов отбора нефти из них, является гидравлический разрыв пласта. Гидравлический разрыв может быть определён как механический метод воздействия на продуктивный пласт, при котором порода разрывается по плоскостям минимальной прочности, благодаря воздействию на пласт давления, создаваемого закачкой в пласт флюида. Флюиды, посредством которых с поверхности на забой которых с поверхности на забой передаётся энергия, необходимая для разрыва, называется жидкостями разрыва. После разрыва

под воздействием давлений жидкости трещина увеличивается, возникает её связь с системой естественных трещин, не вскрытых скважиной, и с зонами повышенной проницаемости; таким образом, расширяется область пласта, дренируемая скважиной. В образованные трещины жидкостями разрыва транспортируется зернистый материал, закрепляющий трещины в раскрытом состоянии после снятия избыточного давления.

Одним из важнейших параметров проведения ГРП является давление гидроразрыва, при котором образуются трещины в материале породы. В идеальных условиях давление раскрытия трещин $p_{грп}$ должно быть не меньше горного давления $p_{гор}$, создаваемого толщей вышележащих пород. Однако в реальных условиях может выполняться неравенство $p_{грп} \ll p_{гор}$, что объясняется наличием в пласте глинистых пропластков, обладающих хорошими пластичными свойствами. В процессе бурения, когда ствол скважины не обсажен, под действием веса вышележащих пород может произойти выдавливание глины из пласта в скважины и частичное разгружение пласта, расположенного под глинистыми пропластками, что и приводит к снижению давления гидроразрыва.

Гидроразрыв проводят по следующей технологии. В начале под большим давлением закачивают жидкость с песком. Обычно и жидкость разрыва и жидкость-песконоситель при обработке добывающих скважин приготавливают на углеводородной основе. Концентрация в жидкости-песконосителе обычно колеблется в пределах от 100 до 500 кг / м³ и зависит от её фильтруемости и удерживающей способности.

Далее закачивают продавочную жидкость для доведения жидкости-песконосителя до пласта. Для этих целей чаще всего используют воду.

К жидкости разрыва предъявляются следующие требования. Во-первых, она должна быть высоковязкой, чтобы не произошло её быстрое проникновение в глубь пласта, иначе повышение давления вблизи скважины будет недостаточным. Во-вторых, при наличии в разрезе скважины нескольких продуктивных пропластков необходимо обеспечить по возможности равномерный профиль приёмистости. Для гидроразрыва пласта необходимо использовать жидкость, вязкость которой не зависит от скорости фильтрации.

Подбор скважин для проведения ГРП

Перед непосредственным расчётом ГРП проверим готовность скважины к запланированному мероприятию. Объектом для проведения технологии ГРП могут быть пласты-коллекторы, сложенные как терригенными, так и карбонатными породами.

Наиболее благоприятными объектами для проведения ГРП являются пласты, обладающие высокой пластовой энергией и нефтенасыщенностью. Предпочтение следует отдавать объектам воздействия:

- продуктивные пласты, которых сложены низкопроницаемыми коллекторами с остаточной вертикальной трещиноватостью;
- продуктивность которых в данной скважине ниже, чем у близлежащих скважин, пробуренных на тот же объект;

Кроме того:

- потенциальный дебит (максимальный дебит за всю историю эксплуатации) – не менее 3 тонн / сут.;
- толщина перекрывающих и подстилающих экранов – не менее 3 м;
- отношение текущего пластового давления к начальному – от 0,8 до 0,9;
- состояние цементного камня в интервале перфорации ± 10 м – хорошее;
- скважина не должна иметь заколонных перетоков;
- зенитный угол ствола скважины в интервале пласта – не более 10°.

Порядок проведения работ по подготовке к ГРП

Перед проведением гидравлического разрыва проводятся следующие мероприятия:

- производится промывка забоя до чистой воды;
- колонна НКТ приподнимается на 5,0 м выше кровли пласта;
- по НКТ производится перфорация зарядами ПКР-42С или при необходимости углубленная перфорация зарядами ПКС-105С, ПЛ-70;

- при необходимости производится очистка эксплуатационной колонны гидравлическим скребком в месте посадки пакера и якоря;
- производится замена эксплуатационной устьевой арматуры на специальную фонтанную арматуру для ГРП;
- в скважину спускаются технологические трубы с пакером и якорем и опрессовочным седлом;
- осуществляется посадка пакера с якорем.

Жидкости для проведения ГРП

Жидкости ГРП предназначены для проведения операций по интенсификации процессов добычи нефти за счет увеличения каналов гидравлического взаимодействия пластов со скважиной.

Различные жидкости разрыва перед использованием их в том или ином пласте должны быть проверены на взаимодействие с породой и насыщающими данный пласт жидкостями. Это определяет возможность использования той или иной жидкости разрыва в данном пласте. Чрезвычайно важно уменьшить возможность образования вторичных эмульсий и отделения от породы мелкодисперсных частиц, которые будут мешать движению потока жидкости по трещине. Проверка на взаимодействие поможет обнаружить такие поверхностно-активные вещества и химические реагенты, которые при введении их в жидкость разрыва предотвратят указанные вредные процессы.

Для выбора необходимой жидкости разрыва, подходящей для рассматриваемого месторождения, важно учесть такой параметр как пластовая температура. Это связано с тем, что при высоких температурах некоторые жидкости теряют значительный процент своей эффективности.

Рекомендуется использовать жидкости разрыва на основе полисахаридов, разработанные ООО «ПермьНИПИнефть».

Составы жидкостей ГРП готовятся на водной основе и отличаются невысокой стоимостью, способностью к изменению реологических свойств в широких пределах, а также управляемой скоростью деструкции. Свойства жидкостей ГРП на основе полисахаридов обеспечивают проведение работ по гидроразрыву низко- и высокопроницаемых пород. В зависимости от соотношения ингредиентов, входящих в состав, жидкости ГРП могут использоваться как жидкость разрыва и как жидкость-песконоситель.

Жидкость ГРП содержит полисахаридный полимер, неорганическую соль для обеспечения необходимой плотности, сшивающий агент, реагент-терморегулятор и деструктор.

Жидкость ГРП имеет следующие показатели:

- динамическая вязкость при температуре 20 °С (по вискозиметру Хепплера), от 200 до 2000 мПа · с;
- пескоудерживающая способность при концентрации песка в жидкости до 700 кг / м³ при 20 °С – не менее 8 часов, при 80 °С – не менее 6 часов;
- плотность от 1020 до 1180 кг / м³;
- время хранения в промысловых условиях при 20°С – от 3 до 5 сут.;
- не образует водонефтяных эмульсий;
- не изменяет своих свойств при контакте с породой и пластовыми флюидами.

Жидкость-песконоситель используется для транспортирования песка с поверхности до трещины и заполнения последней песком. Она должна быть инертна по отношению к продукции пласта и длительное время не изменять своих свойств, также обладать минимальной фильтруемостью и высокой удерживающей способностью в отношении взвешенного в ней песка. В качестве жидкости-песконосителя возьмём проппант средней прочности, т.к. песок не выдерживает горного давления после ГРП и трещина смыкается. Плотность проппанта около 2,7 г / см³.

Техника для гидравлического разрыва пласта

Как правило, ГРП проводят по колонне НКТ, спускаемой в скважину и закрепляемой на расчетной глубине пакером или якорем. Так как в процессе разрыва под паке-

ром создаётся высокое давление, существенно превышающее гидростатическое давление столба жидкости, на пакер действует значительная страгивающая сила, что может вызывать его перемещение вверх и продольный изгиб НКТ. Во избежание этого выше пакера устанавливают гидравлический якорь плашечного типа. При создании внутри якоря избыточного давления зубчатые плашки раздвигаются и вдавливаются в обсадную колонну, надёжно фиксируя спущенное в скважину оборудование.

Поверхностное оборудование для производства ГРП включает: специальные насосные агрегаты износостойкого исполнения, например, 4АН-700. Привод силового насоса этого агрегата – дизельный двигатель, который связан с приводным валом силового насоса.

Для приготовления смеси жидкость-песконоситель используют пескосмесительные агрегаты с автоматически регулируемым дозаторами жидкости и наполнителя. Принципиально такой агрегат включает двигатель привода насоса, центробежный пульповый насос, специальный двухкамерный бункер для наполнителя, смесительное устройство с четырёхлопастными мешалками.

Для доставки к скважине рабочей жидкости используем автоцистерны 4-ЦР ёмкостью 10 м³.

При производстве ГРП обязательным элементом является манифольдный блок высокого давления, предназначенный для обвязки выкидных насосных агрегатов и присоединения их к специальной арматуре устья скважины. Принципиальная схема расположения оборудования и обвязки устья при гидроразрыве показана на рисунке 1.

Все насосные агрегаты управляются одним оператором из станции контроля. В станцию контроля на центральный компьютер передаются такие параметры как: давление на НКТ, давление на затрубе, скорость потока жидкости и др.

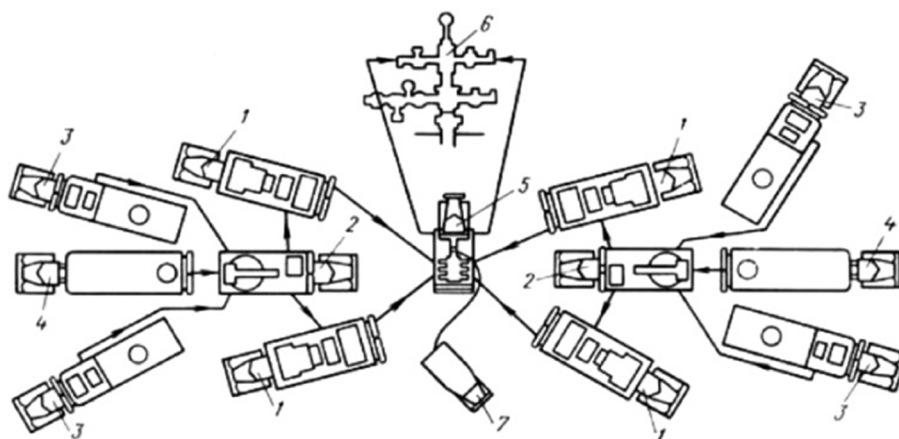


Рисунок 1 – Схема обвязки наземного оборудования при ГРП: 1 – насосный агрегат 4АН-700; 2 – пескосмесительный агрегат; 3 – автоцистерна; 4 – песковоз; 5 – блок манифольда 1БМ-700; 6 – арматура устья 2АУ-700; 7 – станция контроля и управления процессом

Расчёт параметров процесса ГРП

Исходные данные для расчёта.

Плотность пластового флюида, кг / м ³	848
Давление в пласте, МПа	25,6
Температура в пласте, °С	65
Пористость, %	14
Проницаемость, м ²	$4,6 \cdot 10^{-15}$
Градиент трения в НКТ, Па / м	$6,5 \cdot 10^3$
Гидростатический градиент, Па / м	10^4
Подача жидкости при основном ГРП, м ³ / с	0,0467
Потери давления на перфорации, МПа	1,85
Забойное давление, МПа	19,5
Динамическая вязкость, Па · с	$0,9 \cdot 10^{-3}$
Дебит скважины до разрыва пласта, м ³ / с	90,1

В таблице 1 даны характеристики обсадной колонны и НКТ, используемых в проектируемом процессе ГРП.

Таблица 1 – Характеристики обсадной колонны и НКТ

Характеристика труб	Обсадная колонна	НКТ
Внешний диаметр, мм	177,8	88,9
Внутренний диаметр, мм	157,0	75,9
Давление деформации, МПа	56,3	70,1
Прочность на смятие, МПа		72,6
Общая глубина, м	2515	
Интервал перфорации, м	2443,0; 2461,0; 2465,0; 2467,0	2455,0; 2458,0; 2474,0; 2481,0
Объем до верхнего уровня перфорации, м ³	16,9	–
Вертикальная глубина до среднего уровня перфорации, м	2291,0	
Глубина спуска пакера, м	2433,0	–

Количество жидкости разрыва колеблется от 4 до 10 м³. Это зависит от вязкости жидкости, от степени поглощения, расхода в единицу времени, от давления разрыва. Для данной скважины примем средний объем $V_{ср} = 7 \text{ м}^3$. Опираясь на опыт по проведению ГРП по различным месторождениям, возьмём количество закачиваемого песка 8 тонн. Концентрацию песка примем $C = 300 \text{ кг / м}^3$. Зная концентрацию песка и его количество, можно рассчитать V жидкости-песконосителя:

$$V_{жп} = \frac{M_{пес}}{C} = \frac{7}{0,3} = 23,3 \text{ м}^3.$$

Найдём оптимальную концентрацию песка:

$$C = \frac{4000}{V} = \frac{4000}{15} = 266,6 \text{ кг / м}^3,$$

где V – скорость падения зёрен песка диаметром 0,8 мм в метр в час (определяем скорость по графику зависимости скорости падения зёрен песка от вязкости жидкости-песконосителя).

Найдём содержание песка в объёме 23,3 м³:

$$G_{пес} = C \cdot V_{жп} = 266,6 \cdot 23,3 = 6211,78 \text{ кг} = 6,2 \text{ тонн}.$$

Зная глубину скважины и внутренний диаметр обсадной колонны, можно определить требуемый объём продавочной жидкости:

$$V_{пр.ж} = \frac{\pi \cdot D_{вн}^2}{4} \cdot H \cdot 1,3 = \frac{3,14 \cdot 0,157^2}{4} \cdot 2515 \cdot 1,3 = 63,2 \text{ м}^3.$$

Общая продолжительность процесса ГРП:

$$T = \frac{V_{ср} + V_{жп} + V_{пр}}{Q},$$

где Q – суточный расход рабочей жидкости, м³ ($Q = 1300 \text{ м}^3$).

$$T = \frac{7 + 23,3 + 63,3}{1300} = 0,072 \text{ сут.} = 2 \text{ часа } 18 \text{ мин.}$$

Для определения радиуса горизонтальной трещины необходимо знать время закачки жидкости разрыва, которая рассчитывается по формуле:

$$T_p = \frac{V_{ср} \cdot 1440}{Q} = \frac{7 \cdot 1440}{1300} = 7,8 \text{ мин.} = 465 \text{ с.}$$

Радиус горизонтальной трещины определяем по формуле:

$$r_{\text{тр}} = C \cdot \left(Q \cdot \left(\frac{\mu \cdot t_p}{k} \right)^{0,5} \right)^{0,5},$$

где C – эмпирический коэффициент, зависящий от горного давления и характеристики горных пород, который для нашей скважины принимается равным 0,02; Q – расход жидкости разрыва, равный $15 \text{ л / с} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$; t_p – время закачки жидкости разрыва; μ – вязкость жидкости разрыва, равная $50 \text{ сП} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$; k – проницаемость пород.

Тогда радиус горизонтальной трещины будет равен:

$$r_{\text{тр}} = 0,02 \cdot \left(15 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 465}{4,5 \cdot 10^{-15}} \right)^{0,5} \right)^{0,5} = 20,76 \text{ м}.$$

Проницаемость горизонтальной трещины определяем по формуле:

$$k_{\text{тр}} = \frac{10^8 \cdot w^2}{12},$$

где w – толщина трещины (принимаем $w = 0,1 \text{ см}$).

$$k_{\text{тр}} = \frac{10^8 \cdot 0,1^2}{12} = 83 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2.$$

Проницаемость призабойной зоны пласта будет равна:

$$k_{\text{пз}} = \frac{k_{\text{п}} \cdot h + k_{\text{тр}} \cdot w}{h + w},$$

где $k_{\text{п}}$ – проницаемость пласта ($k_{\text{п}} = 4,5 \cdot 10^{-15} \cdot \text{м}^2$); h – эффективная толщина пласта ($h = 35 \text{ м}$).

Отсюда $k_{\text{пз}} = 2,37 \cdot 10^{-12} \cdot \text{м}^2$.

Проницаемость всей дренажной системы рассчитаем по формуле:

$$k_{\text{дс}} = \frac{k_{\text{п}} \cdot k_{\text{пз}} \cdot \lg \left(\frac{R_{\text{к}}}{r_{\text{СКВ}}} \right)}{k_{\text{пз}} \cdot \lg \left(\frac{R_{\text{к}}}{r_{\text{тр}}} \right) + k_{\text{п}} \cdot \lg \left(\frac{r_{\text{тр}}}{r_{\text{СКВ}}} \right)},$$

где $R_{\text{к}}$ – радиус контура питания скважины (принимаем $R_{\text{к}} = 250 \text{ м}$); $r_{\text{СКВ}}$ – радиус забоя скважины ($r_{\text{СКВ}} = 0,01 \text{ м}$).

Отсюда $k_{\text{дс}} = 0,012 \cdot 10^{-12} \cdot \text{м}^2$.

Так как потери напора в трещине очень малы, то можно принять, что максимальный дебит скважины после ГРП с образованием в призабойной зоне горизонтальных или вертикальных трещин определяется по формуле:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{дс}} \cdot h \cdot \Delta P}{\mu \cdot \ln \left(\frac{R_{\text{к}}}{r_{\text{тр}}} \right)},$$

где Q – максимальный дебит, $\text{м}^3 / \text{сут}$.

$$\Delta P = P_{\text{пл}} - P_{\text{заб}} = (25,6 - 19,5) \cdot 10^6 = 6,1 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^2.$$

Отсюда $Q = 24$ тонн / сут.

Давление разрыва пласта рассчитаем по формуле

$$P_{\text{разр}} = P_{\text{верт}}^{\text{гор}} + P_{\text{пл}} + \sigma_{\Gamma},$$

где $P_{\text{верт}}^{\text{гор}}$ – давление вышележащих пород.

$$P_{\text{разр}} = (61,7 + 24,5 + 2) \cdot 10^6 = 88,2 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^2.$$

Допустимое давление на устье скважины:

$$P_{\text{уст}} = \frac{D_{\text{н}}^2 - D_{\text{в}}^2}{D_{\text{н}}^2 + D_{\text{в}}^2} \cdot \frac{\sigma_{\Gamma}}{K} + P_{\text{пл}} + \frac{\gamma}{10 \cdot (h - L)},$$

где $D_{\text{н}}$ – наружный диаметр обсадных труб; $D_{\text{в}}$ – внутренний диаметр нижней части колонны труб; σ_{Γ} – предел текучести; K – запас прочности ($K = 1,5$); h – потери напора на трение в обсадной колонне; γ – плотность жидкости разрыва; L – длина обсадной колонны.

Потери напора в трубах для скважины глубиной 2515 м:

$$h = \frac{56 \cdot 2515}{1750} = 81 \text{ м ст. жидк.}$$

Подставляя численные значения, найдём допустимое давление на устье скважины, которое равно $19,74 \cdot 10^6$ Па.

Рассчитаем допустимое давление на устье скважины в зависимости от прочности резьбы верхней части колонны труб на страгивающие усилия:

$$P_{\text{уст}} = \frac{\left(\frac{P_{\text{стр}}}{K} - G \right)}{\frac{\pi \cdot D_{\text{в}}^2}{4}},$$

где $P_{\text{стр}}$ – страгивающая нагрузка для обсадных труб; G – усилие затяжки при обвязке обсадной колонны.

$$P_{\text{уст}} = \frac{\left(\frac{125}{1,5} - 50 \right)}{\frac{3,14 \cdot 15,7^2}{4}} = 17,2 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Из полученных двух значений устьевого давления выбираем меньшее ($17,2 \cdot 10^6$ Па).

Давление разрыва на забое и давление на устье скважины связаны соотношением:

$$P_{\text{заб}} = P_{\text{уст}} + P_{\text{ст}} = (17,2 + 25,4) \cdot 10^6 = 42,6 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

При ГРП с закачкой жидкости по обсадной колонне при $P_{\text{уст}} = 17,2 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^2$ цементировочные агрегаты ЦА-320М. Для принятого темпа закачки жидкостей $q = 15 \text{ л / с}$ необходимое число насосных агрегатов при одном резервном составит:

$$n = \frac{q}{q_{\text{ар}}} + 1,$$

где $q_{\text{ар}} = 5,1 \text{ л / с}$ – производительность одного агрегата на II скорости при $P = 17,2 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^2$.

$$n = \frac{15}{5,1} + 1 = 4 \text{ агрегата.}$$

Для смешивания песка с жидкостью применяем специальный пескосмесительный агрегат ЗПА, имеющий бункер на 8 тонн песка и механическую лопастную мешалку.

Для доставки к скважине рабочей жидкости применяются автоцистерны 4-ЦР ёмкостью 10 м³.

Устьевое оборудование АУ-5 предназначено для подключения к устью скважины насосных агрегатов и контрольно-измерительных приборов.

Ожидаемый эффект от ГРП предварительно определяем по приближённой формуле:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{k_2 \cdot \lg\left(\frac{R}{r_{скв}}\right)}{k_2 \cdot \lg\left(\frac{R}{r_{тр}}\right) + k_1 \cdot \lg\left(\frac{r_{тр}}{r_{скв}}\right)} = 2,3,$$

где Q_2 – дебит скважины после гидроразрыва, тонн/сут.; Q_1 – дебит скважины до гидроразрыва, тонн/сут.; k_1 – естественная проницаемость пласта, Дарси; k_2 – средняя проницаемость призабойной зоны скважины; R – радиус дренажа скважины, м.

Указанное выше отношение дебитов является теоретическим обоснованием ГРП.

Технико-экономическое обоснование ГРП

Основная цель расчётов – экономическая оценка предлагаемого проекта по ГРП на Северо-Савиноборском месторождении, отвечающая критерию достижения максимального экономического эффекта от возможно более полного извлечения нефти и получения прибыли за счёт дополнительной добычи при соблюдении требований экологии и охраны окружающей среды.

Экономическая эффективность проекта выражается в расчёте прибыли от дополнительной добычи нефти. При этом учитываются все статьи затрат: затраты на подготовительные работы, проведение ГРП, эксплуатационные затраты, затраты на электроэнергию, налоговые исчисления. Таким образом, необходимо выполнить экономическое обоснование предлагаемых мероприятий, т.к. только на основании экономических показателей (таких как показатель экономического эффекта и прибыль от реализации продукции) можно судить об экономической эффективности предлагаемых мероприятий. Численные значения этих показателей дают полное представление об экономической эффективности предлагаемых мероприятий. В таблице 2 приведено сравнение технико-экономических показателей вариантов разработки с проведением ГРП и без проведения ГРП.

По результатам расчётов эффективным по основным экономическим параметрам является вариант с применением ГРП, так как увеличилась годовая добыча нефти.

Таблица 2 – Сравнение технико-экономических показателей вариантов разработки с проведением ГРП и без проведения ГРП

Показатель	До ГРП	После ГРП	Разница
Годовые эксплуатационные расходы на добычу нефти, млн руб.	96,096	226,208	130,112
Выручка от реализации нефти, млн руб.	128,419	295,364	166,945
НДС, млн руб.	23,115	53,166	30,051
Прибыль к налогообложению, млн руб.	12,707	44,436	31,729
Налог на прибыль млн руб.	6,465	13,831	7,366
Чистая прибыль от реализации нефти, млн руб.	55,325	66,389	11,064
Годовая добыча нефти, тыс. тонн	8723	20092	11369

Средний дебит исследуемой скважины до проведения ГРП составлял 24 тонн / сут., после проведения ГРП он составил 55,2 тонн / сут. Следовательно, дополнительно добытая нефть равна 31,2 тонн / сут. По расчётам получается, что ГРП окупается примерно за 3,5 месяца.

Выводы и рекомендации

В статье спроектирован процесс ГРП в условиях Северо-Савиноборского месторождения, который необходим для образования новых или раскрытия уже существующих трещин с целью повышения проницаемости призабойной зоны пласта и увеличения производительности скважины.

Месторождение Северо-Савиноборское подходит для процесса ГРП, т.к. полностью соответствует всем требованиям данного мероприятия, а именно: продуктивный горизонт приурочен к терригенным отложениям, глубина скважины менее 3000 м (2522 м), дебит скважины более 3 тонн / сут. (24 тонн / сут.), пластовая температура меньше 100 °С (65 °С), отношение текущего пластового давления к начальному – не менее 0,8–0,9.

На основании анализа результатов расчёта гидравлического разрыва пласта могут быть сделаны следующие выводы:

- применяемые технические средства соответствуют необходимым техническим требованиям и позволяют реализовать запроектированный гидравлический разрыв пласта для Северо-Савиноборского месторождения в полном объёме;
- ожидаемый эффект от ГРП составляет примерно 2,3 раза.

Необходимые рекомендации:

- по окончании процесса ГРП скважину оставляют под давлением до момента падения его на устье скважины до нуля;
- после этого замеряют забой и уровень, при наличии на забое песчаной пробки скважину необходимо промыть, после чего она поступает в освоение и на исследование;
- во избежание возможного поступления обратно в скважину песка из трещины освоение следует проводить методом плавного запуска, т.е. путём постепенного повышения депрессии.

Литература

1. Авторский надзор за внедрением технологических схем и проектов разработки месторождений ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз» за 2004 год // Книга 1. Группа месторождений ООО «Тэбук-Ухтанефтегаз»: Отчёт / ПечорНИПИнефть. Руководитель Ерикова Л.Е. – Ухта, 2005. – 401 с.
2. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для студентов вузов / А.И. Булатов [и др.] . – Краснодар : Просвещение – Юг, 2011. – 603 с.
3. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах: учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
4. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
5. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
6. Пластоиспытательное оборудование для гидродинамических исследований пластов нефтяных и газовых скважин / П.С. Варламов [и др.]. – Уфа : Уфимский полиграфкомбинат, 2004. – 620 с.
7. Ладенко А.А., Савенок О.В. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений. – М. : Инфра-Инженерия, 2020. – 244 с.
8. Геоинформатика нефтегазовых скважин // В.В. Попов [и др.] . – Новочеркасск : Издательство «Лик», 2018. – 292 с.
9. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
10. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – 275 с.
11. Экологические аспекты при строительстве нефтяных и газовых скважин: монография // О.В. Савенок [и др.] . – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 652 с.

12. Савенок О.В. Проектирование разработки нефтяных месторождений: учебное пособие. – Ухта : Издательство Ухтинского государственного технического университета, 2021.
13. Экономидес М., Олайни Р., Валько П. Унифицированный дизайн гидроразрыва пласта // Наведение мостов между теорией и практикой. – М. : Петроальянс Сервисис Компани Лимитед, 2004. – 194 с.
14. Антонов Е.Н., Шиян С.И. Техника и технология проведения гидравлического разрыва пласта на скважинах Самотлорского месторождения // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 48–57.
15. Антонов Е.Н., Шиян С.И., Шаблий И.И. Анализ эффективности производства ГРП на объекте АВ₁¹⁻² Самотлорского месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 2. – С. 55–72.
16. Арутюнов Т.В., Березовский Д.А., Кусов Г.В. Анализ технологии проведения гидравлического разрыва пласта в условиях объекта Ю₁ Снежного месторождения // Вестник студенческой науки кафедры информационных систем и программирования. – 2017. – № 2 (2). – С. 85–113.
17. Батыров М.И., Савенок О.В. Анализ эффективности проведения ГРП на Ем-Ёговской площади Красноленинского месторождения // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 75–81.
18. Григулецкий В.Г., Савельев Ю.П. Направленный многостадийный гидравлический разрыв пласта. Особенности технологии. Контроль и управление свойствами технологических жидкостей. Часть 1 // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 8. – С. 18–25.
19. Григулецкий В.Г., Савельев Ю.П. Направленный многостадийный гидравлический разрыв пласта. О динамических и температурных полях при измерении показателей технологических жидкостей. Часть 2 // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2016. – № 7. – С. 15–20.
20. Дерли Н.А., Савенок О.В. Анализ текущего состояния и перспективы разработки Северо-Савиноборского нефтяного месторождения // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 193–201.
21. Куликов Э.В., Залоев П.Д., Лешкович Н.М. Особенности применения ГРП на Приразломном месторождении // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 127–132.
22. Павельева О.Н., Басов А.О., Павельева Ю.Н. Анализ проведения ГРП на переходящем фонде скважин на Приобском месторождении // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 198–200.
23. Павельева О.Н., Басов А.О., Павельева Ю.Н. Технологический анализ эффективности применения ГС с ГРП в сравнении с ННС на Приобском месторождении // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 201–203.
24. Поздняков А.А., Виноградова И.А., Иванова Ю.И. Мониторинг гидроразрыва пласта на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь» // Нефтяное хозяйство, 2006. – № 11. – С. 38–41.
25. Савенок О.В., Кусов Г.В. Повышение эффективности газоконденсатоотдачи с помощью гидроразрыва пласта на Ново-Уренгойском газоконденсатном месторождении // ГеоИнжиниринг, 2006. – № 2. – С. 88–91.
26. Трофименко Д.Д., Савенок О.В., Арутюнян А.С. Применение гидроразрыва пласта в низкопроницаемых коллекторах Тасовского месторождения и способ повышения его эффективности // Инженер-нефтяник. – 2019. – № 4 (49). – С. 5–15.
27. Анализ эффективности применения ГРП на Ельниковском нефтяном месторождении / А.Л. Яковлев [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2017. – № 1. – С. 128–151.
28. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. База данных «Гидравлический разрыв пласта». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620811. Заявка № 201562082. Дата поступления 27 марта 2015 г. Дата государственной регистрации в Реестре баз данных 25 мая 2015 г.

References

1. Author's supervision over implementation of technological schemes and projects of development of TPP «LUKOIL-Ukhtaneftegaz» fields in 2004 // Book 1. Group of fields of «Tebuk-Ukhtaneftegaz» LLC: Report / PechorNIPIneft. Report / PechoraNIPIneft. head – L.E. Erikova – Ukhta, 2005. – 401 p.
2. Ecology in the construction of oil and gas wells: a textbook for students of universities / A.I. Bulatov [et al.]. – Krasnodar : Prosveshchenie – South, 2011. – 603 p.
3. Bulatov A.I., Savenok O.V. The practical course of the discipline «oil and gas well completion» in 4 volumes: a training manual. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – Vol. 1–4.

4. Bulatov A.I., Savenok O.V. Capital underground repair of oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – Vol. 1–4.
5. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremychuk R.S. Scientific bases and practice of oil and gas wells development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
6. Plast-testing equipment for hydrodynamic research of oil and gas wells / P.S. Varlamov [et al.]. – Ufa : Ufa Printing Works, 2004. – 620 p.
7. Ladenko A.A., Savenok O.V. Theoretical bases of oil and gas fields development. – M. : Infra-engineering, 2020. – 244 p.
8. Geoinformatics of oil and gas wells / V.V. Popov [et al.]. – Novocherkassk : Publishing house «Lik», 2018. – 292 p.
9. Savenok O.V., Kachmar Y.D., Yaremichuk R.S. Oil and gas engineering in well development. – M. : Infra-engineering, 2019. – 548 p.
10. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of oil and gas fields. – Krasnodar : Izd. FGBOU VO «KubGTU», 2019. – 275 p.
11. Environmental aspects in the construction of oil and gas wells: a monograph // O.V. Savenok [et al.]. – M. ; Vologda : Infra-Engineering, 2021. – 652 p.
12. Savenok O.V. Designing the development of oil fields: a training manual. – Ukhta : Publishers Ukhta State Technical University, 2021.
13. Economides M., Olaini R., Valko P. Unified Hydraulic Fracturing Design // Bridging Theory and Practice. – M. : Petroalliance Services Company Limited, 2004. – 194 p.
14. Antonov E.N., Shiyani S.I. Technique and technology of hydraulic fracturing in wells of the Samotlor field // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 2. – P. 48–57.
15. Antonov E.N., Shiyani S.I., Shabliy I.I. Analysis of effectiveness of hydraulic fracturing in the object AB_1^{1-2} of the Samotlor field // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskii Vestnik). – 2020. – № 2. – P. 55–72.
16. Arutyunov T.V., Berezovsky D.A., Kusov G.V. Analysis of hydraulic fracturing technology in the conditions of the object Y_1 Snezhnoye field // Bulletin of Student Science Department of Information Systems and Programming. – 2017. – № 2 (2). – P. 85–113.
17. Batyrov M.I., Savenok O.V. Analysis of Hydraulic Fracturing Efficiency at the Yem-Yogovskaya Ploschad Krasnoleninskoye field // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 2 – P. 75–81.
18. Griguletsky V.G., Saveliev Y.P. Directional multistage hydraulic fracturing. Features of Technology. Control and management of properties of technological fluids. Part 1 // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2015. – № 8. – P. 18–25.
19. Griguletsky V.G., Saveliev Y.P. Directional multistage hydraulic fracturing. About dynamic and temperature fields when measuring indicators of technological fluids. Part 2 // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2016. – № 7. – P. 15–20.
20. Derli N.A., Savenok O.V. Analysis of the current state and prospects for the development of the North Savinoborskoe oil field // Bulatov readings. – 2020. – Vol. 2. – P. 193–201.
21. Kulikov E.V., Zaloev P.D., Leshkovich N.M. Features of hydraulic fracturing application at Prirazlomnoye field // Bulatovkie readings. – 2017. – Vol. 2. – P. 127–132.
22. Pavelieva O.N., Basov A.O., Pavelieva Y.N. Analysis of hydraulic fracturing on the transient stock of wells in the Priobskoe field // Bulatov readings. – 2017. – Vol. 2. – P. 198–200.
23. Pavelieva O.N., Basov A.O., Pavelieva Yu.N. Technological analysis of the effectiveness of hydraulic fracturing in comparison with oil extraction at Priobskoe field // Bulatovskie readings. – 2017. – Vol. 2. – P. 201–203.
24. Pozdnyakov A.A., Vinogradova I.A., Ivanova Y.I. Monitoring of hydraulic fracturing in the fields of LUKOIL-West Siberia // Oil industry, 2006. – № 11. – P. 38–41.
25. Savenok O.V., Kusov G.V. Increase of gas-condensate recovery efficiency by means of hydraulic fracturing at the Novo-Urengoi gas-condensate field // GeoEngineering, 2006. – № 2. – P. 88–91.
26. Trofimenko D.D., Savenok O.V., Arutyunyan A.S. Application of hydraulic fracturing in low-permeability reservoirs of the Tasovskoye field and the way to improve its efficiency // Engineer-neftyanik. – 2019. – № 4 (49). – P. 5–15.
27. Analysis of the effectiveness of hydraulic fracturing at the Yelnikovskoye oil field / A.L. Yakovlev [et al.] // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskii vestnik). – 2017. – № 1. – P. 128–151.
28. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Database «Hydraulic fracturing». Certificate of state registration of the database № 2015620811. Application № 2015620282. Date of receipt March 27, 2015. Date of state registration in the Register of databases May 25, 2015.

УДК 622.276.72

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ НА УСИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ



PREVENTION OF THE FORMATION OF INORGANIC SALTS ON THE USINSKOYE FIELD

Долингер Александр Александрович

студент
направления подготовки Нефтегазовое дело
Ухтинский государственный технический университет
dolinger11@icloud.com

Савенок Ольга Владимовна

доктор технических наук, профессор
кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и
газовых месторождений и подземной гидромеханики,
Ухтинский государственный технический университет
olgasavenok@mail.ru

Аннотация. Эффективность мер борьбы с отложением солей при добыче нефти зависит от комплексного подхода к решению данной проблемы. Необходимо знание физико-химических процессов и причин, вызывающих солеотложения, с учётом геолого-физических условий залегания нефти, техногенных явлений и особенностей разработки нефтегазовых залежей и эксплуатации скважин. Основным направлением борьбы с отложением солей при добыче нефти должно быть их предупреждение, как постоянно действующая мера на основе оптимальных технологических решений, что требует научно-методического и системного подхода. В настоящее время в нефтепромысловой практике проблема предупреждения солевых отложений решается в основном за счёт ингибиторов защиты скважин и оборудования. Наряду с химическими методами борьбы с отложениями солей существуют и безреагентные, основанные на использовании физических явлений, защитных покрытий и т.д. В связи с этим в статье представлены некоторые методы предупреждения солеотложений.

Ключевые слова: общая характеристика проблемы борьбы с отложениями солей; определение зон образования отложений неорганических солей; предупреждение образования отложений неорганических солей; технология применения ингибиторов солеотложения; оптимизация ингибиторной защиты на скважинах Усинского месторождения.

Dolinger Alexander Alexandrovich

Student,
Training Direction Oil and Gas Engineering,
Ukhta State Technical University
dolinger11@icloud.com

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Development and
Operation of Oil and Gas Fields and
Underground Hydromechanics,
Ukhta State Technical University
olgasavenok@mail.ru

Annotation. The effectiveness of measures to combat salt deposition during oil production depends on an integrated approach to solving this problem. It is necessary to know the physical and chemical processes and causes of salt deposition, taking into account the geological and physical conditions of oil occurrence, man-made phenomena and the peculiarities of the development of oil and gas deposits and the operation of wells. The main direction of combating the deposition of salts during oil production should be their prevention, as a permanent measure based on optimal technological solutions, which requires a scientific, methodological and systematic approach. Currently, in oilfield practice, the problem of preventing salt deposits is solved mainly by inhibitors for protecting wells and equipment. Along with chemical methods of combating salt deposits, there are also reagent-free methods based on the use of physical phenomena, protective coatings, etc. In this regard, the article presents some methods for preventing salt deposits.

Keywords: general characteristics of the problem of combating salt deposits; determination of zones of formation of deposits of inorganic salts; prevention of the formation of deposits of inorganic salts; Scale inhibitors application technology; optimization of inhibitor protection at the wells of the Usinskoye field.

Общая характеристика проблемы борьбы с отложениями солей

Современные методы разработки нефтяных месторождений с поддержанием пластового давления путём закачки пресных и сточных вод приводят к осложнениям в добычи нефти, которые вызваны образованием твердых отложений неорганических солей в призабойной зоне пласта и нефтепромысловом оборудовании. Накапливаясь в добывающих скважинах и нефтесборных коммуникациях, неорганические соли часто полностью выводят из строя дорогостоящее оборудование, нарушают режим работы скважин, приводят к трудоёмким подземным капитальным ремонтам, а в итоге к значительным потерям в добыче нефти.

Отложение солей происходят при всех способах эксплуатации, однако наиболее отрицательные последствия от солеотложения возникают при добыче нефти штанговыми глубинными насосами и установками электропогружных центробежных насосов. Кристаллические образования неорганических солей на рабочих органах глубинных насосов приводят к повышенному их износу, заклиниванию и слому вала погружного электронасоса, заклиниванию плунжера ШГН и т.д.

Межремонтный период работы механизированного фонда «солепроявляющих» скважин существенно уменьшается. Кроме того в результате роста обводнённости скважин образуются отложения солей в поверхностном оборудовании, групповых замерных установках, нефтесборных коллекторах и системах подготовки нефти.

Самым распространённым видом отложений на нефтепромысловом оборудовании и добывающих скважинах являются осадки, содержащие в основном сульфат кальция (60–80 %) и карбонаты кальция и магния (5–16 %). Влага и углеводородные соединения составляют (5–25 %). При определенных условиях каждая молекула сульфата кальция связывает две молекулы воды, в результате чего образуются кристаллы гипса, поэтому такие осадки называются гипсовыми отложениями. Если при этом в составе осадков содержится 15 % твёрдых и тяжёлых углеводородных соединений нефти, то они классифицируются как гипсоуглеводородные соединения.

Образование гипсовых отложений происходит в скважинах, объектом разработки которых являются девон и карбон. Структуры отложений в скважинах, эксплуатирующие продуктивные пласты, приуроченные к продуктивным пластам карбона и девона, изучены разными авторами. По результатам исследований выделены осадки трёх характерных видов:

1) плотные микро- и мелкокристаллические осадки. В поперечном сечении таких осадков не удаётся выделить отдельно слои, поскольку отложения представлены относительно однородными кристаллами длиной до 5 мм с равномерным включением твердых углеводородов. В ряде случаев такие осадки имеют накипеобразный характер;

2) плотные осадки с преобладанием кристаллов гипса средних размеров 5–12 мм с включением твердых и жидких углеводородов. При поперечном срезе образца отложений из оборудования хорошо различим слой мелкозернистого осадка призматического или игольчатого строения. В этом слое преобладают кристаллы длиной 5–12 мм. В наружном слое пространство между средними и крупными кристаллами заполнено более мелкими;

3) плотные крупнокристаллические осадки. Крупные игольчатые кристаллы гипса образуют каркас. Между крупными кристаллами длиной 12–25 мм находятся более мелкие кристаллы солей и углеводородные соединения. В поперечном разрезе у этих отложений также можно заметить у стенки оборудования более плотный слой, а по мере удаления от поверхности соприкосновения с оборудованием доля крупных кристаллов увеличивается. В некоторых случаях в НКТ нет сплошных отложений гипса, а осадок представлен в виде одиночных друз кристаллов длиной 20–27 мм.

Отложения всех трёх видов образуются в НКТ, хвостовиках, устьевой арматуре, насосном оборудовании, клапанных узлах различного назначения, оборудовании системы сбора и подготовки нефти и воды.

Толщина отложений зависит от интенсивности и времени осадконакоплений. Из опыта добычи обводнённой нефти известны случаи образования мощных пробок из гипсовых отложений в НКТ длиной до несколько сотен метров, при этом практически полностью перекрывается проходное сечение труб.

Определение зон образования отложений неорганических солей

Для выбора технологически целесообразных и экономически выгодных способов предупреждения отложений солей необходимо знать состав и наиболее вероятные зоны их отложений. Это, прежде всего, относится к выбору химических методов и составов ингибиторов солеобразования. Для эффективного предупреждения кристаллизации солей и их удаления с поверхности оборудования ингибитор должен быть доставлен до начала интервала отложений. В частности, для предупреждения отложения гипса химические реагенты должны вводиться до интервала выпадения осадка. Знание расположения образования солеотложений крайне необходимо и для принятия оптимальных решений по ослаблению вредного влияния.

Обнаружение места отложений в промышленных условиях часто представляет непростую задачу. Решить её можно при условии систематического изучения фильтрационных характеристик пласта, призабойной зоны скважин, контроля за работой глубинно-насосного оборудования, систематического отбора проб и определения химического состава попутных вод, изменения дебита скважин и обводнённости добываемой жидкости.

Основное содержание промышленных исследований сводится к следующему:

- 1) выбор скважин для исследования истории их эксплуатации и ремонтов;
- 2) регулярное проведение гидродинамических исследований скважин и пластов на установившихся и неустановившихся режимах фильтрации;
- 3) получение профилей притока, термограмм, изучение распределение плотности жидкости в межтрубном пространстве;
- 4) систематическое изучение физико-химических свойств нефти и воды, оценка насыщенности попутных вод гипсом;
- 5) отбор образцов металла эксплуатационной колонны, цементного камня за колонной и породы продуктивного пласта боковым сверлящим керноотборником;
- 6) периодические исследования состояния эксплуатационной колонны акустическим цементомером и каверномерам;
- 7) тщательный осмотр поднимаемых из скважины штанг, насосного оборудования НКТ на предмет обнаружения солеотложений и определения их толщины;
- 8) анализ динамики показателей работы окружающих скважин.

В промышленных условиях при добыче нефти проводятся систематические исследования скважин: замеры дебитов скважин, отбивка динамического уровня жидкости, снятие, определение обводнённости добываемой продукции, химический анализ попутной воды и др. Комплексный анализ получаемой информации позволяет своевременно рекомендовать и реализовать меры по предупреждению образований отложений. Кроме того, по этим данным можно определить зоны отложений гипса (рис. 1).

Видно, что в скважине выделены три зоны отложения гипса: призабойная зона скважины 1, приёмная 2 и напорная 3 части глубинно-насосной установки.

Отложения неорганических солей в трещинах призабойной зоны и перфорационных каналах приводит к уменьшению дебита скважины. Отложение солей будет происходить там, где поступают и перемешиваются несовместимые воды. По мере отложения солей приток воды в скважину уменьшается. В поровых каналах призабойной зоны пласта и перфорационных каналах, по которым фильтруется нефть, отложение солей не происходит.

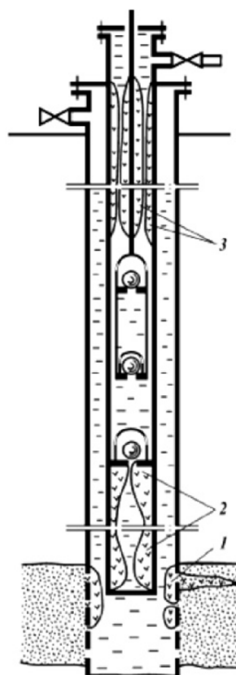


Рисунок 1 – Зоны отложения гипса в глубинно-насосной скважине

Снижение продуктивности пласта приводит к нарушению согласованной работы пласта и насоса – производительность работы насоса начинает превышать дебит скважины. При этом забойное давление и давление на приёме насоса будут снижаться, что приведет к интенсивному выделению газа из нефти. Отложения неорганических солей в приёмном клапане, отверстиях фильтра и хвостовике приводит к увеличению гидравлических сопротивлений в приёмной части насоса, что также ухудшает процесс заполнения цилиндра пластовой жидкостью.

Отложение неорганических солей в устьевой арматуре, НКТ и напорной части глубинно-насосного оборудования приводит к увеличению потерь на трение из-за сужения проходного сечения каналов движения.

Предупреждение образования отложений неорганических солей

В отечественной и зарубежной практике известны различные методы борьбы с отложениями неорганических солей при добыче нефти. В общем случае все они подразделяются на методы, предотвращающие отложения, и методы борьбы с уже выпавшими осадками.

Многолетний опыт борьбы с отложениями неорганических солей показал, что наиболее эффективны методы, основанные на предупреждении отложения солей. При этом правильный выбор метода может быть сделан лишь на основе тщательного изучения гидрохимической и термодинамической обстановки по эксплуатационным объектам, с выявлением основных причин вызывающих перенасыщение попутно добываемых вод солеобразующими ионами, поскольку выпадение и отложение неорганических солей зависит от условий, при которых нарушается химическое равновесие системы, т.е. при переходе попутных вод в состояние перенасыщения. Перенасыщение попутно добываемых вод солеобразующими ионами может быть вызвано изменением температуры, давления, а также смешивание растворов солей различного состава с образованием нового раствора, в котором содержание ионов слаборастворимых солей оказывается в избытке.

Формирование отложений неорганических солей на поверхности оборудования также зависит от свойств подложки, электрокинетических и других физико-химических явлений происходящих на разделе поверхности фаз.

В реальных технологических процессах добычи, сбора и подготовки нефти многие явления происходят одновременно, что усложняет исследования формирования отложений в целом.

Существенные затруднения в выявлении причин выпадения солей возникают из-за отсутствия систематической достоверной информации по гидрохимическим и гидрогеологическим изменениям на разрабатываемых объектах в течение длительного времени.

Общепринятой классификации способов предупреждения отложения неорганических солей нет. Представляет интерес классификация способов предупреждения отложения неорганических солей представленная на рисунке 2.

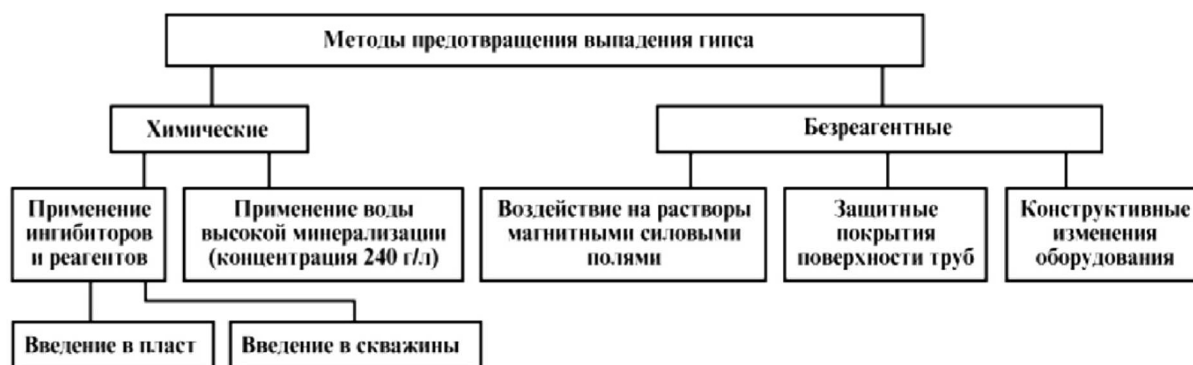


Рисунок 2 – Классификация методов предупреждения отложения неорганических солей

В настоящее время разрабатываемые и применяемые методы предупреждения отложений неорганических солей можно разделить на две группы – безреагентные и химические.

К безреагентным методам предотвращения солей относятся: обоснованный выбор источников водоснабжения систем поддержания пластового давления; воздействие на перенасыщенные солями растворы магнитными, силовыми и акустическими полями; использование защитных покрытий труб и другого оборудования. К этой же группе относятся и мероприятия, основанные на изменении технологических факторов добычи нефти:

- своевременное проведение водоизоляционных работ;
- ограничение движения воды в высокопроницаемых пропластках послойно-неоднородного продуктивного пласта;
- поддержание повышенных давлений на забоях добывающих скважин;
- использование хвостовиков, диспергаторов;
- различные конструктивные изменения в устройстве применяемого оборудования.

Важным технологическим методом предупреждения солеотложения является своевременное проведение водоизоляционных работ в скважинах. Практика показывает, что сравнительно резкое изменение состава попутно добываемой воды и, как следствие этого, интенсивное отложение солей может происходить за счёт прорыва вод из других водоносных горизонтов через нарушение целостности цементного кольца и обсадной колонны, возникающие в процессе эксплуатации скважины. При этом самое эффективное средство предотвращения отложения солей – ремонт скважины с ликвидацией обнаруженных нарушений.

Значительный эффект по снижению интенсивности отложения солей даёт селективная изоляция обводившихся пропластков послойно-неоднородного пласта, поскольку при сокращении притока воды, перенасыщенной солями, уменьшается и отложение солей.

Перспективным является метод, основанный на выборе оптимального значения забойного давления, поскольку значение равновесной концентрации сульфата кальция зависит от давления в насыщенном гипсом растворе. Повышение давления на забоях добывающих скважин приводит к уменьшению их дебитов. Чтобы не допустить этого, необходимо предусматривать повышение давления нагнетания воды на линиях нагнетательных скважин или организацию очагового заводнения. В каждом конкретном случае целесообразность повышения давления нагнетания для уменьшения интенсивности солеотложения необходимо определять путём проведения технико-экономических расчётов.

К конструктивным изменениям относится применение различных устройств, способных изменять структуры и скорость движения газожидкостной смеси в скважине или условия кристаллизации солей. Скважинные штуцеры, диспергаторы, хвостовики, спускаемые до интервала перфорации, эмульгируют добываемую воду в нефти.

Эффективность применения излучателей и ультразвуковых генераторов для предотвращения солей изучалась многими авторами. Установки для предупреждения отложения солей в подземном и наземном оборудовании, основанные на использовании акустических полей, испытаны на месторождениях Северного Кавказа, Западной Сибири и Республики Коми. В ультразвуковом диапазоне частот акустическое поле, создаваемое излучателями, уменьшает интенсивность отложения солей на поверхности оборудования. Широкое применение акустических излучателей требует дополнительного исследования и опытно-промышленных испытаний.

Одним из безреагентных способов повышения работоспособности нефтепромыслового оборудования в условиях отложения солей может быть применение защитных покрытий. Имеется положительный опыт применения НКТ с покрытием внутренней поверхности стеклом, эмалями и лаками. На Самотлорском месторождении испытывались ПЭЦН, центробежные колеса и направляющие, аппараты которых были покрыты пентапластом или были изготовлены из полиамидных составов с покрытиями эпоксид-

ной смолой, фторопластом, пентапластом с графитом и алюминием. Промысловые данные показали увеличение надёжности работы УЭЦН и межремонтного периода их работы. Покрытие из пентапласта не предотвращает полностью отложения солей, однако снижает интенсивность роста их образования. Поэтому оборудование с защитным покрытием следует применять в скважинах с умеренной скоростью солеотложения. В условиях же интенсивного отложения солей одновременно с использованием защитных покрытий целесообразно применять химические реагенты.

Необходимо отметить, что, несмотря на безусловную целесообразность широкого применения при добыче нефти безреагентных методов, они не позволяют существенно ослабить процессы отложения солей, а лишь несколько увеличивают продолжительность нормальной работы скважины и оборудования.

Из известных способов предупреждения неорганических солей при добыче нефти наиболее эффективным и технологичным является способ применения химических реагентов-ингибиторов.

Химические способы борьбы с солеотложением основаны на применении реагентов, препятствующих отложению солей на поверхности промышленного оборудования. В практике нефтедобычи этот метод является основным.

Все известные ингибиторы отложения минеральных солей можно подразделить на две большие группы:

- 1) однокомпонентные, представленные определённым типом химического соединения;
- 2) многокомпонентные, составленные из различных химических соединений.

Многокомпонентные ингибирующие композиции готовят из двух и более компонентов и условно подразделяют на две большие подгруппы:

- 1) составы, в которых один из компонентов не является ингибитором отложений солей. Кроме ингибитора такие составы содержат поверхностно-активное вещество неионогенного типа, которое или усиливает действие ингибирующей добавки или имеет другое самостоятельное значение, но не ухудшает при этом действие ингибирующего компонента;
- 2) составы, в которых все компоненты являются ингибиторами отложений.

В зависимости от механизма действия ингибитора солеотложения делятся в основном на три типа.

Хелаты – вещества, способные связывать ионы кальция, бария или железа и препятствовать их реакции с ионами сульфата и карбоната. Высокая эффективность от применения этих веществ может быть получена при дозировке их в стехиометрических количествах. При больших значениях перенасыщения применение этих ингибиторов экономически не оправдывается.

Ингибиторы «порогового» действия – вещества, добавление которых в минимальных количествах в раствор препятствует зарождению и росту кристаллов солей и накоплению их на поверхности оборудования.

Кристаллоразрушающие ингибиторы – не препятствуют кристаллизации солей, а лишь видоизменяют форму кристаллов.

В настоящее время установлены требования к физико-химическим характеристикам ингибиторов солеотложений. Важнейшее из них – высокая эффективность ингибирования процессов отложения солей, низкая температура замерзания (до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$), низкая коррозионная агрессивность, малая токсичность, совместимость с пластовыми водами, отсутствие отрицательного влияния на процессы подготовки нефти, способность хорошо адсорбироваться и медленно десорбироваться с породы пласта. Ограничимся кратким обзором тех ингибиторов, которые нашли широкое применение в нефтедобыче.

Полиакриламид (ПАА) – ингибитор анионного типа, активным началом которого являются полимеры акрилового ряда. Его применение основано на способности образовывать на ингибируемой поверхности мономолекулярную плёнку, которая является защитным барьером для отложения солей.

Гидролизированный полиакрилонитрил (гипан) – реагент, который по химической природе и механизму ингибирования аналогичен предыдущему.

Ингибитор солеобразования Башкирии (ИСБ-1) – нитрилометилфосфоновая кислота (НТФ) $C_3H_{12}NO_9P_3$ – представляет собой фосфорорганическое соединение в виде белого порошка, хорошо растворимого в воде, кислотах и щелочах и нерастворимого в органических растворителях и нефти. На промыслы он поступает в гранулированном виде.

Оксиэтилендендифосфоновая кислота (ОЭДФ) – белый кристаллический порошок, без запаха, малотоксичный, хорошо растворим в воде, кислотах, спиртах, щелочах.

Полиэтиленполиамин-N-метилфосфоновая кислота (ПАФ-1) – ингибитор анионного типа из класса органических фосфатов. В товарном виде представляет собой водный раствор тёмно-коричневого цвета.

Инкредол-1 – многокомпонентный ингибитор на основе НТФ. Представляет собой жидкость зелено-жёлтого цвета.

СНПХ-5301 – ингибитор солеотложения, разработанный в НПО «Союзнефтехимпром». Основой этого многокомпонентного ингибитора является ОЭДФ. В его состав входят другие добавки, улучшающие свойства ингибитора – водный раствор аммиака, гликоли и другие компоненты.

SP-181 – импортный ингибитор солеотложения, представляющий собой многокомпонентную композицию. Основой ингибитора являются органические фосфаты. В товарной форме представляет собой жидкость тёмно-коричневого цвета.

Технология применения ингибиторов солеотложения

Эффективность предупреждения отложения солей зависит не только от ингибитора, но и от технологии его применения. Независимо от типа ингибитора и механизма его действия положительные результаты могут быть лишь при условии постоянного присутствия реагента в растворе в минимально необходимом количестве.

Ингибиторы отложения солей в зависимости от условий могут применяться по способу:

- 1) непрерывной дозировки в систему с помощью дозирующих насосов или специальных устройств;
- 2) периодической закачки раствора ингибитора в скважину с последующей задавкой его в призабойную зону пласта как с подъёмом скважинного оборудования, так и без подъёма;
- 3) периодической подачи раствора ингибитора в затрубное пространство скважины.

На скважинах последовательно могут осуществляться различные способы подачи ингибитора: вначале периодическая закачка; затем через 2–6 месяцев для предупреждения отложения солей в скважинном оборудовании непрерывная дозировка или периодическая подача раствора.

Для разовой закачки берётся не менее 500–700 кг реагента. Перед задавкой ингибитора в пласт производится закачка буферной жидкости, в качестве которой используется пресная вода в объёме до 6 м³. Затем задавливаются 10 %-ный водный раствор ингибитора. Если приёмистость скважины меньше 100 м³ / сут., то задавка ингибитора в пласт производится пакером, установленным на 50–100 м выше кровли продуктивного пласта. Закачку ингибитора производят через затрубное пространство. В результате продавки в глубь пласта образуются зоны ингибитора А и продавочной жидкости Б.

После продавки реагента скважина закрывается на 8-24 часа для более полной адсорбции ингибитора, после чего скважину пускают в работу.

На скважине организуется контроль за выносом ингибитора путём периодических отборов проб добываемой воды (через 2–3 недели) и определение концентрации ингибитора.

Одним из способов повышения эффективности метода продавки ингибиторов в ПЗП является подача ингибиторов в составе двухфазной пены. Сущность способа заключается в медленном разрушении закачанной в пласт пены, что обеспечивает снижение интенсивности десорбции ингибитора в начальный момент времени. Это позво-

ляет добиться более равномерного во времени выноса ингибитора и сократить водоприток. Продолжительность между обработками при этом увеличивается, достигая 14 месяцев и более.

Для приготовления качественного раствора, обеспечивающего образование двухфазной пены, можно использовать реагенты пенообразователи ДС-РАС, ПО-6К, ПО-1Д, ПАВы типа ОП-10, «Шкопау», а в качестве стабилизаторов пен – КМУ-600, ТМУ-БР. На рисунке 3 показана схема продавки ингибитора солеотложения в составе двухфазных пен в призабойную зону пласта через затрубное пространство скважины.

Периодическая подача ингибитора через затрубное пространство – также один из распространённых методов. Однако он не всегда применим, например, при низких динамических уровнях, поскольку ингибитор будет быстро выноситься потоком жидкости. Периодичность циклической подачи реагента необходимо установить опытным путём с учётом характеристики скважины и интенсивности солеотложения.

Как показывает промысловый опыт, в отдельных наиболее благоприятных условиях при высоких динамических уровнях периодичность подачи реагента может составить 15–20 сут., а при интенсивном солеобразовании не превышает 5–7 сут.

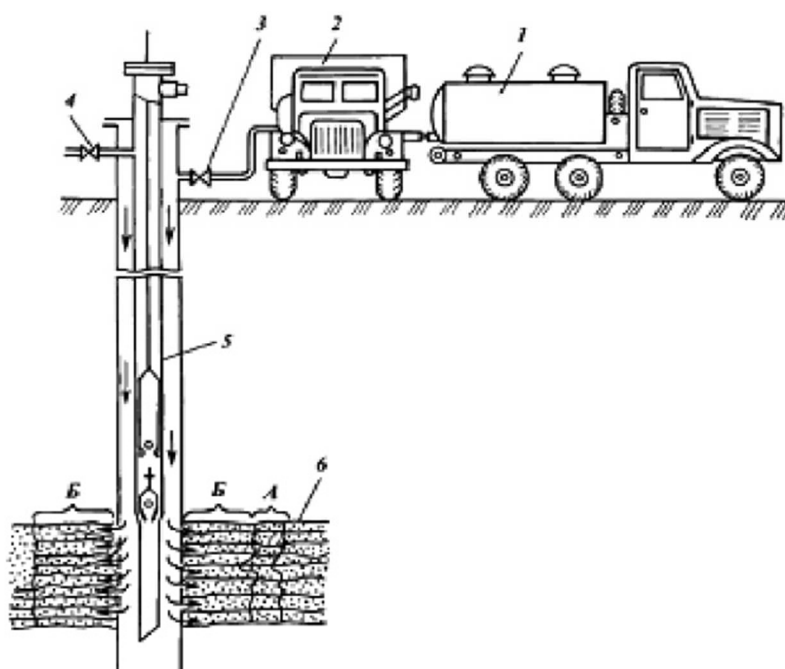


Рисунок 3 – Схема периодической продавки ингибитора солеотложения в призабойную зону пласта через затрубное пространство: 1 – автоцистерна с раствором ингибитора; 2 – насосный агрегат; 3 – затрубная задвижка; 4 – выкидная линия; 5 – ШГН; 6 – пласт; А – зона проникновения ингибитора; Б – зона проникновения задавочной жидкости

При подаче реагента необходимо контролировать дебит скважины по жидкости, обводнённость добываемой продукции, а также вести наблюдения за режимом работы скважины и оборудования, систематически определять химический состав попутно добываемых вод.

Оптимизация ингибиторной защиты на скважинах Усинского месторождения

В результате снижения пластового давления в пермокарбонную залежь Усинского месторождения внедряются пластовые воды по трещинам снизу и с контуров залежи, что привело к увеличению обводнённости продукции по залежи. Средняя обводнённость продукции на данном этапе превышает 70 %.

Поэтому остро стоит проблема отложения неорганических солей в устьевой аппаратуре, НКТ, а также в насосах механизированного фонда скважин. Это приводит к потерям в добыче нефти, частым ремонтам, выхода из строя промыслового оборудования.

Особенностью эксплуатации Усинского месторождения является образование сульфидсодержащих осадков солей в УЭЦН, за счёт которых осуществляется часть добычи продукции. Для предотвращения было использовано несколько композиций, однако наибольший эффект, который выразился в увеличении межремонтного периода скважин, был достигнут путём периодической закачки ингибитора Инкредол-1 совместно с пеной. Причём при этом была достигнута продолжительность защитного эффекта в более чем 3 раза.

С помощью статистического анализа на месторождении изучалось влияние на продолжительность выноса ингибитора различных факторов: толщины пласта, объёма продавочной жидкости, расхода реагента, давления продавки, дебита жидкости и обводнённости продукции. Данные по скважинам Усинского месторождения, которые были задействованы в применении ингибитора солеотложения, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели обработки скважин ингибитором Инкредол-1

Номер скважины	4252	4570	4048	3246
Толщина пласта, м	4,0	5,0	6,0	6,0
Удельный объём продавки, м ³ / м	9,0	8,0	7,0	6,5
Удельный расход реагента, кг / м	35	30	27	16
Давление продавки, МПа	5,2	5,0	7,1	3,4
Дебит жидкости, м ³ / сут.	10	15	63	12
Обводнённость, %	30	41	50	40
Относительное время выноса ингибитора lg (t)	2,51	2,46	2,32	2,40
Номер скважины	7181	4254	4264	4253
Толщина пласта, м	6,5	7,0	8,0	9,2
Удельный объём продавки, м ³ / м	6,0	6,0	5,5	5,0
Удельный расход реагента, кг / м	12	11	10	10
Давление продавки, МПа	8,2	2,1	2,0	8,6
Дебит жидкости, м ³ / сут.	18	37	45	80
Обводнённость, %	35	60	89	77
Относительное время выноса ингибитора lg (t)	2,26	2,19	2,21	2,14

По данным этой таблицы построены графики (рис. 4–9), показывающие влияние того или иного фактора на продолжительность выноса ингибитора, причём для удобства время выноса прологарифмировано.

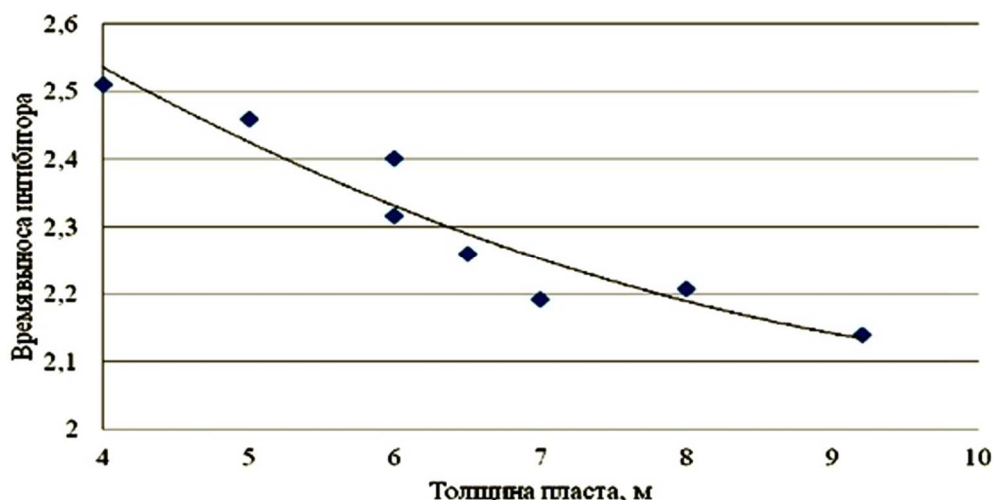


Рисунок 4 – Зависимость логарифма времени выноса ингибитора от толщины пласта

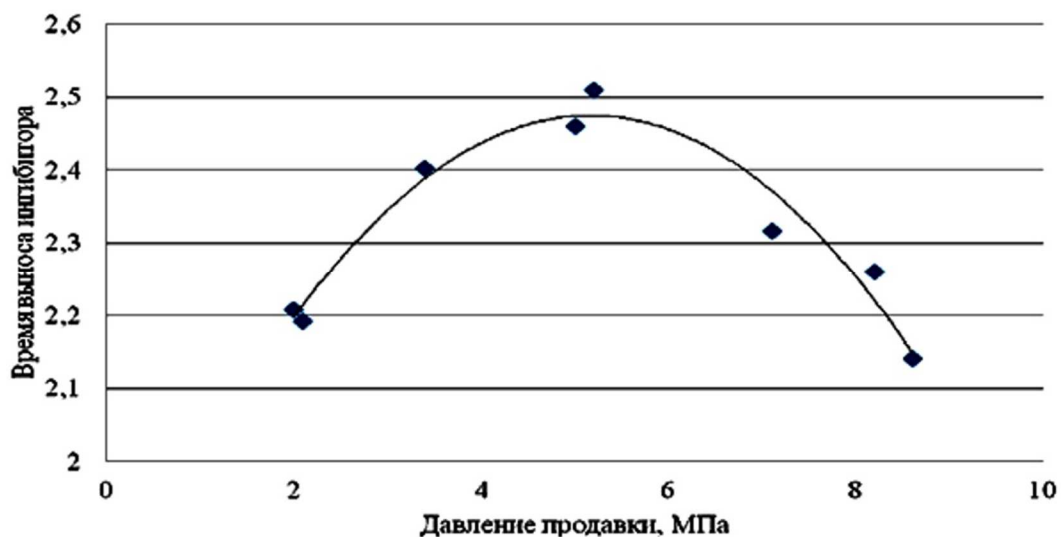


Рисунок 5 – Зависимость логарифма времени выноса ингибитора от давления продавки

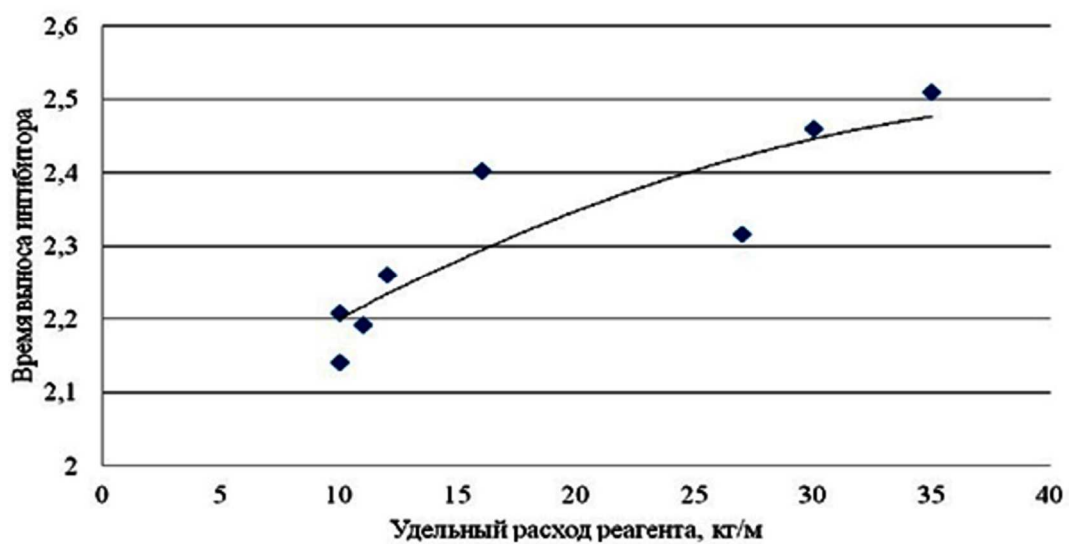


Рисунок 6 – Зависимость логарифма времени выноса ингибитора от удельного расхода реагента

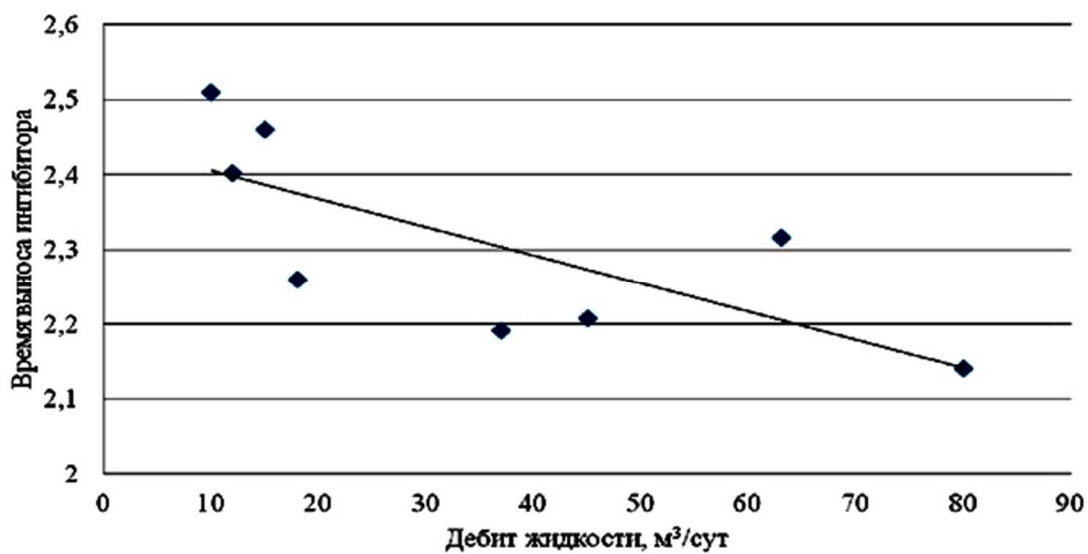


Рисунок 7 – Зависимость логарифма времени выноса ингибитора от дебита жидкости

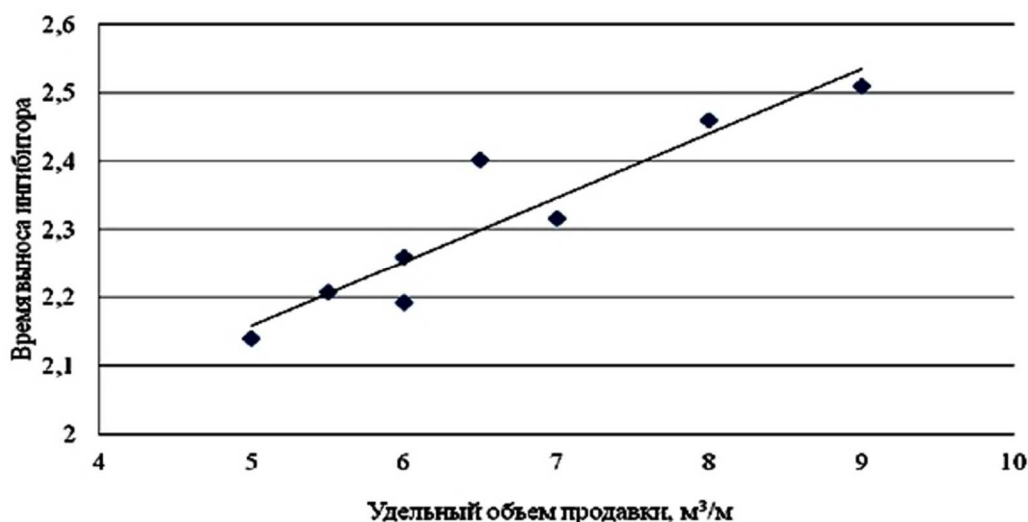


Рисунок 8 – Зависимость логарифма времени выноса ингибитора от удельного объема продавки

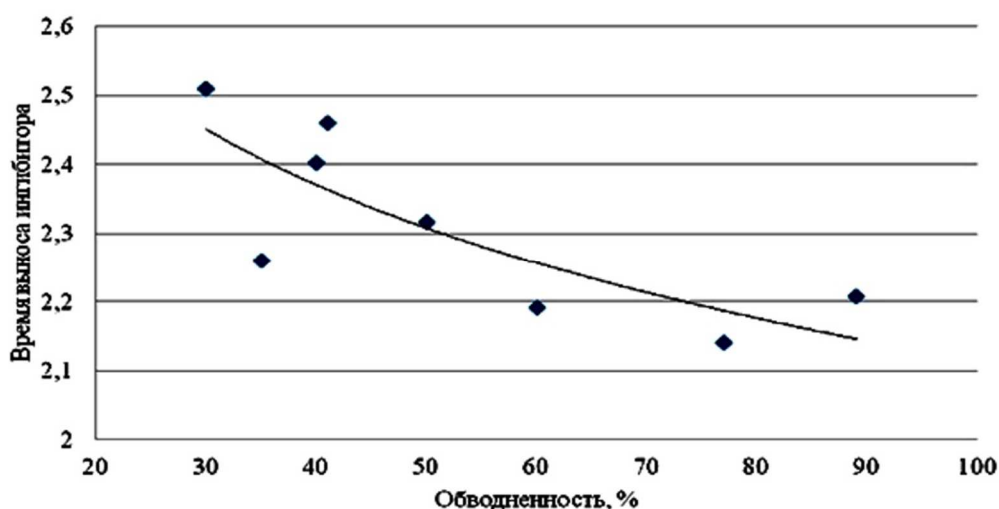


Рисунок 9 – Зависимость логарифма времени выноса ингибитора от обводнённости

Выводы

Анализируя полученные данные можно следующие выводы:

- 1) наибольший эффект, который выразился в увеличении межремонтного периода скважин, был достигнут путём периодической закачки ингибитора Инкредол-1 совместно с пеной;
- 2) при закачке ингибитора Инкредол-1 была достигнута продолжительность защитного эффекта более чем 3 раза относительно других ингибиторов;
- 3) время выноса увеличивается с увеличением удельного объема закачиваемого в пласт ингибитора и продавочной жидкости, до определённого предела увеличивается с ростом удельного расхода реагента;
- 4) с ростом давления продавки ингибитора на устье скважины время выноса ингибитора первоначально резко увеличивается, достигая максимума, после чего резко снижается, что объясняется особенностью приёмистости неоднородного пласта;
- 5) период выноса ингибитора уменьшается с увеличением дебита скважины по жидкости и ещё более с ростом обводнённости добываемой продукции. В силу неоднородности пластов время выноса ингибитора снижается, чем больше их толщина;
- 6) метод статистического анализа позволяет осуществлять оптимизацию ингибиторной защиты скважин и оборудования с учётом геологических свойств продуктивного пласта и особенностей его эксплуатации.

Литература

1. Булатов А.И., Кусов Г.В., Савенок О.В. Асфальто-смоло-парафиновые отложения и гидратообразования: предупреждение и удаление: в 2 томах: учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2011. – Т. 1–2.
2. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для студентов вузов / А.И. Булатов [и др.] . – Краснодар : Просвещение-Юг, 2011. – 603 с.
3. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах: учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
4. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
5. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
6. Пластоиспытательное оборудование для гидродинамических исследований пластов нефтяных и газовых скважин / П.С. Варламов [и др.]. – Уфа : Уфимский полиграфкомбинат, 2004. – 620 с.
7. Кацавцев В.Е., Мищенко И.Т. Солеобразование при добыче нефти. – М. : Орбита-М, 2004. – 430 с.
8. Ладенко А.А., Савенок О.В. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений. – М. : Инфра-Инженерия, 2020. – 244 с.
9. Геоинформатика нефтегазовых скважин / В.В. Попов [и др.] . – Новочеркасск : Издательство «Лик», 2018. – 292 с.
10. Савенок О.В. Оптимизация функционирования эксплуатационной техники для повышения эффективности нефтепромысловых систем с осложнёнными условиями добычи. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013. – 336 с.
11. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
12. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – 275 с.
13. Экологические аспекты при строительстве нефтяных и газовых скважин: монография / О.В. Савенок [и др.] . – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 652 с.
14. Исследование ингибирующих свойств новых реагентов солеотложения / А.Д. Агазаде [и др.] // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 2. – С. 23–27.
15. Акберова А.Ф. Устранение образования солеотложений новым реагентом на нефтяных месторождениях на поздней стадии эксплуатации // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 43–47.
16. Балденкова Д.И., Шангараева Л.А. Предотвращение отложения солей в скважинном оборудовании и продуктивном пласте Приобского нефтяного месторождения // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 27–29.
17. Гасанов Х.И., Халилов Н.Н. Новые ингибиторы солеотложения на основе органического аминоксодержащего соединения // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 2. – С. 52–54.
18. Гасанов Х.И., Халилов Н.Н. Ингибиторы солеотложения на основе фосфатов этилендиамина и соляной кислоты // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 126–128.
19. Иолчуев А.М., Савенок О.В. Метод периодической подачи ингибитора солеотложений в призабойную зону пласта // Сборник лучших научных работ молодых учёных Кубанского государственного технологического университета, отмеченных наградами на конкурсах / отв. ред. С.А. Калманович. – Краснодар : ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2018. – С. 44–46.
20. Иолчуев А.М., Савенок О.В. Анализ метода борьбы с солеотложениями путём периодической закачки ингибитора солеотложений в призабойную зону пласта // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 4. – С. 53–71.
21. Ладенко А.А. Очистка от отложений солей // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2. – Ч. 1. – С. 216–218.
22. Омельченко Н.Н., Савенок О.В., Иолчуев А.М. Предупреждение и ликвидация отложений солей при добыче нефти на Ключевом месторождении // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 4. – С. 27–52.
23. Самойлов А.С., Иолчуев А.М. Анализ причин и совершенствование методов предотвращения и борьбы с отложениями солей при добыче нефти на примере Арланского месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 3. – С. 193–222.
24. Савенок О.В. Проблема солеотложения – общие принципы и особенности конкретных решений // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2013. – № 03 (87). – URL : <http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/41.pdf>

25. Савенок О.В., Шарыпова Д.Д. Проблема солеотложения – общие принципы и особенности конкретных решений // Сборник тезисов 67-ой Международной молодёжной научной конференции «Нефть и газ – 2013» (9–12 апреля 2013 года, г. Москва). Секция 2 Разработка нефтяных и газовых месторождений, бурение скважин. – М. : РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. – С. 129.
26. Савенок О.В., Шарыпова Д.Д. Основные методы и решения проблемы солеотложения // Материалы 8-й научно-технической конференции молодых специалистов филиала «Краснодар бурение» «Новые технологии в бурении скважин». – Краснодар, пос. Яблоновский, 18–19 апреля 2013 г.
27. Савенок О.В., Барамбонье Соланж. Анализ технологии проведения реагентной обработки в призабойной зоне пласта // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2. – Ч. 2. – С. 116–128.
28. Салов С.А., Очередыко Т.Б. Обоснование технологий борьбы с солеотложениями в скважинах Мамонтовского нефтяного месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2017. – № 4. – С. 51–73.
29. Шиян С.И., Нелин А.К., Медведева Е.В. Источники и масштабы техногенного загрязнения в нефтяной промышленности // Материалы Международной научно-практической конференции «Referatotech» (24 октября 2020 года, г. Краснодар): в 3 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – С. 278–283.

References

1. Bulatov A.I., Kusov G.V., Savenok O.V. Asphalt-resin-paraffin deposits and hydrate formation: prevention and removal: in 2 volumes: textbook. – Krasnodar : Publishing House – South, 2011. – Vol. 1–2.
2. Ecology in the construction of oil and gas wells: a textbook for university students / A.I. Bulatov [et al.]. – Krasnodar : Prosveshchenie – South, 2011. – 603 p.
3. Bulatov A.I., Savenok O.V. The practical course of the discipline «Oil and Gas Well Completion» in 4 volumes: a training manual. Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – Vol. 1–4.
4. Bulatov A.I., Savenok O.V. Capital underground repair of oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – Vol. 1–4.
5. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremychuk R.S. Scientific bases and practice of oil and gas wells development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
6. Plast-testing equipment for hydrodynamic research of oil and gas wells / P.S. Varlamov [et al.]. – Ufa : Ufa Printing Works, 2004. – 620 p.
7. Kashavtsev V.E., Mishchenko I.T. Salt formation during oil production. – M. : Orbita-M, 2004. – 430 p.
8. Ladenko A.A., Savenok O.V. Theoretical bases of oil and gas fields development. – M. : Infra Engineering, 2020. – 244 p.
9. Geoinformatics of oil and gas wells / V.V. Popov [et al.]. – Novocherkassk : Publishing house «Lik», 2018. – 292 p.
10. Savenok O.V. Optimization of operational equipment functioning to improve the efficiency of oil-field systems with complicated production conditions. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013. – 336 p.
11. Savenok O.V., Kachmar Y.D., Yaremichuk R.S. Oil and gas engineering in the development of wells. – M. : Infra-engineering, 2019. – 548 p.
12. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of oil and gas fields. – Krasnodar : Izd. FGBOU VO «KubGTU», 2019. – 275 p.
13. Environmental aspects in the construction of oil and gas wells : monograph / O.V. Savenok [et al.]. – M. ; Vologda : Infra Engineering, 2021. – 652 p.
14. Study of inhibiting properties of new reagents of salt deposition / A.D. Aga-zadeh [et al.] // Bulatov readings. – 2019. – Vol. 2. – P. 23–27.
15. Akberova A.F. Elimination of salt deposition formation by a new reagent on oil fields at the late stage of operation // Bulatov readings. – 2020. – Vol. 2. – P. 43–47.
16. Baldenkova D.I., Shangaraeva L.A. Prevention of salt deposition in the downhole equipment and productive formation of Priobskoye oil field // Bulatov readings. – 2017. – Vol. 2. – P. 27–29.
17. Hasanov Kh.I., Khalilov N.N. New inhibitors of salt deposition on the basis of organic amino-containing compound // Bulatov readings. – 2019. – Vol. 2. – P. 52–54.
18. Hasanov H.I., Khalilov N.N. Saltation inhibitors based on ethylenediamine phosphates and hydrochloric acid // Bulatov readings. – 2020. – Vol. 2. – P. 126–128.
19. Iolchuev A.M., Savenok O.V. Method of periodic sale of salt-deposition inhibitor into bottomhole zone // Collection of the best scientific works of young scientists of Kuban State Technological University, awarded at competitions / ed. by S.A. Kalmanovich. – Krasnodar : FGBOU VO «KubGTU», 2018. – P. 44–46.

20. Iolchuev A.M., Savenok O.V. Analysis of the method of combating salt deposits by periodic injection of the salt deposit inhibitor in the bottom-hole zone of the reservoir // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2018. – № 4. – P. 53–71.
21. Ladenko A.A. Cleaning from salt deposits // Bulatov Readings. – 2018. – Vol. 2. – Part 1. – P. 216–218.
22. Omelchenko N.N., Savenok O.V., Iolchuev A.M. Prevention and elimination of salt deposits during oil production in the Klyuchevoe field // Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2018. – № 4. – P. 27–52.
23. Samoilov A.S., Iolchuyev A.M. Analysis of the causes and improvement of methods to prevent and combat salt deposits in oil production by the example of the Arlanskoye field // Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2018. – № 3. – P. 193–222.
24. Savenok O.V. Problem of salt deposition - general principles and peculiarities of specific solutions // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (Scientific Journal of KubGAU) [Electronic resource]. – Krasnodar : KubGAU, 2013. – № 03 (87). – URL : <http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/41.pdf>
25. Savenok O.V., Sharypova D.D. The problem of scaling - general principles and features of specific solutions // Collection of abstracts of the 67th International Youth Scientific Conference «Oil and Gas – 2013». (April 9–12, 2013, Moscow). Section 2 Development of oil and gas fields and well drilling. – M. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2013. – P. 129.
26. Savenok O.V., Sharypova D.D. The main methods and solutions to the problem of scaling // Proceedings of the 8th Scientific and Technical Conference of Young Specialists of the branch «Krasnodar drilling» «New technologies in well drilling». – Krasnodar, Yablonovsky village, April 18-19, 2013.
27. Savenok O.V., Barambonye Solange. Analysis of the technology of reagent treatment in the bottomhole formation zone // Bulatov readings. – 2018. – Vol. 2. – Part 2. – P. 116–128.
28. Salov S.A., Ocheredko T.B. Rationale for technologies to combat salt deposits in the wells of the Mamontovsky oil field // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2017. – № 4. – P. 51–73.
29. Shiyan S.I., Nelin A.K., Medvedeva E.V. Sources and scales of man-made pollution in the oil industry // Proceedings of the International Scientific-Practical Conference «Referatotech» (October 24, 2020, Krasnodar): in 3 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2020. – P. 278–283.

УДК 550.822.622.24

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ НА ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ВОДЕ



THEORETICAL FOUNDATIONS FOR THE PREPARATION OF CLAY SOLUTIONS ON HIGHLY MINERALIZED WATER

Ибрагимов Рафик Салман оглы

канд. техн. наук, доцент
кафедры нефтегазовая инженерия,
Азербайджанского Государственного
Университета Нефти и Промышленности
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Бахшалиева Ширин Октай кызы

Доктор философии
кафедры нефтегазовая инженерия,
Азербайджанского Государственного
Университета Нефти и Промышленности
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Самедзаде Джавид Агасамед оглы

магистрант
кафедры нефтегазовая инженерия,
Азербайджанского Государственного
Университета Нефти и Промышленности
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Исмаилов Эмил Сабит оглы

магистран
кафедры нефтегазовая инженерия,
Азербайджанского Государственного
Университета Нефти и Промышленности
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Исмаилов Субхан Джейхун оглы

магистран
кафедры нефтегазовая инженерия,
Азербайджанского Государственного
Университета Нефти и Промышленности
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Аннотация. Статье указано, что свойства промысловых жидкостей в значительной мере зависят от минерального состава разбуриваемых пород. Солевые породы вследствие легкой растворимости вызывают коагуляцию промысловых жидкостей, изменяют свойства растворов.

Предложен, что используя «метод паст» и подбирая при этом соответствующие химические реагенты с учетом механизма их стабилизирующего действия в пресной и солевой средах, по-видимому, можно готовить весьма устойчивые суспензии с заданным комплексом свойств даже на основе высокоминерализованных пластовых вод.

Ключевые слова: промысловых жидкостей, очистка забоя, солевые породы, удельный вес, фильтрационные свойства, водоотдача.

Ibrahimov Rafik Salman oglu

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Oil and Gas Engineering Department,
Azerbaijan State Oil University of
Oil and Industry
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Bakhshaliueva Shirin Oktay gizi

Doctor of Philosophy,
Oil and Gas Engineering Department,
Azerbaijan State Oil University of
Oil and Industry
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Samedzadeh Javid Aghasamed oglu

Graduate student,
Oil and Gas Engineering Department,
Azerbaijan State Oil University of
Oil and Industry
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Ismailov Emil Sabit oglu

Graduate student,
Oil and Gas Engineering Department,
Azerbaijan State Oil University of
Oil and Industry
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Ismailov Subkhan Jeyhun oglu

Graduate student,
Oil and Gas Engineering Department,
Azerbaijan State Oil University of
Oil and Industry
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Annotation. The article states that the properties of drilling fluids largely depend on the mineral composition of the rocks being drilled. Saline rocks, due to their easy solubility, cause coagulation of flushing fluids, change the properties of solutions.

It is proposed that using the «paste method» and selecting the appropriate chemical reagents taking into account the mechanism of their stabilizing action in fresh and salty environments, apparently, it is possible to prepare very stable suspensions with a given set of properties even on the basis of highly mineralized formation waters.

Keywords: flushing fluids, bottomhole cleaning, salt rocks, specific gravity, filtration properties, fluid loss.

Введение. Развитие технологии бурения неразрывно связано с совершенствованием промывочных жидкостей. Основными функциями буровых растворов являются: очистка забоя от выбуренной породы; активизация процесса разрушения; удаление выбуренной породы из скважины и удержание ее во взвешенном состоянии при остановках циркуляции; создание противодавления на проходимые пласты; создание изолирующей фильтрационной корки; смазочно-охлаждающее действие; вращение турбобура.

Главным требованием, предъявляемым к буровым растворам является поддержание и регулирование агрегативной и кинетической устойчивости системы, в значительной мере определяющей ее технико-важные показатели: удельный вес, реологические, фильтрационные, смазочные, антикоррозионные и другие свойства [1].

Постановка работы. Свойства промывочных жидкостей в значительной мере зависят от минерального состава разбуриваемых пород. Солевые породы вследствие легкой растворимости вызывают коагуляцию промывочных жидкостей, изменяют свойства растворов. Чаще всего эти системы подвергаются натриевой, кальциевой и магниевой агрессии.

Результаты и обсуждение. Действие солей на глинистые суспензии имеет ряд особенностей. Небольшие добавки соли (до 1 %) вызывают интенсивное коагуляционное структурообразование, быстро сменяющееся разжижением при дальнейшем ее введении. Еще большее засоление вновь, хотя и не столь значительно загущает суспензии. При этом отмечается тенденция к прекращению тиксотропного упрочнения.

Небольшие добавки соли слабо сказываются на водоотдаче, заметно возрастающей лишь при солёности выше 1 %, а затем увеличивающейся до весьма высоких значений, порой в 6–10 раз больше, чем у исходных растворов.

Развитие структур имеет место лишь при очень небольших солёностях, порядка 0,25 %. При большем засолении начинается коагуляционное разжижение, достигающее предела приблизительно при содержании соли 5 %. При высокой солёности поступающая в раствор глина практически вообще не диспергируется. Под воздействием минерализованных пластовых вод буровые растворы коагулируют, их структурно-механические и фильтрационные свойства ухудшаются [2, 3].

Различные соли по-разному проявляют себя в промывочных жидкостях. Соли двухвалентных металлов, даже в небольших концентрациях, обычно более агрессивны – сильнее воздействуют на промывочную жидкость, чем соли одновалентных металлов много большей концентрации. В связи с этим важным признаком служит качественная характеристика – состав минерализации. Характеристики, входящие в данную группу признаков, обусловлены катионами или анионами и зависят от того, какой ион является определяющим для эксплуатационных свойств. Наиболее распространены хлорнатриевая и гипсоангидритовая (сульфатно-кальциевая) минерализации, реже хлоркальциевая (свыше 0,5 % – высококальциевая) и магниевая (сульфатная и хлоридная). В случаях искусственно вводимых в промывочные жидкости веществ характеристиками служат вводимые соединения – известковые, силикатные, алюминатные промывочные жидкости.

Для улучшения качества промывочные жидкости обрабатывают различными реагентами, действие которых зависит от состава обрабатываемой системы и причин, вызывающих изменение ее свойств (температура, минерализация и т.д.). Тип химической обработки определяется в основном опытным путем, что обусловлено недостаточной изученностью механизма действия различных реагентов в конкретных условиях.

Взаимодействия между глиной и реагентами определяют существо химической обработки буровых растворов. Основным методом предотвращения сдерживания или регулирования коагуляции буровых растворов является стабилизация и коллоидная защита.

Физический смысл стабилизации сводится к созданию таких условий, при которых не могут быть реализованы близкодействующие силы межчастичного притяжения. Как показал П.А. Ребиндер, в ряду этих условий решающее значение имеет механическая прочность высокоструктурированных стабилизационных слоев, являющихся барьером, предотвращающим сближение частиц.

В основе стабилизации буровых растворов все же остается повышение лиофильности путем введения реагентов, образующих на межфазных границах прочные полимолекулярные слои. Эффект стабилизации определяется толщиной и механической прочностью (вязкостью) этих слоев с тем, чтобы за время соударения они не успели выдавиться из образовавшегося зазора.

При агрессивных воздействиях на буровой раствор возрастает его коагуляционная уязвимость, тем более, что при этом перерождаются адсорбционные слои обычно применяемых реагентов.

В агрессивных средах большинство коллоидных электролитов неприменимо, и защитные функции выполняют лишь водорастворимые полиэлектролиты, состоящие из гибких макромолекул линейного строения и большой протяженности. Они характеризуются высокой плотностью зарядов и содержат сотни ионогенных групп в каждой молекуле. Растворы полиэлектролитов, в отличие от коллоидных электролитов, не образуют мицелля, но здесь имеет большое значение конформация макромолекул, в одних случаях, например при разбавлении, обнаруживающих тенденцию разворачиваться, в других – глобулизоваться.

Устойчивость грубодисперсных и коллоидных систем к действию электролитов достигается с помощью определенных высокомолекулярных веществ – полимеров (коллоидов). Механизм защитного действия сводится к образованию вокруг частицы адсорбционной оболочки из высокомолекулярного вещества. Стабилизирующее действие этого слоя объясняется созданием достаточно высокого потенциала и сольватацией частиц, что препятствует их сближению и слипанию.

Согласно сложившимся представлениям реагенты этой группы распадаются в воде на крупные молекулы, которые покрывают частички глины (адсорбируются на них) и создают вокруг последних защитные слои. При этом повышаются гидрофильность глинистых частиц агрессивная устойчивость системы. Макромолекулы таких реагентов, а также слои, образуемые ими на элементарных кристалликах глины, способствует повышению плотности фильтрационных корок, уменьшая мем самым водоотдачу промывочной жидкости.

Адсорбируясь на гранях и ребрах глинистых частиц, высокомолекулярные соединения в большинстве случаев уменьшают их сцепление друг с другом, снижая вязкость и предельное статическое напряжение сдвига системы.

В качестве таких защитных высокомолекулярных веществ применяются карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ).

К настоящему времени нет единой точки зрения на механизм стабилизирующего действия водорастворимых эфиров целлюлозы, в частности КМЦ. Определенно установлено, что механизм защитного действия КМЦ по-разному проявляется по отношению к пресным и соленым глинистым суспензиям и во многом зависит от конформации макромолекул. Так, в суспензиях, приготовленных на пресной воде, практически отсутствует адсорбция полимера на глине, в связи с чем неприменимы обычные представления о структурно-механическом барьере, обусловленной адсорбционными слоями. Основным фактором стабилизации пресных суспензий является образование смешанных полимер-глинистых структур. В результате резко снижается частота и эффективность соударений частиц твердой фазы, вызывающих агрегирование. Сопряженные высокогидрофильные структуры, входя в состав фильтрационных корок, снижает их проницаемость и водоотдачу.

Иные закономерности наблюдаются в соленых средах. При введении уже небольшого количества соли (около 0,5 %) резко снижаются объем связанной воды и начинается адсорбция КМЦ на глине. Глобулизация макромолекул в соленых средах и высаживание их на глине сопровождается разрушением сопряженных структур и стабилизационным разжижением, сопровождающимся ростом водоотдачи. При достаточных добавках защитного коллоида удается, однако, удерживать водоотдачу на приемлемом уровне. Эффективность защитных коллоидов (например, КМЦ) оценивается поэтому по их способности снижать водоотдачу в присутствии соли.

При небольших концентрациях КМЦ в растворах может проявляться явление сенсбилизации, сопровождающимся ростом водоотдачи и разрушением суспензии.

Выводы. Считают, что одна из наиболее вероятных причин этого явления состоит в невозможности образования сплошной полимер-глинистой структуры из-за малого количества полимера в растворе и возникновение в связи с этим, местных структурированных «островков», перемежающихся с областью, в которой отсутствует какая-либо структура.

Используя «метод паст» и подбирая при этом соответствующие химические реагенты с учетом механизма их стабилизирующего действия в пресной и соленой средах, по-видимому, можно готовить весьма устойчивые суспензии с заданным комплексом свойств даже на основе высокоминерализованных пластовых вод.

Литература

1. Ангелопуло О.К., Подгорнов В.М., Аваков В.Э. Буровые растворы для осложненных условий. – М. : Недра, 1988. – 134 с.
2. Кошелев З.Н. Общие принципы ингибирования глинистых пород и заглинизированных пластов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2004. – № 1. – С. 13–15.
3. Development of a Dynamic Model for Drilling Fluid's Filtration: Implication to Prevent Formation Damage / M. Farahani [et al.] // SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette. – LA., 2014 Feb. 26–28. – № SPE-168151.

References

1. Angelopulo O.K., Podgorinov V.M., Avakov V.E. Drilling muds for complicated conditions. – M. : Nedra, 1988. – 134 p.
2. Koshelev Z.N. General principles of inhibition of clayey rocks and clayed formations // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2004. – № 1. – P. 13–15.
3. Development of a Dynamic Model for Drilling Fluid's Filtration: Implication to Prevent Formation Damage / M. Farahani [et al.] // SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette. – LA., 2014 Feb. 26–28. – № SPE-168151.

УДК 622.276

АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ПРОМЫСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ НАХОДКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



ANALYSIS OF THE GEOLOGICAL AND FIELD INFORMATION OF THE NAKHODKINSKOE FIELD

Липилина Дарья Сергеевна

студент
направления подготовки Нефтегазовое дело,
Ухтинский государственный технический университет
maksimovadk68@mail.ru

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук, профессор
кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и
газовых месторождений и подземной гидромеханики,
Ухтинский государственный технический университет
olgasavenok@mail.ru

Аннотация. В статье на основе созданной геологической модели сеноманской залежи Находкинского месторождения рассмотрены 6 вариантов разработки, обеспечивающие как различные темпы отбора газа, так и разные конструкции скважин. Различие вариантов, в основном, касается размещения скважин на площади месторождения и конструкций скважин. Основные задачи контроля за разработкой связаны с прогнозированием внедрения пластовой воды в залежь, изучением распределения пластового давления и отработкой залежи по площади и разрезу. Статья посвящена вопросу освоения добывающей скважины в условиях Находкинского месторождения.

Ключевые слова: геолого-физическая характеристика месторождения; общие сведения о месторождении; стратиграфия, тектоника и нефтегазоносность; свойства и состав пластовых флюидов; основные проектные решения; состояние разработки пластов и фонда скважин; контроль за разработкой месторождения.

Lipilina Daria Sergeevna

Student,
Training Direction Oil and Gas Engineering,
Ukhta State Technical University
maksimovadk68@mail.ru

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Development and
Operation of Oil and Gas Fields and
Underground Hydromechanics,
Ukhta State Technical University
olgasavenok@mail.ru

Annotation. Based on the created geological model of the Cenomanian reservoir of the Nakhodkinskoye field, the article considers 6 development options that provide both different rates of gas production and different well designs. The difference in options mainly concerns the placement of wells in the area of the field and well designs. The main tasks of development control are associated with predicting the introduction of formation water into the reservoir, studying the distribution of reservoir pressure and developing the reservoir over the area and section. The article is devoted to the issue of developing a production well in the conditions of the Nakhodkinskoye field.

Keywords: geological and physical characteristics of the deposit; general information about the deposit; stratigraphy, tectonics and oil and gas potential; properties and composition of formation fluids; basic design solutions; state of reservoir development and well stock; field development control.

Общие сведения о месторождении

Территория Находкинского участка расположена в северной части Западно-Сибирской равнины. В физико-географическом отношении район работ приурочен к Тазовской провинции тундровой равнинной зональной области и расположен в бассейне р. Мессояха.

В административном отношении территория предполагаемых поисково-разведочных работ находится в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа. Расстояние от районного центра п. Тазовский до центра участка составляет 70 км (рис. 1).

В целом для этого района характерен континентальный климат с суровой продолжительной зимой и непродолжительным прохладным летом, короткими переходными – весенним и осенним сезонами. В соответствии с морфоструктурным районированием Западно-Сибирской равнины территория участка приурочена к Мессояхской низменности и представляет собой плоско-волнистую озерно-аллювиальную равнину, с абсолютными отметками от 10 до 50 м.



Рисунок 1 – Обзорная карта района работ

Рельеф территории характеризуется слабым эрозионным расчленением, глубина расчленения варьирует в пределах 5–20 м. Участок расположен в зоне сплошного распространения многолетнемёрзлых пород.

Согласно ботанико-географическому районированию территория участка относится к подзоне южных субарктических тундр. Растительный покров южнотундровой зоны скуден и представляет собой сложное сочетание разных типов тундр, болот и фрагментов лугоподобной растительности.

Гидрографическая сеть территории принадлежит бассейну реки Мессояха и представлена её притоками – реками Индикъяха, Мьяря-Яха, Халтака-Яха, а также реками и ручьями, несущими свои воды непосредственно в Тазовскую губу.

Вторым элементом гидрологической сети территории являются многочисленные озёра. Преобладают малые и средние по размерам озёра. Наиболее характерные глубины – 0,8–1,2 м, но озёра термокарстового типа могут быть значительно глубже.

По существующей классификации поверхностные воды относятся к ультрапресным, с гидрокарбонатно-кальциевым, магниевым, натриевым составом. Данные воды по качеству пригодны для технического водоснабжения, для питьевого – после соответствующей обработки.

Ближайшим разрабатываемым месторождением является Тазовское, где с 1970 года производится отбор газа из сеноманских отложений для газоснабжения п. Тазовский и Газ-Сале.

Стратиграфия

В геологическом строении Находкинского месторождения принимают участие породы фундамента, представленные допалеозойскими и досредне-кембрийскими метаморфическими породами, и отложения чехла, сложенные полифациальными терригенными песчано-глинистыми породами палеозойского и мезозойско-кайнозойского возрастов.

Отложения фундамента на месторождении не вскрыты.

Максимальная вскрытая мощность мезозойско-кайнозойских отложений на месторождении составляет 3500 м в скважине № 43.

Палеозойские и более древние породы вскрыты скважинами за пределами месторождения и в той или иной мере изучены на Южно-Русской, Уренгойской, Юбилейной, Лензитской, Новопортовской и других площадях, через которые проведены региональные сейсморазведочные профили.

Согласно тектонического районирования палеозойского основания Западно-Сибирской геосинеклизы, составленного В.С. Бочкарёвым (1990 г.) рассматриваемый участок, располагается в области салаирской консолидации фундамента. Следовательно, фундамент здесь имеет допалеозойско-раннекембрийский возраст, а платформенный чехол начинается с верхне-кембрийско-ордовийских отложений.

Кровля складчатых допалеозойских пород, к которой приурочен сейсмоотражающий горизонт «А», в пределах рассматриваемого месторождения находится на глубинах 7700–9200 м. Предполагается, что докембрий фундамента представлен сильно дислоцированными кристаллическими породами и хлорит-серицитовыми сланцами, а его нижне-палеозойская часть сложена серицит-хлорито-глинистыми сланцами, метапесчаниками, порфироидами, доломитами и мраморами, сопряженными с интрузивными породами, состав и площадное развитие которых ещё не выяснены.

Палеозойский чехол нескладчатый или, точнее, слабодислоцированный (с углами наклона складок до 20 °С) палеозойский комплекс пород локализуется в интервале сейсмоотражающих границ 1в-А (по ОГТ).

Пермская часть разреза вскрыта Тюменской сверхглубокой скважиной СГ-6 в интервале глубин 7310–7502 м и выделена в аймальскую свиту. Отложения аймальской свиты представлены переслаиванием базальтов, туфов, и углистых аргиллитов. Встречен прослой интрузивных пород-габбро-диабазов. Состав более древних пород палеозойского чехла предполагается по аналогии с соседними районами и областями. Можно считать, что нижняя его часть представлена, в основном, карбонатными, а верхняя – терригенными, преимущественно, угленосными породами с отдельными пачками морских мергелей и известняков.

Толщина палеозойского чехла достигает 1,5 км.

В пределах рассматриваемого участка мезозойская группа представлена триасом, юрой и мелом. Неметаморфизованные, субгоризонтально залегающие (до 3 °) терригенные осадочные породы перечисленных систем образуют единый ортоплатформенный чехол, нижняя граница которого проводится по сейсмоотражающему горизонту 1в или А, на участках где отсутствуют палеозойские отложения платформенного чехла.

На Находкинском месторождении газовая залежь в отложениях сеномана открыта в кровле покурской свиты в пласте ПК₁, газовые залежи с нефтяными оторочками в пласте ПК₁₆₋₁₇, газовые в пласте ПК₁₈.

Палеогеновые отложения развиты повсеместно, но большая часть из разреза, включающая олигоценый, а на поднятиях и эоценовый отделы, в предчетвертичное время частично или полностью была размыта.

Глинисто-кремнистые и песчано-алеврито-глинистые отложения палеоценового и эоценового отделов, сформировались преимущественно в морских или прибрежно-морских условиях, и пределах рассматриваемой территории выделяются тибейсалинская и люлинворская свиты.

Четвертичные отложения развиты повсеместно, залегают на размытых горизонтах эоцена.

В составе четвертичных отложений кроме моренных образований широко распространены слоистые сравнительно хорошо отсортированные супесчано-суглинистые породы, содержащие подчиненные прослои и пачки песчано-гравийно-галечного материала. Толщина отложений от 60 м на водоразделах до 120 м в переуглублённых древних долинах.

Тектоника

Особенностью строения Западно-Сибирской плиты является наличие в ней мощной толщи платформенных образований, залегающих на палеозойских образованиях. В связи со слабой изученностью палеозойских отложений представление об их строении и стратиграфическом объёме базируется на данных гравимагнитных исследований, региональных работ КМПВ, площадных сейсморазведочных работ и данных глубокого бурения на соседних площадях.

На Находкинском месторождении нет достаточно глубоких скважин, которые бы вскрыли палеозойские отложения, поэтому проблема тектонического районирования палеозойского основания решается по комплексу геофизических данных с использованием материалов глубокого бурения по Уренгойскому, Южно-Русскому, Юбилейному и другим месторождениям, где палеозойские толщи вскрыты скважинами и изучены.

В геологическом строении Находкинского месторождения чётко обособляются два структурно-тектонических этажа:

- фундамент, представленный допалеозойскими и досреднекембрийскими метаморфическими породами;
- отложения платформенного чехла, сложенные полифациальными терригенными отложениями палеозойского и мезозойско-кайнозойского возрастов.

Согласно «Тектонической карте мезозойско-кайнозойского ортоплатформенного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы», изданной в ЗапСибНИГНИ в 1990 году, Находкинское месторождение приурочено к крупной структуре III порядка – Находкинскому крупному куполу, осложняющему структуру средних размеров II порядка – Находкинское куполовидное поднятие, расположенное в пределах крупной структуры II порядка – Юрхаровско-Находкинской мезоседловины (между Ямбургским крупным валом крупной структуры II порядка и структурой I порядка Нижне-Мессояхским мегавалом), входящей в состав крупной структуры I порядка Медвежье-Ямбургский пояса мегавалов. Юрхаровско-Находкинская мезоседловина разъединяет Большехетскую впадину и Парусный мегапрогиб.

По результатам последних полевых сейсморазведочных работ, проведённых на площади месторождения СП 24, 38/84-85, выполненных методом ОГТ, в СибНАЦ была проведена переинтерпретация материалов и построены структурные карты по горизонтам T_2 , B_{40} , H_2^{00} , M^1 , Γ .

По горизонту T_2 на месте положительной структуры по горизонтам H_2^{00} , M^1 , Γ существует кольцевая депрессия с максимальными отметками впадины минус 5480 м, а оконтуривается она изогипсой минус 5120 м, т.е. амплитуда депрессии 360 м, размеры депрессии 21 x 14 км и только уже севернее скважины № 43 за пределами месторождения наметилось небольшое поднятие амплитудой всего 20 м.

По отражающему горизонту B_{40} (верхняя юра) также кольцевая депрессия, оконтуренная изогипсой минус 4340 м, размеры 16,6 x 12 м, простирание северо-западное, её амплитуда 360 м.

И только в нижнемеловых отложениях на месте погружённой кольцевой депрессии по горизонту H_2^{00} появляется крупная антиклинальная структура, оконтуриваемая изогипсой минус 2840 м, размеры 37 x 22 км, в своде 2 купола оконтуренные изогипсами минус 2640 м и между куполами разрывное нарушение в виде сброса. Простирание структуры северо-восточное.

Существование крупной структуры отмечено и по горизонту M^1 , поднятие оконтурено изогипсой минус 1880 м, отметки в своде минус 1660 м в районе скважины № 48, амплитуда 220 м, размеры 32 x 25,5 км, простирание северо-северо-восточное. В своде разлом в виде сброса.

По отражающему горизонту «Г» поднятие оконтурено изогипсой минус 1080 м, максимальная отметка в своде структуры в районе скважины 47–940 м, амплитуда поднятия 140 м. простирание северо-северо-восточное, осложнено сбросом, но его положение сместилось на север.

Анализируя все вышеизложенное, авторы пришли к следующим выводам:

- структурный план по горизонтам не сохраняется, до нижнемелового времени на месте Находкинского поднятия существовала депрессия, в виде отрицательной очень резкой структуры, так называемая погружённая кольцевая депрессия (ПКД) воронкообразная;

- по отражающим горизонтам H_2^{00} , M^1 и Γ сохраняется унаследованное развитие структуры;

- Находкинское поднятие характеризуется сложной тектонической жизнью. Первоначально на момент накопления осадков пермского триасового и юрского возраста на месте поднятия существовала погружённая кольцевая депрессия, которая была сnivelирована в нижневаланжинское время и к началу верхневаланжинского времени за счёт интенсивного заполнения её осадками. В верхневаланжин-готеривское время

наступила стабилизация тектонического развития, что привело к образованию многочисленных клиноформ и смене знака тектонических движений. В результате этого Находкинская ПКД превращается в самую высокую сводовую часть одноименного поднятия. В меловой и палеогеновый периоды это поднятие характеризуется унаследованным стабильным развитием;

– тектоническое нарушение, которое хорошо прослежено СП 24, 38/84-85 и работам 3D СП 81/02-03 по горизонтам H_2^{00} , M^1 и G по горизонтам B_{40} и T_2 уже не прослеживается и затухает в верхнемеловое время на уровне коньяк – сантона.

Нефтегазоносность

Согласно «Обзорной карты Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции» (ЗапСибНИГНИ, 1990 г.) Находкинское месторождение расположено в восточной части Уренгойского нефтегазоносного района (НГР) Надым-Пурской нефтегазоносной области (НГО) Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП).

В этом районе в 48 км к юго-востоку и 35 км к юго-западу расположены крупные по запасам углеводородов нефтегазовое Тазовское и газоконденсатнонефтяное Юрхаровское месторождения. В 52 км к западу расположено уникальное по запасам газоконденсата Ямбургское месторождение.

В Уренгойском нефтегазоносном районе отложения продуктивны от сеноманского яруса верхнего мела до средне юрского отдела включительно, подразделяясь на пять нефтегазоносных комплексов (НГК). Диапазон распределения залежей по разрезу охватывает глубины 1040–3500 м. В пределах рассматриваемого месторождения нижние нефтегазоносные комплексы не вскрыты. Выявленные залежи углеводородов связаны с отложениями покурской свиты (апт-сеноманский НГК).

Месторождение открыто в апреле 1974 года при испытании сеноманских отложений в скважине № 41. Из пласта PK_1 (интервал 1041–1051 м) был получен фонтан газа дебитом 317,2 тыс. m^3 / сут. ($d_{шт} = 16$ мм).

В изученной части разреза бурением установлены 3 продуктивных пласта, которые относятся к апт-сеноманскому комплексу: PK_1 , PK_{16-17} и PK_{18} .

По данным материалов ГИС и результатам опробования на Находкинском месторождении к данным пластам приурочено 5 залежей углеводородов.

Пласт PK_3 относится к перспективным объектам. При его испытании в скважине № 48 был получен фонтан газа с пластовой водой $Q_{газа} = 138,0$ тыс. m^3 / сут., $Q_{воды} = 109,6$ m^3 / сут. ($d_{шт} = 12$ мм).

Находкинское месторождение относится к сложнопостроенным. По данным сейсморазведки в разрезе осадочного чехла в сводовой части структуры зафиксировано дизъюнктивное нарушение субширотного направления, оказавшее значительное влияние на строение выявленных залежей. Редкая сеть сейсмопрофилей не позволяет точно закартировать простираение и протяжённость тектонического нарушения. Отмечается лишь незначительный его наклон и небольшая, затухающая вверх по разрезу, амплитуда – от 25–20 м по пластам PK_{16-17} до 7–8 м по пласту PK_1 .

Месторождение в целом отличается низким уровнем геологической изученности: выявленные залежи охарактеризованы бурением 1–5 скважин; совершенно не охарактеризованы керновым материалом пласты PK_1 , PK_{18} , из пласта PK_{16-17} вынесено лишь 4 м коллекторов; отсутствуют представительные исследования физико-химических свойств пластовых флюидов по всем продуктивным пластам.

Залежь газа в сеноманских отложениях (пласт PK_1) вскрыта 5 скважинами на глубинах 972–1067 м и по своему строению в общих чертах идентична одновозрастным залежам не только Надым-Пурской нефтегазоносной области, но и других нефтегазоносных областей Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Все аналогичные залежи контролируются структурным фактором и являются по типу массивными.

Сеноманский резервуар представлен переслаиванием песчано-алевролитовых и глинистых пород с подчинённой ролью последних. При сравнении геологических разрезов Находкинского месторождения с находящимися длительное время в эксплуатации (Ямбургское, Уренгойское, Медвежье) выявлено большое сходство строения про-

дуктивной толщи и отсутствие в продуктивной части выдержанных мощных глинистых пластов и прослоев. В целом пласт ПК₁ можно представить как систему гидродинамически взаимосвязанных линзовидных песчаных пластов.

Вскрытые бурением газонасыщенные толщины изменяются от 10,2 м (скважина № 43) до 84,4 м (скважина № 47), составляя в среднем по залежи 33,9 м. Характеристика макронеоднородности пласта в объеме залежи представлена следующими геологическими параметрами:

- коэффициент песчаности – 0,79;
- коэффициент расчленённости – 14,8;
- средняя толщина прослоев газонасыщенных коллекторов (при изменении в интервале 0,4–23 м) – 3,3 м;
- средняя толщина глинистых прослоев (при вариации от 0,4 до 4,6 м) – 1,18 м.

Сверху сеноманский резервуар перекрыт мощной толщей турон-датских глин морского генезиса, мощностью 700–750 м, что определяет высокие экранирующие свойства покрышки, позволившие сформироваться крупной газовой залежи.

Пластовое давление в сеноманской газовой залежи соответствует гидростатическому на уровне ГВК, поскольку песчано-алевролитоглинистая толща сеномана представляет собой единую гидродинамическую систему, к верхней части которой приурочена залежь газа пласта ПК₁. Пластовое давление, рассчитанное по результатам газодинамических исследований скважин, в среднем по залежи составляет 10,4 МПа.

Данными опробования залежь пласта ПК₁ охарактеризована по всей высоте. Всего испытано 4 скважины (5 объектов): при опробовании 4 объектов получены фонтаны газа; при испытании одного объекта (скважина № 48) получен совместный приток газа с пластовой водой. Последний факт имеет следующее объяснение. В целях уточнения положения ГВК в разрезе скважины вскрыли подгазовую часть пласта; газ поступал перетоком по заколонному пространству из продуктивной части пласта.

Максимальные дебиты газа при испытании газовых объектов варьируют от 126,89 тыс. м³ / сут. ($d_{шт} = 22$ мм) при депрессии 7,67 МПа в скважине № 48 и до 328,96 тыс. м³ / сут. ($d_{шт} = 15,85$ мм) при депрессии 1,21 МПа в скважине № 42. Значения абсолютно свободных дебитов, рассчитанные по скважинам, изменяются в интервале 152–615 тыс. м³ / сут. Газовая залежь на Находкинском месторождении является массивной, тектонически нарушенной. Дизъюнктивное нарушение, зафиксированное на одном сейсмопрофиле, не имеет надежного обоснования своего распространения. Небольшая протяжённость нарушения, незначительная амплитуда смещения и слабосцементированный характер отложений позволяют предположить отсутствие экранирующего эффекта сместителя. Объем залежи определяется двумя поверхностями: кровлей сеноманских отложений и уровнем газоводяного контакта. Достоверность положения кровли пласта ПК₁ не вызывает больших сомнений, так как базируется на данных сейсморазведки и бурения. ГВК по каротажу отбивается внутри коллектора в скважинах №№ 41, 42 и 47 на а.о. минус 1043,4 м, в скважине № 48 – на а.о. минус 1043,6 м. Эти данные хорошо согласуются с другими внутриконтурными скважинами №№ 48 и 43, в которых ГВК проходит внутри заглинизированного прослоя, соответственно в интервалах а.о. минус 1043,6–1044,8 м и минус 1044,4–1046,2 м. При постановке запасов на государственный баланс ГВК был принят на максимальной отметке (а.о. минус 1044 м), установленной в северо-восточной части залежи. Данные испытаний не противоречат принятому по каротажу положению ГВК. Наиболее низкие а.о. нижних отверстий перфорации (скважина № 42), откуда был получен безводный фонтан газа, составляют минус 1041,4 м. Вода получена в скважине № 48 при испытании подгазовой зоны пласта в интервале а.о. минус 1044,2–1047,2 м. Кровля водоносных коллекторов по этой скважине отбивается на а.о. минус 1044,8 м. В пределах принятого контура ГВК залежь газа пласта ПК₁ имеет размеры 22,5 × 15,7 км, высоту 104 м. Открытая пористость коллекторов на государственном балансе принята в значении 31 %, газонасыщенность – 73 %.

Залежь пласта ПК₁₆₋₁₇ открыта в 1991 году в сводовой части структуры по результатам испытаний скважины № 48. При опробовании в скважине двух различных объектов были получены притоки нефти и газа. В ходе последующих геологоразведочных работ

было выявлено разобщение поля залежи тектоническим нарушением на два самостоятельных блока, содержащих различные по насыщению залежи углеводородов. С северным (приподнятым) блоком связана газонефтяная залежь, с южным – также нефтегазовая. Залежи в геолого-промысловом отношении слабоизучены, каждая из них охарактеризована бурением одной разведочной скважиной. Залежь газа пласта ПК₁₈ в геологическом плане недоизучена. Продуктивное поле залежи разделено дизъюнктивным нарушением на два тектонических блока. В настоящее время запасы газа подтверждены бурением в пределах южного блока, по северному блоку их оценили по категории С₂.

Свойства и состав пластовых флюидов

В пределах Находкинского нефтегазового месторождения запасы газа выявлены в трёх пластах. Из них результатами исследований поверхностных проб газа охарактеризован только пласт ПК₁.

Компонентный состав свободного газа залежи пласта ПК₁ Находкинского месторождения определялся в Центральной лаборатории Главтюменьгеологии.

Состав пластового газа изучен по двум пробам из скважины № 43 (интервал 1069,3–1067 м) и скважины № 42 (интервал 1048–1051 м).

Газ сухой, метанового состава (98,8–96,7 %), тяжёлые углеводороды отсутствуют. Негорючие газы присутствуют в незначительных количествах: углекислый газ – 0,14–0,552 %, азот – 0,99–2,809 %, гелий – 0,007–0,008 %, аргон – 0,022–0,15 %. Относительная плотность газа по воздуху – 0,5606–0,574.

Учитывая непредставительность проведённого объёма исследований для составления проекта ОПЭ, были привлечены результаты исследований устьевых проб газа по пласту ПК₁ близлежащего Юрхаровского месторождения. На указанном месторождении состав пластового газа изучен по 6 скважинам.

Результаты исследований устьевых проб показали, что пластовый газ Юрхаровского месторождения имеет преимущественно метановый состав. Газ сухой. Содержание метана изменяется от 98,7 % до 99,13 %, составляя в среднем 98,85 %. Максимальное содержание тяжёлых углеводородов (этана) по скважинам не превышает 0,12 %.

Для залежей газа двух рассматриваемых месторождений, как и для других аналогичных залежей Севера Западной Сибири, характерно полное отсутствие сероводорода, который увеличивает коррозионные свойства газа и создаёт дополнительные трудности при эксплуатации месторождений.

Из негорючих газов на Юрхаровском месторождении присутствуют азот – 0,806–1,193 % (в среднем 0,99 %), углекислый газ – 0,027–0,2 % (в среднем 0,108 %).

Из инертных газов содержатся в непромышленных категориях гелий и аргон. Содержание гелия колеблется от 0,01 до 0,014 %, в среднем его содержание составляет 0,013 %. Запасы гелия относятся к балансовым при содержании гелия в горючих газах газовых залежей от 0,050 % и выше. Содержание аргона в газе изменяется от 0,001 до 0,02 %, в среднем составляет 0,014 %. Водород обнаружен в незначительном количестве до 0,004 %.

Относительная плотность газа по воздуху в зависимости от его состава изменяется от 0,559 до 0,562, в среднем составляет 0,56.

Учитывая вышеприведённую физико-химическую характеристику свободного газа, состав пластового газа по залежи Находкинского месторождения наиболее реально отражают результаты исследований устьевой пробы по скважине № 43. Проба по скважине № 42 отбракована из-за повышенного, по сравнению с предыдущей скважиной, содержанием азота, который, по-видимому, поступил из атмосферного воздуха при отборе устьевой пробы.

Сравнительный анализ устьевых проб газа по двум месторождениям показал (табл. 1), что свободный газ залежи пласта ПК₁ Находкинского месторождения можно уверенно отнести к сухим, метановым.

В пределах Находкинского месторождения запасы нефти связаны с пластом ПК₁₆₋₁₇. По результатам испытаний нефтенасыщенной части пласта в скважине № 48 (интервал 1611–1614 м) были отобраны устьевые пробы нефти.

Результаты лабораторных исследований одной поверхностной пробы приведены в таблице 1. Вязкость нефти в поверхностных условиях при 20 °С равна 31,52 мм²/с, при 50 °С – 10,01 мм²/с. Нефть имеет плотность 0,8953 г/см³. Содержание фракций, выкипающих до 300 °С, составляет 37,0 %.

Таблица 1 – Свойства нефти

Параметр	Значение			
	41	41	43	48
Номер скважины				
Интервал испытания, м	3193–3201	3193–3201	3298–3314	1611–1614
Пласт	БУ ₁₆	БУ ₁₆	БУ ₁₆	ПК ₁₆₋₁₇
Фракционный состав, объём. %	127	107	73	145
Температура начала кипения, °С				
до 150 °С	7	34	34	1,8
до 200 °С	36,5	62	49,5	5,8
до 250 °С	61	76	61,5	18,5
до 300 °С	78	89	74	37
остаток	22	12	26	–
Плотность, г / см ³	0,819	0,800	0,792	0,8953
Вязкость кинематическая, мм ² / с				
при 20 °С	2,56	1,57	2,19	31,52
при 50 °С	1,52	1,04	1,46	10,01
Сера, %	0,04	0,23	0,11	0,14
Парафины, %	3,66	2,13	2,82	0,84
Температура плавления парафина, °С	49	50,5	52	53
Азот, %	0,01	0,04	0,04	0,06
Смолы силикагелевые, %	0,88	3,55	1,55	4,13
Асфальтены, %	–	0,15	не обн.	0,13
Молекулярный вес	162	139	156	246
Температура застывания нефти, °С	–	–	–	ниже 26

По результатам лабораторных исследований нефти отнесены к классу малосернистых (0,14 %), малопарафиновых (0,84 %), смолистых (4,13 %).

Основные проектные решения

Находкинское газонефтяное месторождение введено в разработку на основании проекта опытно-промышленной эксплуатации, выполненного институтом ОАО «СибНАЦ».

Прогноз технологических показателей принят условно на 25 лет, начиная с 2020 по 2035 гг.

В проекте разработки, на основе созданной геологической модели сеноманской залежи Находкинского месторождения, рассмотрены 6 вариантов разработки, обеспечивающие как различные темпы отбора газа, так и разные конструкции скважин.

Различие вариантов, в основном, касается размещения скважин на площади месторождения, конструкций скважин.

Предварительный технико-экономический анализ вариантов разработки показал, что лучшими показателями характеризуется вариант 3, обеспечивающий проектный отбор газа в объёме 10 млрд м³ (темп отбора 4 %).

В рамках данного варианта с проектным уровнем добычи газа 10 млрд м³ рассмотрены варианты по его оптимизации: применение субгоризонтальных скважин, различное количество скважин в кустах.

Вариант предполагает разбуривание залежи 60 добывающими скважинами в течение трёх лет. Разбуривание залежи осуществляется кустовым способом. Количество скважин в кустах – 3, количество кустов – 20. Кусты скважин равномерно размещены в пределах газонасыщенной толщины 40 м. Расстояние между забоями скважин в кусте 600 м.

Строительство и ввод добывающих скважин осуществляется следующим образом. В первый год бурится и вводится в эксплуатацию 21 добывающая скважина, во второй год – 30, в третий – 9. Коэффициент эксплуатации новых скважин составляет 0,5, остальных – 0,95.

Вариант характеризуется следующими основными технологическими показателями (рис. 2):

- фонд добывающих скважин – 60 ед.;
- максимальная годовая добыча газа – 10,0 млрд м³;

- темп отбора газа – 4,0 %;
- период растущей и постоянной добычи – 14 лет;
- отбор газа за период постоянной добычи – 127,3 млрд м³;
- процент отбора газа за период постоянной добычи – 51,6 %;
- отбор газа за 20-летний период – 183,9 млрд м³;
- процент отбора газа за 20-летний период – 74,5 %;
- среднее пластовое давление на конец расчётного периода – 3,2 МПа;
- среднее устьевое давление на конец расчётного периода – 2,1 МПа.

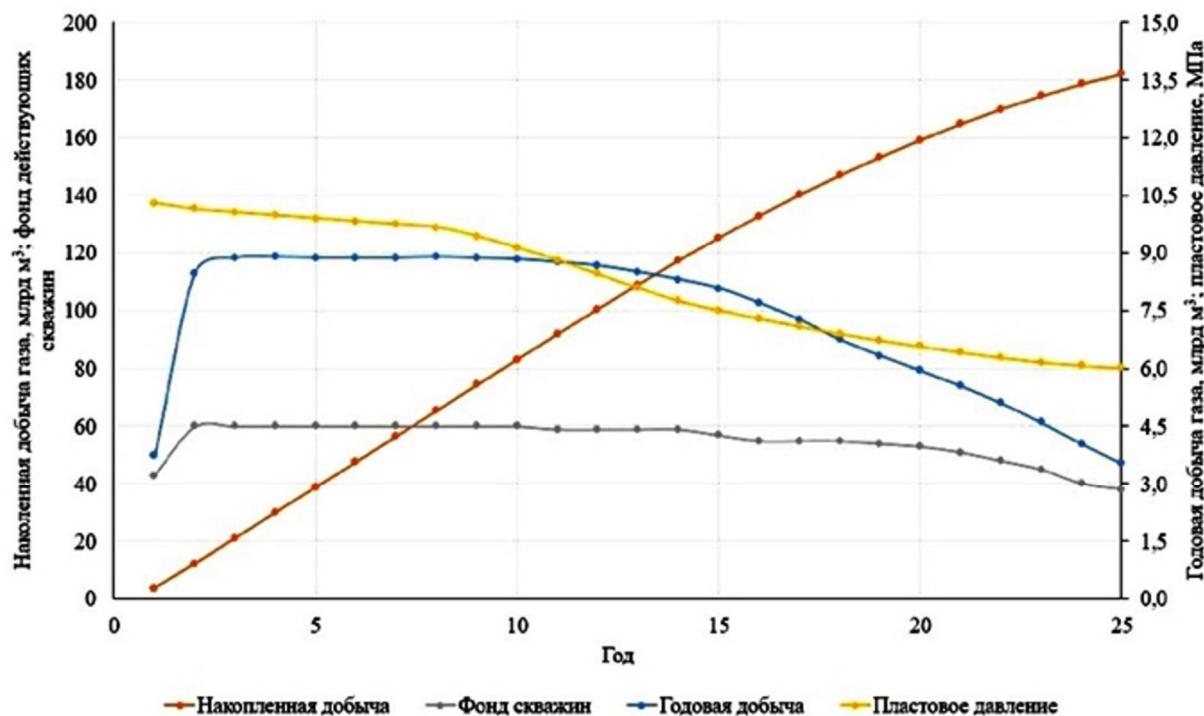


Рисунок 2 – Основные технологические показатели разработки

Средний входной дебит добывающих скважин по газу составляет 480 тыс. м³ / сут., на конец расчётного периода – 388 тыс. м³ / сут.

Реализация рекомендуемого варианта осуществляется следующим образом.

В год, предшествующий началу эксплуатации, бурится 21 добывающая скважина. Разбуриваются кусты 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7. Все кусты содержат по 3 скважины.

Первая скважина в кусте бурится с вертикальным вскрытием продуктивного пласта с вскрытием ГВК ниже на 50 метров. При необходимости первая скважина может быть углублена до нижележащих пластов ПК₁₆₋₁₇ и ПК₁₈. По результатам бурения этой скважины уточняются характеристики продуктивного пласта и оценивается целесообразность бурения остальных скважин куста. Бурение последних осуществляется с остановкой забоев на 10–15 м выше уровня ГВК, скважины бурятся или с вертикальным вскрытием пласта, или с входом в пласт под углом 30–35 градусов. Целесообразность бурения скважин с субгоризонтальным окончанием устанавливается по результатам бурения вертикальной скважины куста.

Перфорация скважин в кусте осуществляется дифференцированно с учётом охвата всего разреза, наличия выдержанных глинистых прослоев и возможности в дальнейшем осуществлять регулирование разработки.

Во второй год бурятся ещё 10 кустов (30 добывающих скважин) с 8-го по 17, время работы скважин данных кустов в течение первого года установлено 0,5 года.

В течение следующего года осуществляется бурение трёх оставшихся кустов скважин №№ 18, 19 и 20.

Таким образом, время разбуривания залежи составляет 3 года, скважины вводятся в эксплуатацию в течение трёх лет.

В период, предшествующий эксплуатационному разбурированию, предполагается вывод из консервации двух разведочных скважин №№ 47 и 48 с целью уточнения продуктивности залежи и возможности их использования для производства электроэнергии.

Для контроля за разработкой предусматривается бурение специальных скважин, приуроченных к эксплуатационным кустам северной, восточной и южной оконечности залежи (наблюдательные). Кроме этого функции контроля возлагаются на разведочные скважины №№ 51 и 52, предлагающиеся к бурению в зоне запасов категории С₂ на западной оконечности залежи.

Вариант обустройства предполагает коллекторно-лучевую схему сбора продукции скважин, объединенных в 20 кустов, на установку комплексной подготовки газа (УКПГ) и транспорт подготовленного газа по газопроводу подключения на пункт сдачи. Врезка газопровода подключения осуществлена на вход КС 1-2 Находкинского месторождения.

На 7–8 годы разработки на входе УКПГ предполагается ввод первой очереди ДКС.

Для предотвращения гидратообразования в период выхода скважин на режим рекомендуется подавать в скважины метанол.

Литература

1. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
2. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Основы геофизических исследований при строительстве и эксплуатации скважин на нефтегазовых месторождениях. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 274 с.
3. Ладенко А.А., Савенок О.В. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений. – М. : Инфра-Инженерия, 2020. – 244 с.
4. Ладенко А.А., Савенок О.В. Геофизические исследования скважин на нефтегазовых месторождениях. – М. : Инфра-Инженерия, 2021. – 260 с.
5. Геофизические исследования и работы в скважинах: учебное пособие / В.В. Попов [и др.] . – Новочеркасск : Издательство «Лик», 2017. – 326 с.
6. Геоинформатика нефтегазовых скважин / В.В. Попов [и др.] . – Новочеркасск : Издательство «Лик», 2018. – 292 с.
7. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – 275 с.
8. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
9. Экологические аспекты при строительстве нефтяных и газовых скважин: монография / О.В. Савенок [и др.] . – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 652 с.
10. Савенок О.В. Проектирование разработки нефтяных месторождений: учебное пособие. – Ухта : Издательство Ухтинского государственного технического университета, 2021.
11. Аптулин Д.В., Мавлетдинов М.Г. Алгоритм обоснования системы размещения скважин с целью наибольшего извлечения углеводородов из нефтяной оторочки Находкинского нефтегазового месторождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – № 11. – С. 58–62.
12. О результатах построения и опытно-промышленной эксплуатации интегрированной модели Находкинского месторождения / А.Е. Бортников [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – № 9. – С. 95–99.
13. Восстановление и повышение производительности скважин Находкинского месторождения ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь» за счёт применения перспективных и эффективных технологий / Р.А. Гасумов [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 3. – С. 16–19.
14. Зипир В.Г. Базовые принципы построения интегрированной модели разрабатываемого месторождения углеводородов // Материалы X Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых» (24–26 октября 2017 года, г. Пермь). Секция 3. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Пермь : Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2017. – С. 142–145.
15. Особенности интерпретации исследований на нестационарных режимах фильтрации для условий слабосцементированного коллектора пласта ПК1 Находкинского месторождения / А.Г. Козубовский [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2018. – № 10. – С. 5–11.

16. Липилина Д.С., Савенок О.В. Процесс освоения добывающей скважины в условиях Находкинского месторождения // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 295–304.
17. Рясный А.Г., Савенок О.В. Анализ текущего состояния и контроль за разработкой Находкинского месторождения // Булатовские чтения. – 2021. – Т. 2.
18. Сидорина Ю.Н. Геохимическая зональность Находкинской порфирово-эпитеpмальной системы (Западная Чукотка) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2015. – № 2. – С. 78–84.

References

1. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremiichuk R.S. Scientific bases and practice of development of oil and gas wells. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
2. Klimov V.V., Savenok O.V., Leshkovich N.M. Fundamentals of geophysical research during construction and operation of wells in oil and gas fields. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 274 p.
3. Ladenko A.A., Savenok O.V. Theoretical bases of development of oil and gas fields. – M. : Infra-Engineering, 2020. – 244 p.
4. Ladenko A.A., Savenok O.V. Geophysical Research of Wells in Oil and Gas Fields. – M. : Infra-engineering, 2021. – 260 p.
5. Geophysical research and work in wells: a training manual / V.V. Popov [et al.]. – Novocherkassk : Publishing house «Lik», 2017. – 326 p.
6. Geoinformatics of oil and gas wells / V.V. Popov [et al.]. – Novocherkassk : Publishing house «Lik», 2018. – 292 p.
7. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of oil and gas fields. – Krasnodar : Izd. FGBOU VO «KubGTU», 2019. – 275 p.
8. Savenok O.V., Kachmar Y.D., Yaremichuk R.S. Oil and gas engineering in the development of wells. – M. : Infra-engineering, 2019. – 548 p.
9. Ecological aspects in the construction of oil and gas wells: a monograph / O.V. Savenok [et al.]. – M. ; Vologda : Infra-Engineering, 2021. – 652 p.
10. Savenok O.V. Designing the development of oil fields: a training manual. – Ukhta : Publishing House of Ukhta State Technical University, 2021.
11. Aptulin D.V., Mavletdinov M.G. Algorithm of substantiation of well placement system with the purpose of maximum extraction of hydrocarbons from oil rim of Nakhodka oil and gas field // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. – 2016. – № 11. – P. 58–62.
12. On the results of construction and pilot operation of the integrated model of the Nakhodka field / A.E. Bortnikov [et al.] // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. – 2018. – № 9. – P. 95–99.
13. Rehabilitation and improvement of well productivity of Nakhodkinskoye field of LUKOIL-West Siberia LLC through the use of promising and effective technologies / R.A. Gasumov [et al.]. – 2015. – № 3. – P. 16–19.
14. Zipir V.G. Basic principles of building an integrated model of the developed hydrocarbon deposits // Materials of the X All-Russian Scientific and Technical Conference «Problems of Hydrocarbon and Ore Mineral Deposits Development» (October 24-26, 2017, Perm). Section 3. Development of oil and gas fields. – Perm : Publishing house of Perm National Research Polytechnic University, 2017. – P. 142–145.
15. Peculiarities of interpretation of studies on non-stationary filtration modes for conditions of weakly cemented reservoir of formation PK1 of Nakhodka field / A.G. Kozubovsky [et al.] // Oilfield Business. – 2018. – № 10. – P. 5–11.
16. Lipilina D.S., Savenok O.V. The process of producing well development in the conditions of the Nakhodka field // Bulatov readings. – 2020. – Vol. 2. – P. 295–304.
17. Ryasny A.G., Savenok O.V. Analysis of the current state and control of development of the Nakhodka field // Bulatov readings. – 2021. – Vol. 2.
18. Sidorina Y.N. Geochemical zoning of Nakhodka porphyry-epithermal system (Western Chukotka) // Bulletin of Moscow University. Series 4: Geology. – 2015. – № 2. – P. 78–84.

УДК 622.276.63

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕНИЯ ОЧИСТКИ
ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СОЛЯНОКИСЛОТНЫМ РАСТВОРОМ
НА ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ ХАСЫРЕЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**



**ANALYSIS OF THE RESULTS OF CLEANING THE BOTTOMHOLE
ZONE WITH A HYDROCHLORIC ACID SOLUTION
ON THE PRODUCTION WELLS OF THE KHASYREYSKOYE FIELD**

Радзиевский Георгий Анатольевич
студент
направления подготовки Нефтегазовое дело
Ухтинский государственный технический университет
79121296789@yandex.ru

Савенок Ольга Вадимовна
доктор технических наук, профессор
кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и
газовых месторождений и подземной гидромеханики,
Ухтинский государственный технический университет
olgasavenok@mail.ru

Аннотация. Для снижения фильтрационных сопротивлений необходимо осуществлять мероприятия по воздействию на ПЗС для повышения проницаемости, улучшения сообщаемости со стволом скважины и увеличения системы трещин или каналов для облегчения притоков и снижения энергетических потерь в этой ограниченной области пласта. Химические методы воздействия на ПЗС целесообразно применять только в тех случаях, когда можно растворить породу пласта или элементы, отложения которых обусловили ухудшение проницаемости ПЗС, как например, соли или железистые отложения и др. Основным методом воздействия на призабойную зону скважин, доказавшим свою высокую эффективность и успешно применяемым на многих месторождениях, является солянокислотная обработка, которая нашла широкое распространение вследствие своей сравнительной простоты, дешевизны и часто встречающихся благоприятных для её применения пластовых условий. В статье описана технология и проанализированы результаты проведения очистки призабойной зоны солянокислотным раствором на добывающих скважинах Хасырейского месторождения.

Ключевые слова: очистка призабойной зоны скважины солянокислотным раствором; физико-химические основы СКО; виды СКО; количество кислоты и её концентрация; время выдерживания соляной кислоты в пласте и режимы закачки; приготовление рабочих растворов; анализ эффективности солянокислотных обработок.

Radzievsky Georgy Anatolievich
Student,
Training Direction Oil and Gas Engineering,
Ukhta State Technical University
79121296789@yandex.ru

Savenok Olga Vadimovna
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Development and
Operation of Oil and Gas Fields and
Underground Hydromechanics,
Ukhta State Technical University
olgasavenok@mail.ru

Annotation. To reduce filtration resistance, it is necessary to implement measures to influence the near wellbore zone to increase permeability, improve connectivity with the wellbore and increase the system of fractures or channels to facilitate inflows and reduce energy losses in this limited area of the formation. Chemical methods of stimulating the near wellbore zone are advisable only in cases when it is possible to dissolve the formation rock or elements, the deposits of which have caused the deterioration of the near wellbore permeability, such as salts or ferruginous deposits, etc. Hydrochloric acid treatment, which is successfully used in many fields, is widespread due to its comparative simplicity, low cost and often favorable reservoir conditions for its application. The article describes the technology and analyzes the results of cleaning the bottomhole zone with hydrochloric acid solution on the production wells of the Khasyreyskoye field.

Keywords: cleaning the bottomhole zone of the well with hydrochloric acid solution; physical and chemical foundations of the hydrochloric acid treatment; types of hydrochloric acid treatment; amount of acid and its concentration; retention time of hydrochloric acid in the formation and injection modes; preparation of working solutions; analysis of the effectiveness of hydrochloric acid treatments.

Физико-химические основы солянокислотной обработки

Воздействие соляной кислотой на продуктивные породы происходит вследствие растворения в них известняка и доломита, что ведёт к появлению каналов растворения. Реакции соляной кислоты с известняком и доломитом:



Установлено, что скорость растворения карбоната кальция в соляной кислоте зависит от концентрации кислоты. При этом до остаточной концентрации 1,5–2,0 % скорость растворения прямо пропорциональна концентрации, что позволяет отнести данную реакцию к реакциям первого порядка. Однако при более глубокой нейтрализации скорость реакции уменьшается.

Результаты исследования влияния давления и температуры на скорость растворения карбонатной породы в соляной кислоте, находящейся на горизонтальной поверхности образца и на вертикальной, существенно различаются. Так, если по данным Б.Г. Логинова скорость реакции при увеличении давления до 6 МПа замедляется в 60 раз, то по данным М.И. Максимова – в 10 раз. Исследования в сопоставимых условиях с одинаковыми образцами пород, но при различных положениях поверхностей, взаимодействующих с кислотой, подтвердили полученные расхождения. Это объясняется тем, что при взаимодействии кислоты с боковой поверхностью образцов породы возникающее движение раствора вдоль поверхности усиливает массообмен, особенно интенсивно в верхней части образца.

С повышением температуры скорость реакции карбоната кальция с соляной кислотой увеличивается. Наибольшая скорость реакции наблюдается при температуре от 20 до 35 °С.

Влияние скорости движения кислоты на скорость растворения карбонатной породы в соляной кислоте при движении в щелях исследовали А.Н. Баррон, а при движении в каналах круглого сечения – М.Ф. Путилов.

Результаты исследований А.Н. Баррона подтверждают увеличение скорости растворения карбонатной породы с увеличением скорости движения кислоты в щелях с гладкими поверхностями. Однако для анализа процессов в пласте полученные данные не представляют интереса, так как гладкие поверхности в пластах маловероятны.

Пластовым условиям полнее соответствует модель М.Ф. Путилова, который исследовал влияние давления и скорости движения кислоты на входном участке круглого канала, где движение характеризуется неустановившимся профилем распределения скоростей. Установлено, что канал растворения, образующийся в образцах реальных карбонатных пород, при прокачке кислоты как бы состоит из набора входных и выходных участков сложной формы, что при движении кислоты в таких условиях маловероятно.

Влияние давления при движении кислоты в этом случае менее существенно, а скорость реакции зависит от скорости движения кислоты в интервале режимов движения с числом Рейнольдса до 250. Это свидетельствует о том, что при структуре потока кислоты с неустановившимся профилем распределения скоростей скорость реакции определяется диффузией, т.е. скоростью подвода частиц в зону реакции. В пластовых условиях скорости движения кислоты могут быть в десятки и сотни раз больше наблюдавшихся в опытах М.Ф. Путилова, поэтому проведение исследований при режимах движения с большим числом Рейнольдса является актуальной задачей.

Наличие осадкообразующих примесей в соляной кислоте повышает эффективность солянокислотных обработок, способствуя формированию отдельных каналов растворения свищеобразной формы и увеличению скорости их развития. Следовательно, если в пористую карбонатную среду закачивается соляная кислота, содержащая хотя бы одну осадкообразующую примесь, то в результате даже в идеально однородном карбонатном коллекторе развиваются отдельные вытянутые вглубь каналы, а не каверна, что обеспечивает высокий прирост дебитов скважин.

Таким образом, соляная кислота, содержащая осадкообразующие примеси, является более эффективным реагентом для воздействия на карбонатные породы, чем не содержащая их или с добавками стабилизаторов.

Виды солянокислотной обработки

Различают несколько видов обработки соляной кислотой скважин, вскрывших карбонатные коллекторы: кислотные ванны, простые кислотные обработки, серийные поинтервальные кислотные обработки.

Кислотные ванны. Применяются во всех скважинах с открытым забоем после бурения и при освоении, для очистки поверхности забоя от остатков цементной и глинистой корки, продуктов коррозии, кальцитовых выделений из пластовых вод и другие. Для скважин, забой которых обсажен колонной и перфорирован, кислотные ванны проводить не рекомендуют. Объём кислотного раствора должен быть равен объёму скважины от забоя до кровли обрабатываемого интервала, а башмак НКТ, через который закачивают раствор, спускается до подошвы пласта или забоя скважины. Применяется раствор HCl повышенной концентрации (15–20 %), так как его перемешивание на забое не происходит. Время выдержки для нейтрализации кислоты для данного месторождения устанавливается опытным путём по замерам концентрации кислоты в отработанном и вытесненном на поверхность через НКТ растворе. Обычно время выдержки составляет 16–24 часа.

Простые кислотные обработки – наиболее распространённые, осуществляются задавкой раствора HCl в призабойную зону скважины. При многократных обработках для каждой последующей операции растворяющая способность раствора должна увеличиваться за счёт наращивания объёма закачиваемого раствора, повышения концентрации кислоты, а также и за счёт увеличения скорости закачки. Исходная концентрация раствора – 12 %, максимальная – 20 %.

Простые кислотные обработки, как правило, осуществляются с помощью одного насосного агрегата в тщательно промытой и подготовленной скважине без применения повышенных температур и давления. При парафинистых и смолистых отложениях в НКТ и на забое их удаляют промывкой скважины соответствующими растворителями: керосином, пропан-бутановыми фракциями и другими нетоварными продуктами предприятий нефтехимии. При открытом забое кислотная обработка проводится только после кислотной ванны. После закачки расчётного объёма раствора кислоты в НКТ закачивают продавочную жидкость в объёме, равном объёму НКТ. В качестве продавочной жидкости обычно используется нефть для добывающих скважин и вода с добавкой ПАВ для нагнетательных скважин.

Увеличение исходной концентрации – недостаточно эффективный способ, так как он вызывает коррозию металла и оборудования, способствует образованию нерастворимых осадков в продуктах реакции. Увеличение скорости закачки считается эффективным средством, но оно лимитируется поглотительной способностью скважины и мощностью применяемого насосного оборудования. Применение добавок – более эффективное средство. Количество уксусной кислоты в растворе, применяемом для замедления, увеличивают в несколько раз по сравнению с необходимым для стабилизации.

Кислотная обработка под давлением. При простых СКО кислота проникает в хорошо проницаемые прослои, улучшая их и без того хорошую проницаемость. Плохо проницаемые прослои остаются неохваченными. Для устранения этого применяют кислотные обработки под повышенным давлением. При этом чётко выраженные высокопроницаемые прослои изолируются пакерами или предварительной закачкой в эти прослои буфера – высоковязкой эмульсии типа кислота в нефти. Таким способом при последующей закачке кислотного раствора можно значительно увеличить охват пласта по толщине воздействием кислоты. СКО под давлением обычно является третьей операцией после ванн и простых СКО. Сначала на скважине проводятся обычные подготовительные мероприятия: удаление забойных пробок, парафиновых отложений, изоляция обводнившихся прослоев или создание на забое столба тяжёлой жидкости в пределах обводнившегося низа скважины. Обычно перед проведением СКО под давлением продуктивный пласт изучается для выявления местоположения поглощающих прослоев и их толщины. Для предохранения обсадной колонны от высокого давления у кровли пласта на НКТ устанавливают пакер с якорем. Для изоляции или для снижения поглотительной способности высокопроницаемых прослоев в пласт нагнетают эмульсию. Эмульсия в объёме НКТ и подпакерного пространства закачивается при открытом затрубном пространстве и негерметизированном пакере. Затем спущенным на НКТ пакером герметизируют кольцевое пространство, и в пласт закачивается оставшийся объём эмульсии под меньшим давлением. После эмульсии закачивается рабочий раствор HCl объёмом, равным внутреннему объёму НКТ, также при умеренном давлении, а по достижении кислотой башмака НКТ закачка продолжается на максимальных скоростях для создания на забое необходимого давления.

После рабочего раствора HCl без снижения скорости закачивается продавочная жидкость объёмом, равным объёму НКТ и подпакерного пространства. Время выдержки раствора для полной нейтрализации такое же, как и при простых СКО. После выдержки пакер с якорем и НКТ извлекаются, и скважина пускается в эксплуатацию.

Термокислотные обработки. Этот вид воздействия на ПЗС заключается в обработке забоя скважины горячей кислотой, нагрев которой происходит в результате экзотермической реакции соляной кислоты с магнием или некоторыми его сплавами в специальном реакционном наконечнике, расположенном на конце НКТ, через который прокачивается рабочий раствор HCl. Обычно в наконечник загружают от 40 до 100 кг магния в зависимости от обрабатываемого интервала пласта и желаемой температуры. При этом прокачивается от 4 до 10 м³ 15 %-ного раствора HCl.

Существуют два вида обработки.

Термохимическая обработка ПЗС – обработка горячей кислотой, при которой для растворения магния подаётся избыточное количество кислоты для растворения карбонатов породы пласта так, чтобы сохранялась концентрация HCl 10–12 %.

Термокислотная обработка ПЗС – сочетание термохимической и непрерывно следующей за ней кислотной обработки ПЗС. Причём кислотная обработка может быть как обычной, так и под давлением.

Скорость прокачки раствора HCl должна быть такой, чтобы в течение всего процесса на выходе наконечника была одинаковая запланированная температура и постоянная остаточная кислотность раствора. Это условие трудно выполнимо, так как при прокачке кислоты через магний непрерывно изменяются его масса, поверхность соприкосновения с кислотой и др. Это затрудняет расчёт режима прокачки кислоты. Термохимические солянокислотные обработки ПЗС эффективны в скважинах с низкими пластовыми температурами, в призабойной зоне которых наблюдается отложение твёрдых углеводородов (смолы, парафины, асфальты). Этот вид обработки может быть применён как для карбонатных коллекторов, так и для терригенных при достаточно высокой их карбонатности.

Поинтервальная или ступенчатая СКО. При вскрытии нескольких самостоятельных прослоев общим фильтром или общим открытым забоем, а также при вскрытии пласта большой толщины, в разрезе которого имеются интервалы с различной проницаемостью, одноразовая солянокислотная обработка всего интервала всегда положительно сказывается на наиболее проницаемом прослое. Другие прослои с ухудшенной гидропроводностью фактически остаются необработанными. В таких случаях применяют поинтервальную солянокислотную обработку, т.е. обработку каждого интервала пласта или пропластка. Для этого намечаемый для обработки интервал изолируется двумя пакерами, которые устанавливаются непосредственно у границ интервала или пропластка. Эффективность обработки существенно зависит от герметичности затрубного цементного камня, предотвращающего перетоки нагнетаемого раствора HCl по затрубному пространству в другие пропластки. При открытых забоях намеченный для СКО интервал также выделяют с помощью пакерных устройств, используемых в испытателях пластов. После обработки одного интервала и последующей его пробной эксплуатации для оценки полученных результатов переходят к СКО следующего интервала.

СКО терригенных коллекторов. Особенность СКО терригенных (песчаники, алевролиты и др.) коллекторов заключается в том, что кислота в них не формирует отдельные каналы, проникающие в пласт на различную глубину, как в карбонатных и тем более трещиноватых коллекторах.

В данном случае кислотный раствор проникает в пласт более равномерно и контур её проникновения близок к круговому. Однако радиус такого контура проникновения по толщине пласта будет различной в зависимости от проницаемости и пористости прослоев, которых в данном интервале может быть несколько. Другой особенностью СКО является то, что в карбонатных коллекторах кислота реагирует фактически с неограниченной массой карбонатного вещества по всей глубине образующегося канала, тогда как в терригенных карбонаты составляют всего лишь несколько процентов от общего объёма породы. Поэтому фронт нагнетаемого раствора растворяет эти карбонаты и нейтрализуется, а последующие порции раствора, двигаясь по порам, в кото-

рых карбонаты уже удалены, сохраняет свою первоначальную активность. Это приводит к тому, что при последующем дренировании из скважины сначала поступает концентрированный раствор HCl, а за ним нейтрализованная кислота. В пласты кислоту закачивают медленно для лучшего выщелачивания карбонатов и наибольшего растворения силикатных компонентов. Продавочной жидкостью обычно служит пресная вода с добавками ПАВ.

Количество кислоты и её концентрация

При проектировании солянокислотных обработок количество соляной кислоты принимается в зависимости только от эффективной толщины пласта и глубины создаваемых каналов, которая связана с объёмом растворяемой породы:

$$V_k = \frac{V_{\text{рас}} \cdot \rho_{\text{пор}}}{0,0137 \cdot \rho_k \cdot (C_0 + C_k)}, \quad (1)$$

где V_k – объём HCl, см³; $V_{\text{рас}}$ – объём растворённой породы, см³; $\rho_{\text{пор}}$ и ρ_k – плотности породы и кислоты; 0,0137 – количество CaCO₃, растворённого в 1 г 1 %-го раствора HCl, г; C_0 , C_k – начальная и конечная концентрации, %.

Для определения объёма растворённой породы необходимо знать число образующихся каналов и их форму.

Каналы в порово-кавернозных известняках имеют сложную форму. По мере движения соляной кислоты в каналах растворения снижается её концентрация и соответственно уменьшается скорость растворения породы, что приводит к уменьшению поперечных сечений каналов растворения, т.е. формированию конусообразных каналов. В горизонтальной плоскости каналы могут расширяться, что обуславливается фильтрацией соляной кислоты. Для каналов цилиндрической формы:

$$V_{\text{рас}} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot L \cdot N}{4}, \quad (2)$$

где d – диаметр канала, см; L – глубина распространения кислоты, см; N – число каналов, развивающихся с одинаковой скоростью, $N = h \cdot n$ (h – толщина пласта, n – число отверстий на 1 м).

Подставив в формулу (1) значение объёма растворения из (2), получим:

$$V_k = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho_{\text{пор}} \cdot L \cdot h \cdot n}{0,055 \cdot \rho_k \cdot (C_0 - C_k)}. \quad (3)$$

Если в зависимости (3) d заменить выражением $d = a \cdot \sqrt{Re} \cdot C_0 \cdot t$, то при $d_0 = 0$ получим:

$$V_k = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot Re \cdot \rho_{\text{пор}} \cdot C_0^2 \cdot t \cdot L \cdot h \cdot n}{0,055 \cdot \rho_k \cdot (C_0 - C_k)}.$$

При полной нейтрализации кислоты $C_k = 0$, тогда:

$$V_k = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot Re \cdot \rho_{\text{пор}} \cdot C_0^2 \cdot t \cdot L \cdot h \cdot n}{0,055 \cdot \rho_k}. \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что необходимое количество кислоты зависит не только от обрабатываемой толщины пласта h , но и от необходимой глубины каналов L , начальной концентрации C_0 и числа каналов n . Так, при воздействии соляной кислотой на пласт небольшой толщины с низкими коллекторскими свойствами высокий результат достигается, если скважина соединена каналами с более проницаемой частью

пласта, т.е. ставится цель создания более глубоких каналов растворения. Это возможно только в том случае, если количество кислоты на 1 метр вскрытой толщины пласта будет больше, чем принимается для воздействия в пластах с хорошими коллекторскими свойствами и большой толщины, когда для высокого эффекта достаточно создать неглубокие каналы.

Концентрированная кислота реагирует с металлом и растворяет сульфосоли, которые способны выпадать в осадок при дальнейшей нейтрализации кислоты. Поэтому концентрацию соляной кислоты рекомендуется снижать до 10–15 %.

С увеличением исходной концентрации кислоты глубина проникновения её в поровые каналы прямо пропорционально увеличивается. Применяя, например, кислоту 20 %-ной концентрации вместо 10 %-ной можно углубить каналы от 0,5 до 1 см, однако это не оказывает существенного влияния на прирост производительности скважины.

При фильтрации кислоты сквозь образцы реальных пород в поровых средах образовывались каналы растворения с диаметром поперечных сечений 1–2 мм. В таких каналах концентрация HCl за время её движения снижалась не более чем на 1–2 %. Следовательно, характер влияния исходной концентрации кислоты на глубину её проникновения практически не зависит от концентрации. А это значит, что применение концентрированной кислоты незначительно повышает производительность скважины.

Таким образом, применение кислоты концентрацией 10–14 % можно считать обоснованным.

Время выдерживания соляной кислоты в пласте и режимы закачки

Время выдержки кислоты зависит от многих факторов. Лабораторные опыты показывают, что кислота реагирует с карбонатами очень быстро, особенно в пористой среде. Повышенная температура ускоряет реакцию, а, следовательно, сокращает время выдержки кислоты на забое. При низких температурах, открытом стволе и сохранении объёма кислоты в пределах обрабатываемого интервала выдержка продолжается от 8 до 24 часов, при задавливании всей кислоты в пласт при пластовой температуре 15–30 °С – до 2 часов, при температуре 30–60 °С – 1,0–1,5 часа. При более высоких температурах выдержка не планируется, так как перевод скважины на режим эксплуатации потребует больше времени, чем это нужно для полной нейтрализации кислоты.

Известны две технологические схемы проведения солянокислотных обработок добывающих скважин. В соответствии с первой соляная кислота продавливается в пласт жидкостью в объёме, равном объёму насосно-компрессорных труб, и выдерживается в пласте на реакции до её нейтрализации. По второй схеме, предложенной В.М. Березиным, объём продавочной жидкости увеличивается на величину объёма породы, растворённой кислотой, закачанной в пласт при данной и всех предыдущих обработках. Скважины рекомендуется осваивать без выдержки кислоты на реакции.

При завершении кислотной обработки многообъёмной продавкой кислоты без выдерживания её на реакции не наблюдается прироста дебита скважины. Это объясняется тем, что применяемая кислота содержит осадкообразующие примеси (HF, Fe, ПБ-5) и степень снижения проницаемости за счёт коагуляционных явлений при этом выше, чем при выдерживании кислоты на реакции. В процессе выдерживания кислоты, содержащей осадкообразующие примеси, растворяется некоторый слой породы вокруг каналов растворения, где сосредоточено наибольшее количество частиц и создаётся скин-эффект.

Таким образом, при выборе рациональной технологии проведения кислотных обработок необходимо учитывать качество кислоты.

Наименование работ, производимых при обработке призабойной зоны скважины солянокислотным раствором

- Демонтаж лубрикатора, монтаж и опрессовка нагнетательной линии «ЦА 320 – лубрикаторная задвижка» давлением 20 МПа.
- Разрядка затрубья до появления нефтегазовой эмульсии.
- Закачка в НКТ на циркуляцию СКР (14 %), штуцируя затрубье для создания

давления 2,0–2,5 МПа.

– Закрытие затруба и закачка в НКТ на поглощение СКР (14 %) при $P_{уст} = 14 - 15$ МПа. Затрубное давление не должно превышать 20 МПа. При этом разрядку затрубья не производить. Определение приёмистости при закачке.

– Продавка СКР в пласт закачкой в НКТ на поглощение дегазированной нефтью при $P_{уст} = 14 - 16$ МПа. Затрубное давление не должно превышать 200 МПа.

– Время на реакции. Во время реакции демонтаж нагнетательной линии, монтаж лубриката.

– Открытие НКТ на факельную линию через штуцерную камеру.

– Обработка скважины до выхода на фонтанный режим.

– При отсутствии фонтанного притока продолжить освоение скважины компрессором, учитывая текущее состояние скважины.

Схема расположения техники и оборудования при солянокислотной обработке приведена на рисунке 1.

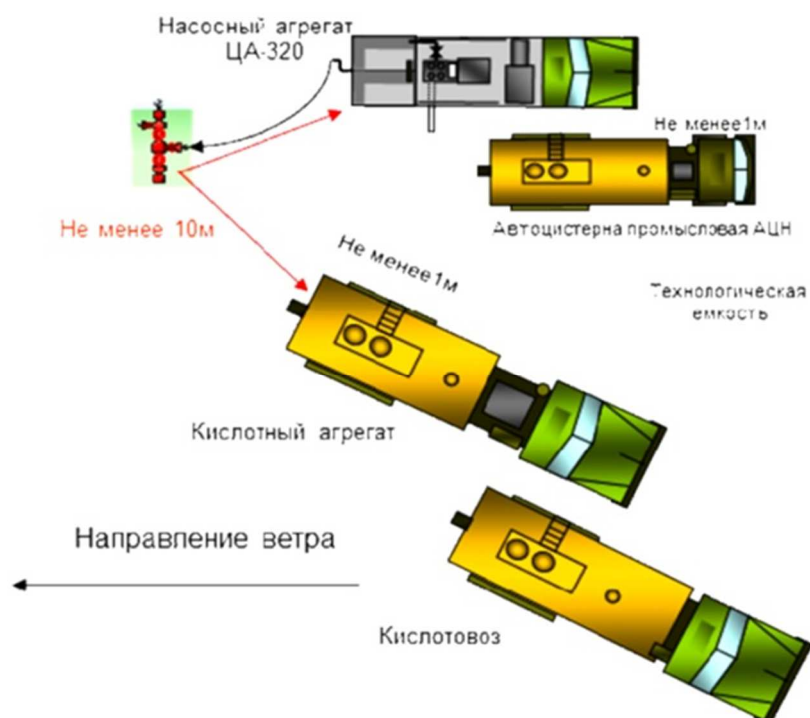


Рисунок 1 – Схема расстановки техники при кислотной обработке

Приготовление рабочих растворов

Радиус зоны обработки в трещинных коллекторах рассчитывается по зависимости:

$$R = \sqrt{\frac{q_i \cdot \tau}{\pi \cdot n \cdot \sigma} + R_{скв}^2}, \quad (5)$$

где q_i – темп закачки кислотного раствора из расчёта на 1 м толщины пласта, $m^3 / мин.$; τ – время нейтрализации кислоты в пласте, мин.; n – число трещин на 1 м толщины пласта; σ – средняя раскрытость трещин, м; $R_{скв}$ – радиус скважины, м.

При отсутствии данных о количестве и раскрытости трещин в пласте, может быть использован коэффициент вторичной пористости m_m :

$$R = \sqrt{\frac{q_i \cdot \tau}{\pi \cdot m_m \cdot \sigma} + R_{скв}^2}. \quad (6)$$

Учитывая ограниченное время нейтрализации кислоты в пласте, темпы её нагнетания должны быть максимально возможными.

Объём кислотного раствора для обработки определяется временем нейтрали-

зации и темпами закачки в зависимости от радиуса обработки (радиуса загрязнённой зоны пласта). При отсутствии данных о размерах загрязнённой зоны пласта объём кислотного раствора выбирается из расчёта 0,3–0,5 м³ на один погонный метр эффективной толщины пласта для первичных обработок и 0,5–0,7 м³ – для повторных обработок, но не менее объёма лифта. При гидрокислотном разрыве пласта объём кислотного раствора может быть увеличен до 1 м³ на один метр интервала перфорации.

Рекомендуемые объёмы HCl на 1 м толщины пласта приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Рекомендуемые объёмы HCl на 1 м толщины пласта

Порода	Объём раствора	
	при первичных обработках	при вторичных обработках
Малопроницаемые тонкопористые	0,4–0,6	0,6–1,0
Высокопроницаемые	0,5–1,0	1,0–1,5
Трещиноватые	0,6–0,8	1,0–1,5

Оптимальное количество кислоты для конкретной обработки можно определить по зависимости изменения давления закачки во времени.

В процессе первой обработки, как правило, увеличивается давление на устье скважины в начальный период. Затем оно стабилизируется на некотором уровне и падает вначале резко, а затем медленно. Это объясняется тем, что пока кислота внедряется в каналы с малой протяжённостью, сопротивления велики, производительность агрегатов превышает приёмистость и давление растёт. По мере развития каналов растворения в пласте сопротивление снижается, давление стабилизируется и падает вначале резко, а затем медленно. Уменьшение темпа снижения давления не означает, что развитие каналов прекратилось. Это связано с созданием больших поверхностей фильтрации, практически ликвидировавших сопротивления в призабойной зоне пласта. В этом случае при эксплуатации скважин после воздействия соляной кислотой будет обеспечиваться приток нефти без роста сопротивлений в призабойной зоне, а значит, если обработка производится с целью снижения этих сопротивлений, то поставленную задачу следует считать выполненной. Следовательно, количество кислоты, закачанной до резкого снижения давления, является оптимальным.

Таким образом, на каждом новом месторождении в период разведки и опытной эксплуатации рекомендуется поводить несколько обработок, оценивая динамику процесса и определяя оптимальное количество кислоты для различных зон пласта, необходимое для снижения сопротивлений в призабойной зоне пласта.

Приготовление растворов кислоты осуществляется в ёмкости кислотного агрегата или в специальных емкостях путём разбавления товарной кислоты доливом технической воды под уровень кислоты.

Продавка растворов в пласт осуществляется на максимально возможных расходах. Объём продавочной жидкости выбирается из условия продавки кислоты вглубь пласта в течение не менее 10 минут после закачки всей кислоты из скважины в пласт. По окончании продавки кислота выдерживается в пласте под давлением на реагирование с породой в течение времени, равном периоду нейтрализации за вычетом времени продавки.

После выдержки на реагирование производится запуск скважины в работу. При необходимости осуществляется обратная промывка скважины от продуктов реакции. Запуск скважины в работу рекомендуется осуществлять на малых штуцерах с постепенным переходом на оптимальный режим.

При отсутствии эффекта от обработки близлежащей зоны пласта проводятся повторные обработки для повышения охвата пласта воздействием. В качестве базового кислотного раствора в этом случае следует использовать концентрированную соляную кислоту с присадками. При отсутствии эффекта от повторных обработок проводится гидрокислотный разрыв пласта или поинтервальная обработка по специальной технологии. Необходимое технологическое оборудование и спецтехника приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Необходимое технологическое оборудование и спецтехника

Техническая вода	м ³
Дегазированная нефть	м ³
НСИ (37 %)	м ³
Кислотовоз	1 шт.
ЦА-320	1 шт.
Кислотный агрегат	1 шт.
АЦН 10	3 шт.
ППУ	1 шт.

Анализ эффективности кислотных обработок на Хасырейском месторождении

Анализ результатов опробования и исследования скважин на Хасырейском месторождении, полученных на поисково-разведочном этапе, свидетельствует о соответствии существующим требованиям проведённых работ по исследованию скважин на установившихся режимах. Исследования показали достаточно высокую продуктивность нефтяных скважин, а также высокую эффективность солянокислотных обработок пласта, когда дебит скважин после проведения СКО увеличился в несколько раз.

Из сводного отчёта о проделанной работе над фондом добывающих и нагнетательных скважин, были выбраны скважины, освоённые из бурения, на которых производилась очистка призабойной зоны пласта солянокислотным раствором. Скважины находились в эксплуатации в течение 4–6 суток после освоения для очистки ПЗП на естественном режиме с последующими гидродинамическими исследованиями (барометрия на кровле перфорированного интервала при различных забойных давлениях).

Основные геолого-технические данные скважин №№ 5006, 5007, 5015, 5024 и 5029 представлены в таблицах 3–7, данные по технологии обработок и их результаты представлены в таблице 8.

Таблица 3 – Основные геолого-технические данные скважин №№ 5006, 5007, 5015, 5024 и 5029

Номер скважины	5006	5007	5015	5024	5029
Категория скважины	в освоении из бурения				
Дебит, м ³ / с, × 10 ⁻³	1,33	2,15	1,5	132	1,6
Планируемый способ эксплуатации	фонтанный				
Плотность пластовой воды, г / см ³	1,125				
Газосодержание, м ³ / с, × 10 ⁻³	1,38				
Плотность нефти в стандартных условиях, г / см ³	0,862				
Плотность нефти в пластовых условиях, г / см ³	0,766				
Ожидаемое пластовое давление, МПа	21,5	21,5	21,2	23,2	23,2
Наличие сероводорода	отсутствует				
Искусственный забой, м	2832, ЦКОД	2393, ЦКОД	2910, ЦКОД	2708, ЦКОД	2899, ЦКОД
Давление опрессовки эксплуатационной колонны, МПа	20,0				

Таблица 4 – Конструкция скважины

Номер скважины		5006	5007	5015	5024	5029
Направление	диаметр	530 мм	530 мм	530 мм	426 мм	426 мм
	длина	10 м	10 м	10 м	10 м	10 м
Кондуктор	диаметр	426 мм	426 мм	426 мм	426 мм	324 мм
	длина	80 м	85 м	80 м	83 м	82 м
Техническая колонна	диаметр	324 мм	324 мм	324 мм	324 мм	245 мм
	длина	501 м	497 м	548 м	500 м	503 м
Промежуточная колонна	диаметр	245 мм	245 мм	245 мм	245 мм	245 мм
	длина	1835 м	1709 м	1960 м	1900 м	2093 м
Эксплуатационная колонна	диаметр	168 мм	168 мм	168 мм	168 мм	168 мм
	длина	2835 м	2396 м	2920 м	2719,5 м	2910 м

Таблица 5 – Эксплуатационная колонна

Номер скважины	5006	5007	5015	5024	5029
168 мм интервал, м (верх)	0	0	0	0	0
(низ)	2835	2396	2920	2719,56	2910
Толщина стенки, мм	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
Марка стали	Д	Д	Д	Д	Д
V погонного метра эксплуатационной колонны, м ³	17,71	17,71	17,71	17,71	17,71
ЦКОД интервал, м (верх)	2832	2393	2910	2708,45	2899
Башмак интервал, м (верх)	2835	2396	2920	2719,56	2910

Таблица 6 – Данные о перфорации скважин №№ 5006, 5007 и 5029

Интервалы перфорации, м		Тип перфоратора	Плотность перфорации, отв./м
верх	низ		
данные о перфорации скважины № 5006			
2420,5	2422,5	ПКТО-89 С	15,2
2425	2437,5	ПКТО-89 С	15,2
2438,5	2443,5	ПКТО-89 С	15,2
2446	2481	ПКТО-89 С	15,2
данные о перфорации скважины № 5007			
2198,5	2201	ПКТО-89 С	15,2
2202,5	2204,5	ПКТО-89 С	15,2
2206,5	2208,5	ПКТО-89 С	15,2
2214	2217,5	ПКТО-89 С	15,2
2218,5	2225,5	ПКТО-89 С	15,2
2227	2241	ПКТО-89 С	15,2
2246	2255,5	ПКТО-89 С	15,2
2258,5	2280,5	ПКТО-89 С	15,2
2281,5	2304,5	ПКТО-89 С	15,2
2306,5	2308,5	ПКТО-89 С	15,2
2317,5	2312,5	ПКТО-89 С	15,2
2338,5	2351,5	ПКТО-89 С	15,2
2354	2357	ПКТО-89 С	15,2
2371	2373	ПКТО-89 С	15,2
Эффективная перфорированная мощность			90,4 м
данные о перфорации скважины № 5029			
2640	2695	ПКТО-89 С	15,2
2716	2757	ПКТО-89 С	15,2
Общая перфорированная мощность			96 м

Таблица 7 – Данные о перфорации скважин №№ 5015 и 5024

Интервалы перфорации, м		Тип перфоратора	Плотность перфорации, отв./м	Мощность интервала перфорации, м	Эффективная перфорированная мощность, м
верх	низ				
данные о перфорации скважины № 5015					
2511	2521	ПКТО-89 С	15,2	10	8
2523,5	2554	ПКТО-89 С	15,2	30,5	24
2556	2573	ПКТО-89 С	15,2	17	11,5
2652	2675	ПКТО-89 С	15,2	23	11
			ИТОГО	80,5	54,5
данные о перфорации скважины № 5024					
2388	2422	ПКТО-89С	15,2	34	32
2425,5	2427,5	ПКТО-89С	15,2	2	1
2428	2439,5	ПКТО-89С	15,2	11,5	8,4
2452	2494	ПКТО-89С	15,2	42	39
			ИТОГО	89,5	80,4

Таблица 8 – Анализ эффективности кислотных обработок

Номер скважины	5007	5024	5006	5015	5029
Пластовое давление, МПа	21,5	23,2	21,5	21,2	23,0
Пластовая температура, °К	319	319	319	319	319
Диаметр эксплуатационной колонны, мм	168	168	168	168	168
Глубина спуска, м	2373	2494	2481	2675	2757
Параметры работы скважины					
До СКО					
Дебит, м ³ /с, × 10 ⁻³	2,15	1,32	1,33	1,50	1,60
Обводнённость, %	0,3	1,6	0	0	0,1
После СКО					
Дебит м ³ /с, × 10 ⁻³	3,12	2,48	2,85	2,11	2,86
Обводнённость, %	0,3	1,6	0,3	0,3	0,8
Увеличение дебита %	45	88	114	40	78
Объём кислотного раствора, м ³	45	40	18	36	43
Объёмная концентрация соляной кислоты в растворе, %	14	14	14	14	14
Общее время производства работ по ОПЗ пласта, час	26	22	21	23	24

Анализируя данные таблицы 8, видно, что суточный прирост дебита по пяти скважинам составил 475 м³, что составляет в среднем 70 % от первоначального показателя. Эффективность очистки призабойной зоны скважины составляет 100 %. На всех пяти скважинах достигнут положительный результат. На скважинах №№ 5006, 5015 и 5029 незначительно возрос процент обводнённости нефти.

Анализируя результаты обработок, по данным таблицы 8 следует отметить основными параметрами технологии обработки пласта, влияющими на результаты кислотных обработок, являются объём кислоты, её концентрация, скорость закачки и продавки в пласт и время выдержки на реагирование.

Основные выводы и рекомендации по повышению эффективности применяемых методов кислотного воздействия на пласт

Перед проведением обработок заблаговременно рекомендуется проводить оценку приёмистости пласта в целях планирования объёма и скорости закачки кислоты в пласт. Эти параметры технологии должны обеспечить проникновение кислоты вглубь пласта в химически активном состоянии на расстояние не менее расчётного радиуса зоны с ухудшенной проницаемостью. Целесообразно вначале задать объём кислоты из расчёта 0,2–0,3 м³ на 1 м интервала перфорации, а затем рассчитать радиус проникновения её в пласт, объём и скорость продавки с учётом времени нейтрализации кислоты в пласте.

При отсутствии данных о размерах скин-зоны объём продавки рекомендуют принять на 1,0–1,5 м³ больше суммарного объёма НКТ и объёма колонны под башмаком НКТ. Скорость продавки должна быть максимально возможной и определяться возможностями насосной техники и допустимым давлением в затрубном пространстве.

В качестве продавочной жидкости следует использовать лёгкую нефть или нефть этого же месторождения с использованием буферной пробки из лёгких нефтепродуктов в объёме 0,2–0,3 м³.

При повторных обработках объём кислоты должен быть увеличен в 1,5–2,0 раза по сравнению с предыдущей обработкой.

В работе М.И. Максимова рассмотрено два режима закачки кислоты: при постоянном расходе ($\Delta Q = \text{const}$) и при постоянном перепаде давления ($\Delta P = \text{const}$). При этом делается вывод, что при $\Delta Q = \text{const}$ первая порция кислоты проникает на наибольшее расстояние, а при постоянном перепаде давления $\Delta P = \text{const}$ глубина проникновения непрерывно увеличивается. Глубина проникновения с увеличением диаметра канала возрастает в первом случае в степени 1 / 2, во втором – в степени 3 / 2.

Следовательно, заданная глубина проникновения соляной кислоты при закачке её на режиме $\Delta P = \text{const}$ будет достигаться быстрее при применении меньшего коли-

чества кислоты, чем на режиме $\Delta Q = \text{const}$.

При применении одного агрегата режим $\Delta P = \text{const}$ обеспечивается некоторое время при первых кислотных обработках. При повторных обработках в подавляющем большинстве случаев процесс воздействия проходит на малоэффективном режиме ($\Delta Q = \text{const}$). С этим может быть связано большое количество малоэффективных повторных обработок (50–60 %).

Таким образом, одним из путей повышения эффективности кислотных обработок является осуществление закачки кислоты на режиме $\Delta P = \text{const}$. Вторую и третью обработки необходимо проводить с применением нескольких агрегатов.

Литература

1. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для студентов вузов / А.И. Булатов [и др.] . – Краснодар : Просвещение-Юг, 2011. – 603 с.
2. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах: учебное пособие. – Краснода: Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
3. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
4. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
5. Освоєння нафтових і газових свердловин / А.І. Булатов [и др.] // Наука і практика: монографія. – Львів : Сполом, 2018. – 476 с.
6. Пластоиспытательное оборудование для гидродинамических исследований пластов нефтяных и газовых скважин / П.С. Варламов [и др.]. – Уфа : Уфимский полиграфкомбинат, 2004. – 620 с.
7. Геоинформатика нефтегазовых скважин / В.В. Попов [и др.] . – Новочеркасск : Издательство «Лик», 2018. – 292 с.
8. Савенок О.В., Лаврентьев А.В., Березовский Д.А. Проектирование кислотной обработки пласта. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2014. – 86 с.
9. Савенок О.В., Арутюнян А.С., Шальская С.В. Интерпретация результатов гидродинамических исследований: учебное пособие. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2017. – 203 с.
10. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
11. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – 275 с.
12. Экологические аспекты при строительстве нефтяных и газовых скважин: монография / О.В. Савенок [и др.] . – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 652 с.
13. Савенок О.В. Проектирование разработки нефтяных месторождений: учебное пособие. – Ухта : Издательство Ухтинского государственного технического университета, 2021.
14. Технологии и принципы разработки многопластовых месторождений / Д.А. Березовский [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2017. – № 1. – С. 33–50.
15. Березовский Д.А., Кусов Г.В., Савенок О.В. Анализ проведения солянокислотной обработки скважин на Средне-Макарихинском месторождении // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 30–38.
16. Березовский Д.А., Савенок О.В., Кусов Г.В. Закономерности и изменения свойств нефти и газа в залежах и месторождениях // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 1. – С. 114–119.
17. Григулецкий В.Г., Коротков С.В. Расчёт производительности вертикальных и горизонтальных скважин при возможном прорыве газа и воды // Сборник научных трудов «Гипотезы. Поиск. Прогнозы». – Краснодар, 2000. – Вып. 9. – С. 302–308.
18. Дроздов А.А., Савенок О.В. Анализ результатов солянокислотных обработок призабойной зоны пласта на добывающих скважинах Салюкинского месторождения // Сборник тезисов 75-ой Международной молодёжной научной конференции «Нефть и газ – 2021» (26–30 апреля 2021 года, г. Москва). – М. : РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2021.
19. Гайсин М.Р., Фоломеев А.Е., Макатров А.К. Определение смачиваемости кернa месторождений Вала Гамбурцева различными методами // Территория Нефтегаз. – 2011. – № 4. – С. 46–53.
20. Клейменов И.В. Геологическое обоснование перспектив применения термогазового воздействия на Хасырейском месторождении Вала Гамбурцева // Наука и техника в газовой промышленности. – 2015. – № 3 (63). – С. 12–16.
21. Липилина Д.С., Савенок О.В. Процесс освоения добывающей скважины в условиях Находкинского месторождения // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 295–304.

22. Радзиевский Г.А., Савенок О.В. Анализ технологии вскрытия продуктивных пластов и освоения скважин Хасырейского месторождения // Материалы Международной научно-практической конференции «Научный потенциал вуза – производству и образованию», посвящённой 75-летию Победы советского народа в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. (4–5 декабря 2020 года, г. Армавир).
23. Савенок О.В., Кусова Л.Г. Нефтеотдача пласта и пути её увеличения // Вестник студенческой науки кафедры информационных систем и программирования, 2018. – № 03 (6). – С. 97–120. – URL : <http://vsn.esrae.ru/pdf/2018/03/31.PDF>
24. Создание технологической модели трещиноватых карбонатных коллекторов на примере Хасырейского месторождения Вала Гамбурцева / Е.А. Шатунова [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 11. – С. 46–48.
25. Савенок О.В. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620242. Заявка № 2012621485. Дата поступления 24 декабря 2012 г. Зарегистрировано в Реестре баз данных 07 февраля 2013 г.
26. Свалов А.М., Григулецкий В.Г. Патент РФ № 2579039. Способ разработки низкопроницаемых нефтегазовых пластов. Дата подачи заявки: 24.04.2015. Дата публикации патента: 27.03.2016. Патентообладатели: Свалов А.М., Григулецкий В.Г.

References

1. Ecology in the construction of oil and gas wells: a textbook for university students / A.I. Bulatov [et al.]. - Krasnodar : Prosveshchenie – South, 2011. – 603 p.
2. Bulatov A.I., Savenok O.V. The practical course on the discipline of «Oil and gas well completion»: in 4 volumes: a training manual. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – Vol. 1–4.
3. Bulatov A.I., Savenok O.V. Capital underground repair of oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – Vol. 1–4.
4. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremychuk R.S. Scientific bases and practice of oil and gas wells development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
5. Development of oil and gas wells / A.I. Bulatov [et al.] // Science and practice: monograph. – Lviv : Spolom, 2018. – 476 p.
6. Plast-testing equipment for hydrodynamic research of oil and gas wells / P.S. Varlamov [et al.]. – Ufa : Ufa Printing Works, 2004. – 620 p.
7. Geoinformatics of oil and gas wells / V.V. Popov [et al.]. – Novocherkassk : Publishing house «Lik», 2018. – 292 p.
8. Savenok O.V., Lavrent'ev A.V., Berezovsky D.A. Designing acid treatment of reservoirs. – Krasnodar : Publishing House – South, 2014. – 86 p.
9. Savenok O.V., Arutyunyan A.S., Shalskaya S.V. Interpretation of hydrodynamic research results: tutorial. – Krasnodar : Izd. FGBOU VO «KubGTU», 2017. – 203 p.
10. Savenok O.V., Kachmar Yu.D., Yaremiichuk R.S. Oil and gas engineering in well development. – M. : Infra-engineering, 2019. – 548 p.
11. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of oil and gas fields. – Krasnodar : Izd. FGBOU VO «KubGTU», 2019. – 275 p.
12. Environmental aspects in the construction of oil and gas wells : monograph / O.V. Savenok [et al.]. – M. ; Vologda : Infra Engineering, 2021. – 652 p.
13. Savenok O.V. Designing the development of oil fields: a training manual. – Ukhta : Publishing House of Ukhta State Technical University, 2021.
14. Technology and principles of the development of multi-horizon fields / D.A. Berezovsky [et al.] // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskiy vestnik). – 2017. – № 1. – P. 33–50.
15. Berezovsky D.A., Kusov G.V., Savenok O.V. Analysis of hydrochloric acid treatment of wells in the Sredne-Makarikhinskoye field // Bulatovkie readings. – 2017. – Vol. 2. – P. 30–38.
16. Berezovsky D.A., Savenok O.V., Kusov G.V. Regularities and changes in the properties of oil and gas in reservoirs and fields // Bulatovkie readings. – 2019. – Vol. 1. – P. 114–119.
17. Griguletsky V.G., Korotkov S.V. Calculation of productivity of vertical and horizontal wells with possible gas and water breakthrough // Collection of scientific papers «Hypotheses. Search. Prognosis». – Krasnodar, 2000. – Issue 9. – P. 302–308.
18. Drozdov A.A., Savenok O.V. Analysis of the results of hydrochloric acid treatments of bottomhole formation zone in the producing wells of the Salukinskoye field // Abstracts of the 75th International Youth Scientific Conference «Oil and Gas – 2021» (26–30 april 2021, Moscow). – M. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2021.
19. Gaisin M.R., Folomeev A.E., Makatrov A.K. Determination of wettability of core of Gamburtsev Val fields by different methods // Territory Neftegaz. – 2011. – № 4. – P. 46–53.

20. Kleimenov I.V. Geological Substantiation of the Prospects for Application of Thermal-Gas Impact on Khasyreyskoye Field of Val Gamburtsev // Science and Technology in the Gas Industry. – 2015. – № 3 (63). – P. 12–16.
21. Lipilina D.S., Savenok O.V. The process of producing well development in the conditions of the Nakhodka field // Bulatov readings. – 2020. – Vol. 2. – P. 295–304.
22. Radzievsky G.A., Savenok O.V. Analysis of technologies of penetration of productive formations and os-installation of wells in Khasyreyskoye oilfield // Materials of the International Scientific-Practical Conference «Scientific Potential of Higher Education – to production and education», dedicated to the 75th anniversary of the Soviet people's victory in the Great Patriotic War of 1941–1945. (December 4–5, 2020, Armavir).
23. Savenok O.V., Kusova L.G. Oil recovery and ways to increase it // Bulletin of Student Science of the Department of Information Systems and Programming, 2018. – № 03 (6). – P. 97–120. – URL : <http://vsni.esrae.ru/pdf/2018/03/31.PDF>
24. Creation of technological model of fractured carbonate reservoirs on the example of Khasyreyskoye Vala Gamburtsev field / E.A. Shatunova [et al.] // Oil Economy. – 2007. – № 11. – P. 46-48.
25. Savenok O.V. Theoretical bases of development of oil and gas fields. Certificate of state registration of the database № 2013620242. Application № 2012621485. Date of receipt December 24, 2012. Registered in the Register of databases on February, 07, 2013.
26. Svalov A.M., Griguletsky V.G. Patent of the Russian Federation № 2579039. Method of development of low-permeability oil and gas reservoirs. Date of filing: 24 April 2015. Date of publication of the patent: March 27, 2016. Patent holders: Svalov A.M., Griguletsky V.G.

УДК 622.279.23

**ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА
НА ПОЛЕВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**



**TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF OIL AND GAS PRODUCTION
ON THE POLEVOYE FIELD**

Шапков Евгений Николаевич

студент
направления подготовки Нефтегазовое дело,
Ухтинский государственный технический университет
evg.shapkov@mail.ru

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук, профессор
кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и
газовых месторождений и подземной гидромеханики,
Ухтинский государственный технический университет
olgasavenok@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены техника и технология добычи нефти и газа на Полевом нефтяном месторождении, расположенном в Нефтекумском районе Ставропольского края. Всего в эксплуатации перебивало 3 добывающих скважины. По состоянию на 01.01.2019 г. одна скважина ликвидирована, две находятся в консервационном фонде. Накопленная добыча нефти составила 335 тыс. тонн, что составляет 71,8 % извлекаемых запасов. Для полной выработки остаточных извлекаемых запасов нефти необходимо интенсифицировать процесс разработки. Таким образом, назрела острая необходимость в объективной оценке современного состояния разработки, возможных путей выработки остаточных извлекаемых запасов нефти и прогнозе добычи нефти, а также других технологических показателей разработки на заключительной стадии эксплуатации месторождения. Проведён анализ режима разработки залежей; анализ, требования и рекомендации к системе сбора и промысловой подготовки продукции скважин; анализ, требования и рекомендации к системе ППД, подготовке закачиваемых рабочих агентов. Дано обоснование геологических объектов и поглощающих скважин для сброса попутно добываемых вод.

Ключевые слова: техника и технология добычи нефти и газа; анализ режима разработки залежей; анализ, требования и рекомендации к системе сбора и промысловой подготовки продукции скважин; анализ, требования и рекомендации к системе ППД, подготовке закачиваемых рабочих агентов; обоснование геологических объектов и поглощающих скважин для сброса попутно добываемых вод.

Shapkov Evgeny Nikolaevich

Student,
Training Direction Oil and Gas Engineering,
Ukhta State Technical University
evg.shapkov@mail.ru

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Development and
Operation of Oil and Gas Fields and
Underground Hydromechanics,
Ukhta State Technical University
olgasavenok@mail.ru

Annotation. The article deals with the technique and technology of oil and gas production on the Polevoye oil field located in the Neftekumsky district of the Stavropol Territory. A total of 3 production wells were in operation. As of 01.01.2019, one well was abandoned, two are in the conservation fund. Cumulative oil production amounted to 335 thousand tons, which is 71.8 % of recoverable reserves. To fully develop the residual recoverable oil reserves, it is necessary to intensify the development process. Thus, there is an urgent need for an objective assessment of the current state of development, possible ways to develop residual recoverable oil reserves and forecast oil production, as well as other technological indicators of development at the final stage of field operation. The analysis of the reservoir development regime was carried out; analysis, requirements and recommendations for the collection system and field preparation of well products; analysis, requirements and recommendations for the reservoir pressure maintenance system, preparation of injected working agents. The substantiation of geological objects and absorption wells for the discharge of produced water is given.

Keywords: technique and technology of oil and gas production; analysis of the reservoir development regime; analysis, requirements and recommendations for the collection system and field preparation of well products; analysis, requirements and recommendations for the reservoir pressure maintenance system, preparation of injected working agents; substantiation of geological objects and absorption wells for the discharge of produced water.

Анализ режимов работы скважин.

Рекомендации по борьбе с осложнениями при эксплуатации скважин

Н а 01.01.2019 г. эксплуатационный фонд Полевого месторождения составляют 3 скважины (№№ 3, 4 и 5). Из них: действующих – две скважины (№№ 3 и 4); в консервации – одна (№ 5).

Скважины №№ 3 и 4 – поисковые; скважина № 5 – разведочная.

Назначение скважин по проекту – нефтяные.

Распределение скважин по эксплуатационным объектам: скважины №№ 3 и 4 – пласт VII J₁; скважина № 5 – пласт VIII₂.

Скважина № 3

Начальный период работы. Ввод в эксплуатацию в 2003 году фонтанным способом. При ожидаемых средних дебитах нефти нижеюрских отложений 22,2 тонн / сут. начальные дебиты низкие:

- жидкости – 0,07 м³ / сут.;
- нефти – 0,04 тонн / сут.;
- обводнённость – 43 %.

В 2009 году переведена на механизированную эксплуатацию штанговым глубинно-насосным способом (ШГН).

Основные осложнения: отложения парафина, отсутствие притока жидкости. В результате – частые длительные периоды бездействия.

Текущее состояние – механизированная эксплуатация с применением УЭЦН. Подробные сведения о скважине, оборудовании и показателях работы приведены в таблицах 1 и 2.

Скважина № 4

Начальный период работы. Ввод в эксплуатацию в 2013 году фонтанным способом после длительной консервации по окончании бурения (2003 год). Начальные дебиты:

- жидкости – 15,4 тонн / сут.;
- нефти – 13,5 тонн / сут.;
- обводнённость – 12 %.

В 2014 году переведена на механизированную эксплуатацию штанговым глубинно-насосным способом. Осложнения – отложения парафина в НКТ. Текущее состояние – механизированная эксплуатация с применением УЭЦН. Подробные сведения приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Сведения о скважинах и об оборудовании скважин по состоянию на 01.01.2019 г.

№ скважины	3	4
Эксплуатационный объект	VII J ₁	VII J ₁
Способ эксплуатации	УЭЦН	УЭЦН
Тип скважины	вертикальная	вертикальная
Диаметр эксплуатационной колонны, мм	121	118,6
Интервал перфорации, м	3446–3450	3485–3489
Диаметр НКТ, мм	73,00	73,00
Скважинное оборудование		
Тип	ЭЦН 5	ЭЦН 5
Глубина спуска, м	2250	2400
Подача (номинальная), м ³ / сут.	125	30
Напор (номинальный), м	1833	1960

Таблица 2 – Эксплуатационные показатели скважин на 01.01.2019 г.

№ скважины	3	4
Дебит		
Нефти, тонн / сут.	23	5
Жидкости, м ³ / сут.	38	11
% воды	25	45
Давление		
Пластовое, атм.	330	310
Забойное, атм.	268	199
Буферное, атм.	21	0,8
Затрубное, атм.	6,4	0,5
Динамический уровень, м	1141	1197
Плотность жидкости глушения, г / см ³	1,01	0,93

Скважина № 5

Начальный период работы. Ввод в эксплуатацию в 2013 году фонтанным способом после длительного освоения (с 2005 года).

Начальные дебиты:

- жидкости – 27,1 м³ / сут.;
- нефти – 9,5 тонн / сут.;
- обводнённость – 65 %.

В сентябре 2014 года переведена на механизированную эксплуатацию ШГН, а в октябре 2014 года на УЭЦН. Текущее состояние – консервация.

Анализ начального периода работы эксплуатационного фонда Полевого месторождения свидетельствует, что планомерная работа с фондом скважин не велась. Этот факт подтверждается:

- чрезмерно длительными периодами освоения (несколько лет);
- продолжительными простоями по поводу запарафинивания НКТ (вплоть до консервации);
- низкими дебитами (вплоть до отсутствия притока);
- логически труднообъяснимым переводом скважины с одного механизированного вида добычи на другой в течение двух месяцев (ШГН на ЭЦН).

Как видно из таблицы 2, дебит нефти скважины № 3 в настоящее время именно такой, какой был обоснован четырёхкратным исследованием пластовых проб перед вводом её в эксплуатацию, что свидетельствует о некачественном освоении после бурения.

Из таблиц 1 и 2 следует, что скважины относятся к категории глубоких, а низкие текущие динамические уровни требуют спуска насосов на большие глубины. При вертикальном типе скважин это не должно создавать особых осложнений в работе ЭЦН. Однако МРП работы скважин низок вследствие рисков, обусловленных, в основном, физико-химическими свойствами продукции (АСПВ, соли, мехпримеси, высокая температура).

Дополнительным фактором риска является несоответствие диаметров эксплуатационных колонн скважин габаритам спускаемых насосных агрегатов. Согласно техническим условиям эксплуатации насосных агрегатов габаритной группы 5, диаметр эксплуатационной колонны должен быть не менее 121,7 мм. Как видно из таблицы 1, эксплуатационные колонны (особенно скважины № 4) не удовлетворяют этому условию.

Сопоставление номинальных производительностей установленных ЭЦН с фактическими дебитами свидетельствует о работе ЭЦН в режимах, далёких от оптимальных, а конкретно: в скважине № 3 на 70 %; в скважине № 4 на 63 %.

Кроме того, судя по высокому буферному давлению в скважине № 3, номинальный напор насоса излишне большой.

С целью согласования работы оборудования с работой пласта рекомендуется выполнить подбор и компоновку оборудования по корпоративной программе SubPump 8.50 («Проектирование и анализ скважинных насосных систем»: справочное руководство по программе).

Проверочный расчёт возможности фонтанирования с учётом геолого-промысловых условий, конструкций подъёмников и физико-химических свойств продукции выполнен по методике РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. Результаты расчёта свидетельствуют о невозможности фонтанирования скважин с проектными дебитами в систему сбора с линейным давлением 1,5 МПа, принятым на месторождении. Для достижения проектных дебитов необходима механизированная эксплуатация скважин.

Требования, учтённые при выборе вида механизированного способа добычи нефти:

- соответствие производительности рекомендуемого скважинного оборудования диапазону ожидаемых дебитов скважин на весь период разработки;
- соответствие технических условий эксплуатации скважинного оборудования продуктивным характеристикам скважин;
- соответствие требований к проектированию и ведению работ при добыче, сборе и подготовке нефти и газа «Правилам безопасности в нефтяной и газовой промышленности».

В соответствии с методологическими положениями рекомендуется применение УЭЦН. Основным аргументом в пользу этого решения является принцип нецелесообразности смены механизированного способа эксплуатации на заключительной стадии разработки. Тем более что смена видов механизированной добычи (с ШГН на УЭЦН) произошла всего несколько лет назад (2014 г.).

Рекомендуемый способ добычи обеспечит прогнозные показатели по принятому варианту в течение всего проектного периода.

В качестве рисков необходимо отметить низкую надёжность УЭЦН, обусловленную крайне негативными физико-химическими свойствами продукции; в большинстве случаев, малыми габаритами эксплуатационных колонн, а также недостаточным опытом обслуживающего персонала.

Характерные причины преждевременных отказов УЭЦН:

- отложения солей и АСПВ на рабочих органах ЭЦН;
- механические и температурные повреждения кабелей;
- недостаточный контроль при выводе скважин на режим и эксплуатации (отсутствие телемеханики).

Стабильная работа электроцентробежных насосов на месторождении возможна при проведении комплекса работ по исследованию скважин, корректному подбору ЭЦН в соответствии с добычными возможностями скважин, использовании износостойкого и термостойкого оборудования, способного работать в интенсивных условиях эксплуатации и выполнения плановых мероприятий по борьбе с осложнениями.

В работе рассмотрены три варианта разработки Полевого месторождения. С точки зрения работы эксплуатационного фонда варианты различаются количеством добычных скважин, дебитами, периодами эксплуатации и организационно-техническими мероприятиями. Во всех вариантах ППД не предусматривается.

К применению рекомендуется вариант II, предусматривающий разработку существующим фондом с зарезками в существующих скважинах двух боковых стволов и бурением одной новой скважины.

Обоснование выбора устьевого и внутрискважинного оборудования

Критерии выбора оборудования:

- производительность: обеспечение максимальных отборов жидкости;
- давление: обеспечение безаварийного состояния при работе и остановках;
- коррозионная стойкость: обеспечение долговечности эксплуатации;
- возможность ингибирования: обеспечение удаления АСПО.

Рекомендуемое устьевое и внутрискважинное оборудование:

- устьевые арматуры типа АФК1Э-65-350К1И производства Юго-Камского механического завода;
- насосно-компрессорные трубы 73 × 5,5-К ГОСТ 633-80 Синарского трубного завода или Первоуральского трубного завода;
- станции управления «ЭЛЕКТОН 05» или «Борец 04» с плавным запуском электродвигателя;
- установки электроцентробежных насосов типа УЭЦНМК5 (для скважин с внутренними диаметрами обсадных колонн не менее 121,7 мм), производительностью 30–80 м³ / сут. и напором от 800 до 2000 м в коррозионно-стойком исполнении, выпускаемые ОАО «Алнас», ЗАО «Новомет-Пермь» или ОАО «Борец»;
- термостойкие: электродвигатели, кабельные линии, гидрозащиты, синтетические масла.

Для подбора и компоновки оборудования рекомендуется программа SubPump 8.50.

Интенсификация добычи потребует увеличения глубин спуска ЭЦН. В связи с этим необходимо учитывать риск воздействия на внутрискважинное оборудование и кабельные линии высоких температур. Ещё одним риском является снижение текущих коэффициентов продуктивности скважин в процессе эксплуатации вследствие ухудшения фильтрационных характеристик призабойных зон. Поэтому для поддержания расчётных показателей разработки необходимо проведение ГТМ, направленных на сохранение продуктивности скважин.

Мероприятия по предупреждению и борьбе с осложнениями при эксплуатации скважин

За 2018 год на скважинах, оборудованных УЭЦН, было произведено 11 ремонтов. Основными причинами остановок является снижение изоляции системы «ПЭД – кабель» (5 отказов), отсутствие подачи (4 отказа) и клин насоса. Средняя наработка ЭЦН за 2018 год составила 71 сут.

Неблагоприятные геолого-промысловые факторы предопределяют осложнения, связанные с наличием мехпримесей, солей, АСПО и свободного газа.

Механические примеси – песок, соли, продукты разрушения коллектора, продукты коррозии, проппант (в конце 2017 и в 2018 году проведено 2 операции ГРП), а также загрязнения с насосно-компрессорных труб – приводят к заклиниванию втулок в направляющих аппаратах и к засорению проточной части рабочего колеса и аппарата. Засорение механическими примесями и солями уменьшает подачу, в результате чего охлаждение ПЭД становится недостаточным и возникает потеря изоляции.

Способы борьбы с механическими примесями:

- применение жидкостей глушения скважин, очищенных от механических примесей (очистку жидкостей глушения рекомендуется производить в процессе их приготовления);

- замена растворов глушения скважин после ремонтных работ нефтью путём промывки с вымыванием из скважин дисперсных загрязнителей;

- очистка НКТ от АСПО, продуктов коррозии, песка, солей механическим или абразивным методами, дефектоскопия и отбраковка НКТ поднятых в процессе ремонта скважин (рекомендуется организация на трубной базе участка по очистке НКТ, оборудованного специальными стендами очистки, шаблонирования и дефектоскопии; эти мероприятия не только исключают возможность комплектации подъёмных колонн дефектными НКТ, но и уменьшают скорость солеотложения и АСПО);

- применение индивидуальных механических фильтров ЖНШ с центратором (производитель ОАО «Новомет», г. Пермь).

Отложения солей. Источник солей, выпадающих в осадок при добыче нефти – попутные воды. Пластовые воды месторождения являются концентрированными солевыми растворами. При изменениях термобарических условий соли осаждаются из воды и отлагаются в пласте, на подземном оборудовании, в трубопроводах.

При снижении подачи, интенсивном разгазировании в скважине до приёма насоса и разогреве жидкости в насосном агрегате нарушается равновесное состояние солевого раствора, и создаются условия для выпадения солей.

Наиболее эффективный метод борьбы с солеотложением – применение химических реагентов (ингибиторов солеотложения), которые дозируются в поток или заправляются в призабойную зону скважины. В зависимости от типа солевых отложений используется широкий спектр ингибиторов отечественного производства СНПХ-5312, СНПХ-5313, ПАФ-13А и ингибиторов зарубежных фирм – Servo-367, SP-203, Деквест 2042, Visko-953R, корексит 7642, Нарлекс Д54.

Требования, предъявляемые к ингибиторам солеотложения:

- совместимость с минерализованной пластовой водой;

- низкая температура застывания, низкая вязкость, низкая коррозионная активность;

- высокие адсорбционно-десорбционные характеристики, температурная устойчивость, минимальная токсичность;

- индифферентность к химическим реагентам, применяемым в нефтедобыче.

Рекомендуемая технология удаления образовавшихся осадков из рабочих органов ЭЦН – без подъёма скважинного оборудования.

Технология осуществляется закачкой в остановленную скважину композиции, состоящей из 3–5 м³ 7,5 %-ного раствора соляной кислоты и 0,5 м³ ингибитора коррозии, с доведением её в насос и последующей выдержкой в течение 2 часов для растворения осадков. Затем осуществляется запуск насоса и переключение устьевых задвижек для направления жидкости обратно в скважину. Перекачка жидкости по замкнутому контуру выполняется из расчёта достижения 1,5–2-кратного объёма скважины. Далее в

затрубное пространство закачивается смесь объёмом 1 м^3 25 %-ного раствора ингибитора солеотложений, ингибитора коррозии и бактерицида по $0,5 \text{ м}^3$ каждого.

Эффективность технологии:

- восстановление производительности до 90 %;
- увеличение межочистного периода до 3 месяцев.

Оборудование, необходимое при использовании ингибиторов в жидкой товарной форме: промывочный или цементировочный агрегат; дозировочные устройства типа НД, БР-2,5; УДЭ, УДС; автоцистерны.

Недостатком ингибиторов в жидкой товарной форме является быстрый вынос больших объёмов реагента в первоначальный период после пуска скважины в работу.

Перспективным является разработанный и прошедший опытно-промышленные испытания способ защиты от солеотложения и коррозии подземного оборудования, заключающийся в подаче в затрубное пространство скважины ингибирующей композиции в виде мелкодисперсной высокоустойчивой пены. Основными компонентами являются дегазированная нефть, ингибиторы коррозии и солеотложения.

Вспененная композиция длительное время сохраняет свою структуру и защищает подземное оборудование. При медленном разрушении пены происходит длительное и равномерное поступление реагентов в нефть, находящуюся в затрубном пространстве, из которого они направляются на приём насоса. Пену получают пеногенератором с использованием технического азота и закачивают в скважину шестерёнчатый насосом. Период защиты оборудования увеличивается в 2 раза по сравнению с обычными обработками ингибиторами и составляет до 90 сут. При этом расход химических реагентов на одну обработку снижается в 2 раза.

Создать постоянную концентрацию реагента в добываемой жидкости на всё расчётное время предупреждения отложения солей можно с помощью ингибитора в твёрдой товарной форме. Оптимальная дозировка ингибитора составляет 1-2 г/т попутно добываемой воды. Реагент представляет собой прессованную массу в виде цилиндров, размещённых в контейнере.

Для применения ингибитора в твёрдой товарной форме используется контейнер, изготовленный из НКТ.

Отложения АСПВ. Содержание в продукции скважин асфальто-смолопарафиновых веществ предопределяет возможность образования отложений АСПВ во внутрискважинном и наземном оборудовании. АСПО образуются при охлаждении газонефтяного потока до температуры ниже температуры насыщения нефти АСПВ вследствие теплообмена через стенки подъёмной и эксплуатационной колонн.

Для борьбы с АСПО рекомендуются химические методы и электропрогрев.

Рекомендуется апробация скважинных магнитоактиваторов (МАС). Воздействие постоянного магнитного поля на молекулы АСПВ и ионы солей, обладающие собственным магнитным моментом, создает условия объёмной кристаллизации твёрдой фазы с выносом мелкодисперсной твёрдой фазы из скважины.

Практика применения МАС на месторождения Тимано-Печорского региона и Татарии, устанавливаемых под приёмом УЭЦН, свидетельствует об увеличении межочистного периода скважин в разы (в зависимости от состава АСПВ и мощности магнитного поля).

Вредное влияние свободного газа. Причиной, предопределяющей это осложнение, является высокий газовый фактор продукции. Расчёты, выполненные с использованием специализированного программного обеспечения SubPump 8.1 (IHS Energy Group «Schlumberger»), показывают, что при интенсивной эксплуатации скважин и снижении забойного давления ниже давления насыщения объём свободного газа на приеме УЭЦН будет превышать значение, установленное техническим условием эксплуатации. Известно, что в этом случае возникает нестабильность работы насоса, приводящая к снижению коэффициента подачи или к срыву подачи. Для устранения вредного влияния свободного газа рекомендуются газосепараторы типа МНГБК-ГСЛ5В «Борец», допускающие работу насоса при содержании свободного газа на приеме до 60 %.

В таблице 3 приведены организационно-технические мероприятия по предотвращению осложнений и их периодичность.

Таблица 3 – Мероприятия по увеличению межремонтного периода работы УЭЦН

Наименование мероприятий	Сроки
Обучение всех работников правилам ведения работ по Технологическому регламенту работ с УЭЦН	ежегодный экзамен
Комиссионные разборы отказов глубинно-насосного оборудования на участках сервисных ремонтных предприятий с составлением актов	постоянно
Паспортизация подвесок для спуска УЭЦН	постоянно
Контроль качества растворов глушения	постоянно
Обеспечение приема ГНО от сервисных ремонтных предприятий с паспортами качества	постоянно
Применение износо-коррозионностойкого оборудования, высокотемпературного кабеля	постоянно
Вывод скважин на режим с замерными агрегатами типа «АСМА», контроль приборами «МИКОН», СУДОС»	ежедневно
Химические промывки растворами кислот рабочих органов насосов	1 раз в 2–3 месяца
Промывка автоцистерн для транспортировки растворов глушения	1 раз в месяц
Глушение скважин с применением омагниченного раствора глушения (МАС)	согласно графика ПРС
Анализ проб на КВЧ по часторемонтируемому фонду	еженедельно
Использование фильтров ЖНШ в осложнённых скважинах	постоянно
Очистка внутренней поверхности НКТ	постоянно
Очистка забоев скважин гидрожелонкой	по результатам ГДИ
Обработка скважин ингибиторами солеотложения	постоянно

Анализ, требования и рекомендации к системе сбора и промышленной подготовки продукции скважин

Среднесуточная добыча по Полевому месторождению по состоянию на 01.01.2019 г. составляет:

- нефти – 28 тонн / сут.;
- жидкости – 49 м³ / сут.;
- попутного газа – 3,5 тыс. м³ / сут.

Продукция от добывающих скважин под устьевым давлением 1,8 МПа по выкидным линиям поступает на гребёнку групповой установки, затем нефтегазовая смесь поступает по нефтепроводу на ЦПС Зимняя Ставка, где осуществляется первичная подготовка нефти. Частично обезвоженная и дегазированная нефть по межпромысловому нефтепроводу поступает на ЦППН (г. Нефтекумск), где осуществляется окончательная подготовка нефти до товарных кондиций в соответствии с требованиями ГОСТ.

ЦПС Зимняя Ставка является объектом предварительного обезвоживания нефти и предназначен для:

- обеспечения непрерывного приема продукции скважин месторождений;
- отбора газа первой степени сепарации, выделившегося в нефтегазосепараторах, очистки его от нефти и капельной жидкости в газосепараторах;
- обезвоживания поступающей нефти до остаточного содержания в ней воды 10 % и откачки ее в резервуарный парк для дальнейшей подготовки;
- очистки пластовой воды от нефти, мехпримесей и подачи её на КНС для закачки в продуктивные горизонты.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема сбора, транспорта и подготовки продукции скважин.

Описание технологического процесса:

На ЦПС Зимняя Ставка продукция скважин Полевого месторождения совместно с продукцией месторождений Правобережное, Пушкарское, Восточно-Безводненское, Байджановское, Поварковское, Надеждинское, Зимняя Ставка, Русский Хутор Северный, Камышовое (вывоз автоцистернами) и с обводнённостью до 86 % подогревается огневыми подогревателями до 60 °С и с давлением 0,35 МПа поступает на узел сепарации

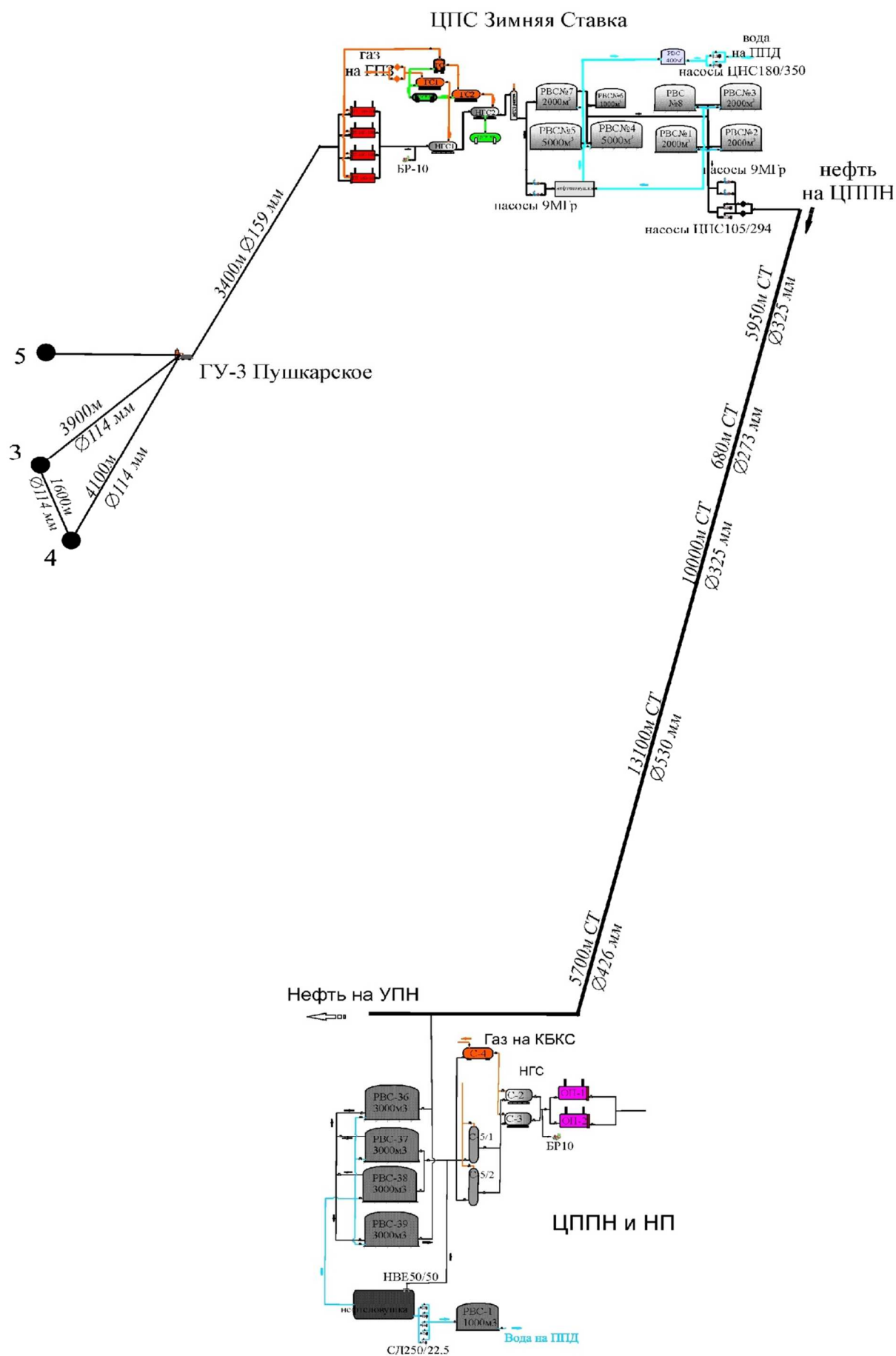


Рисунок 1 – Принципиальная схема сбора, транспорта и подготовки продукции скважин Полевого месторождения

в нефтегазосепараторы. Перед узлом сепарации в жидкость подаётся дезмульгатор СНПХ-4204 дозаторной установкой типа БР-10 из расчёта 200 грамм на тонну обезвоженной нефти. Отсепарированный в нефтегазосепараторах попутный газ поступает в газосепараторы, где происходит улавливание выносимой с газом капельной жидкости (рабочее давление 0,25 МПа). Очищенный от капельной жидкости газ направляется на Нефтекумский ЦППН и ПГ.

Уловленная в газосепараторах нефтесодержащая жидкость сбрасывается в технологическую линию на приём в нефтегазосепаратор последней ступени.

Далее жидкость поступает на концевой нефтегазосепаратор (рабочее давление 0,12 МПа) и после узла сепарации поступает в технологический резервуар № 7 (2000 м³) для предварительного обезвоживания. Поступая через лучевой распределитель, эмульсия проходит через слой воды с температурой + 50 °С и нефтяную подушку толщиной до 150 см. Через слив сырая нефть самотёком поступает в сырьевые резервуары № 2 (2000 м³) и № 3 (2000 м³), из которых после предварительного отстоя периодически насосами откачивается через узлы учёта с остаточной обводнённостью до 10 % в сырьевые резервуары резервуарного парка ЦППН и ПГ (г. Нефтекумск) для дальнейшей подготовки.

Отделившаяся пластовая вода в технологических и сырьевых резервуарах поступает в буферный резервуар для пластовой воды, откуда после отстоя откачивается в систему ППД.

Уровень утилизации газа 92 %, увеличить его возможно при реконструкции 3 ступени сепарации и использовании дожимных компрессоров. Рекомендуемые винтовые компрессоры «ТАКАТ» Казанского компрессорного завода.

Отделившаяся пластовая вода в технологических и сырьевых резервуарах поступает в буферный резервуар для пластовой воды, откуда после отстоя откачивается в систему ППД.

Уровень утилизации газа 92 %, увеличить его возможно при реконструкции 3 ступени сепарации и использовании дожимных компрессоров. Рекомендуемые винтовые компрессоры «ТАКАТ» Казанского компрессорного завода.

Мощность ЦПС достигает 1,5 млн м³ в год, что существенно превышает ожидаемые объёмы добываемой продукции. Однако вследствие того, что основные сооружения построены более 50 лет назад, требуется подробное обследование, диагностика, последующая частичная замена изношенного и устаревшего оборудования, а также проведение профилактических ремонтов.

Известно, что трубы обычного нефтяного сортамента по ГОСТ 8731-78 из сталей 20; 17Г1С; 09Г2С и аналогов не имеют достаточной стойкости к условиям промышленной эксплуатации, скорость локальной коррозии для условий Полевого месторождения может достигать 0,5 мм / год. При этом в результате фазовой неоднородности и распределения примесей обычным типом коррозии таких труб является язвенный, с глубиной язв до 1,4 от скорости общей коррозии (0,7 мм / год). В итоге уже после 5 лет эксплуатации аварийность трубопроводов резко растёт.

Для защиты выкидных линий скважин до ГУ рекомендуется применить металлопластовые трубы МПТ по ТУ 2290-001-12333095-01 из армированной сталью пластмассы производства ООО «Мелос» (Екатеринбург) или гибкие полимерно-металлические трубы ГПМТ по РД 39-077-91, рекомендованные ВНИИСТ и ИПТЭР для работы в диапазоне температур от – 45 до + 80 °С и рабочем давлении до 4 МПа.

Но всё же наиболее технологичными при эксплуатации являются трубопроводы из углеродистой стали, их эксплуатация возможна только при проведении дополнительных мероприятий по очистке и ингибированию. По опыту эксплуатации трубопроводов на Самотлорском месторождении повышенной коррозионной стойкостью обладают трубы, изготовленные из низкоуглеродистой стали с добавлением хрома (06Х1, 08ХПЧА).

Обоснование геологических объектов и поглощающих скважин для сброса попутно добываемых вод

В соответствии с существующей системой сбора подготовка продукции Полевого месторождения производится на ЦПС Зимняя Ставка, где и осуществляется утилизация воды, которая используется для заводнения горизонтов месторождений Зимняя Ставка и Пушкарское.

Литература

1. Техничко-экономические показатели разработки нефтяных залежей Полевого месторождения. – Ставрополь : ООО «РН – Ставропольнефтегаз», 2019. – 126 с.
2. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для студентов вузов / А.И. Булатов [и др.] . – Краснодар : Просвещение – Юг, 2011. – 603 с.
3. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах: учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
4. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
5. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
6. Пластоиспытательное оборудование для гидродинамических исследований пластов нефтяных и газовых скважин / П.С. Варламов [и др.]. – Уфа : Уфимский полиграфкомбинат, 2004. – 620 с.
7. Ладенко А.А., Савенок О.В. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений. – М. : Инфра-Инженерия, 2020. – 244 с.
8. Ладенко А.А., Савенок О.В. Геофизические исследования скважин на нефтегазовых месторождениях. – М. : Инфра-Инженерия, 2021. – 260 с.
9. Мищенко И.Т., Бравичева Т.Б., Ермолаев А.И. Выбор способа эксплуатации скважин нефтяных месторождений. – М. : Нефть и газ (ФГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина), 2005. – 448 с.
10. Геофизические исследования и работы в скважинах: учебное пособие / В.В. Попов [и др.] . – Новочеркасск : Издательство «Лик», 2017. – 326 с.
11. Геоинформатика нефтегазовых скважин / В.В. Попов [и др.] . – Новочеркасск : Издательство «Лик», 2018. – 292 с.
12. Савенок О.В. Оптимизация функционирования эксплуатационной техники для повышения эффективности нефтепромысловых систем с осложнёнными условиями добычи. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013. – 336 с.
13. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
14. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГУ», 2019. – 275 с.
15. Савенок О.В. Проектирование разработки нефтяных месторождений: учебное пособие. – Ухта : Издательство Ухтинского государственного технического университета, 2021.
16. Бурлаков И.А., Гуллий Н.В., Налбандьян Р.Г. Физико-химические свойства нефтей и попутных газов юрских отложений Восточного Ставрополя // Нефтепромысловое дело. – 1981. – № 6. – С. 16–18.
17. Бурлаков И.А., Налбандьян Р.Г., Гуллий Н.В. Физико-химические свойства нефти пермтриасовых отложений Восточного Ставрополя // Нефтепромысловое дело. – 1982. – № 8. – С. 19–21.
18. Григулецкий В.Г. Обводнение месторождений – коренной вопрос современности российской нефтегазовой отрасли // Технологии топливно-энергетического комплекса. – 2007. – № 2. – С. 35–40.
19. Григулецкий В.Г. Обводнение месторождений - коренной вопрос современности российского нефтегазового дела // Нефть, газ и бизнес. – 2007. – № 5. – С. 19–28.
20. Гусейнова Н.И. Современные представления об объекте, задачах и методах диагностирования пласта при воздействии на него с целью повышения нефтеотдачи // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 151–155.
21. Савенок О.В., Кусова Л.Г. Нефтеотдача пласта и пути её увеличения // Вестник студенческой науки кафедры информационных систем и программирования. – 2018. – № 03 (6). – С. 97–120
22. Свалов А.М., Григулецкий В.Г. Механизмы обводнения газовых залежей // Газовая промышленность. – 2008. – № 6 (618). – С. 26–30.
23. Хайитов О.Г. Обоснование конечной нефтеотдачи пластов методом многофакторного регрессионного анализа // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 1. – С. 189–192.
24. Шапков Е.Н., Шиян С.И., Чуприна Н.Э. Анализ текущего состояния и перспективы доработки Полевого нефтяного месторождения // Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 75-летию Победы в Великой Отечественной войне «Наука. Новое поколение. Успех» (28 марта 2020 года, г. Краснодар). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – С. 222–235.
25. Шапков Е.Н., Савенок О.В. Прогнозирование показателей разработки Полевого нефтяного месторождения на основе анализа методов обобщённых характеристик вытеснения // Наука и техника в газовой промышленности. – 2021. – № 1 (85). – С. 22–48.

References

1. Technical and economic indicators of the development of oil deposits of the Pole field. – Stavropol : RN - Stavropolneftegaz LLC, 2019. – 126 p.
2. Ecology in the construction of oil and gas wells: a textbook for students of universities / A.I. Bulatov [et al.]. – Krasnodar : Prosveshchenie – Yug, 2011. – 603 p.
3. Bulatov A.I., Savenok O.V. The practical course of the discipline «Oil and gas well completion» in 4 volumes: a training manual. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – Vol. 1–4.
4. Bulatov A.I., Savenok O.V. Capital underground repair of oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – Vol. 1–4.
5. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremiychuk R.S. Scientific bases and practice of oil and gas wells development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
6. Plast-testing equipment for hydrodynamic research of oil and gas wells / P.S. Varlamov [et al.]. – Ufa : Ufa Printing Works, 2004. – 620 p.
7. Ladenko A.A., Savenok O.V. Theoretical bases of oil and gas fields development. – M. : Infra-engineering, 2020. – 244 p.
8. Ladenko A.A., Savenok O.V. Geophysical studies of wells in oil and gas fields. – M. : Infra-engineering, 2021. – 260 p.
9. Mishchenko I.T., Bravicheva T.B., Ermolaev A.I. The choice of method of operation of wells of oil fields. – M. : Oil and Gas (FSUE Publishing House «Oil and Gas» RSU of Oil and Gas Gubkin), 2005. – 448 p.
10. Geophysical studies and operations in wells: a training manual / V.V. Popov [et al.]. – Novochechensk : Publishing house «Lik», 2017. – 326 p.
11. Geoinformatics of oil and gas wells / V.V. Popov [et al.]. - Novochechensk : Publishing house «Lik», 2018. – 292 p.
12. Savenok O.V. Optimization of operational equipment functioning to improve the efficiency of oil-field systems with complicated production conditions. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013. – 336 p.
13. Savenok O.V., Kachmar Y.D., Yaremichuk R.S. Oil and gas engineering in the development of wells. – M. : Infra-engineering, 2019. – 548 p.
14. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of oil and gas fields. – Krasnodar : Izd. FGBOU VO «KubGTU», 2019. – 275 p.
15. Savenok O.V. Designing the development of oil fields: a training manual. – Ukhta : Ukhta State Technical University Publishing House, 2021.
16. Burlakov I.A., Gulliy N.V., Nalbandyan R.G. Physical and chemical properties of oils and associated gases of Jurassic sediments of Eastern Stavropol // Neftepromyshloe Delo. - 1981. - № 6. - C. 16-18.
17. Burlakov I.A., Nalbandyan R.G., Gulliy N.V. Physical and chemical properties of oil of Permo-Triassic deposits of East Stavropol // Neftepromyshloe Delo. – 1982. – № 8. – P. 19–21.
18. Griguletsky V.G. Deposit water encroachment - fundamental issue of the present Russian oil and gas industry // Technologies of the fuel and energy complex. – 2007. – № 2. – P. 35–40.
19. Griguletsky V.G. Field watering – a fundamental issue of modernity of Russian oil and gas business // Oil, gas and business. – 2007. – № 5. – P. 19–28.
20. Guseinova N.I. Modern views on the object, tasks and methods of reservoir diagnostics in order to increase oil recovery // Bulatov readings. – 2020. – Vol. 2. – P. 151–155.
21. Savenok O.V., Kusova L.G. Oil recovery and ways to increase it // Bulletin of student science of information systems and programming department, 2018. – № 03 (6). – P. 97–120
22. Svalov A.M., Griguletsky V.G. Mechanisms of watering of gas deposits // Gas Industry. – 2008. – № 6 (618). – P. 26–30.
23. Khayitov O.G. Substantiation of Final Oil Recovery Rate by Multi-Factor Reg-Reason Analysis // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 1. – P. 189–192.
24. Shapkov E.N., Shiyani S.I., Chuprina N.E. Analysis of the current state and prospects of pre-development of the Field oil field // Materials of the International Scientific-Practical Conference dedicated to the 75th anniversary of Victory in the Great Patriotic War «Science. New Generation. Success» (March 28, 2020, Krasnodar). – Krasnodar : Publishing House – South, 2020. – P. 222–235.
25. Shapkov E.N., Savenok O.V. Forecasting of Development Indicators of the Field Oil Field Based on the Analysis of Generalized Displacement Characteristics Methods // Science and Technology in the Gas Industry. – 2021. – № 1 (85). – P. 22–48.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ



PEDAGOGICAL SCIENCES

**ИНФОРМАЦИОННАЯ КОМПЕТЕНТНОСТЬ
КАК КОМПОНЕНТА ЛИЧНОСТИ БИБЛИОТЕЧНОГО СПЕЦИАЛИСТА**
◆◆◆◆
**INFORMATION COMPETENCE AS A COMPONENT OF THE LIBRARY
SPECIALIST'S PERSONALITY**

Багдасарян Р.Х.

кандидат технических наук, доцент
Краснодарского государственного института культуры
rafael_555@mail.ru

Мединцева К.В.

Бакалавр информационно-библиотечного факультета,
Краснодарского государственного института культуры
medintzeva@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается информационная компетентность специалистов в условиях стремительного устаревания знаний. Актуальность проблемы обусловлена тем, что на современном этапе библиотекам для поддержания своей востребованности как информационного центра, недостаточно выполнять лишь аккумулирующую и сервисную и учебную функции, но необходимо развиваться вместе с обществом и участвовать в его жизни. Это предъявляет дополнительные требования к подготовке библиотечных кадров. В статье освящены способы достижения соответствующей подготовки.

Ключевые слова: библиотека, информационная компетентность, специалисты, знания, повышение квалификации.

Bagdasaryan R.K.

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Krasnodar State Institute of Culture
rafael_555@mail.ru

Medintseva K.V.

Bachelor of the Information and
Library Faculty,
Krasnodar State Institute of Culture
medintzeva@yandex.ru

Annotation. The article deals with the information competence of specialists in the conditions of rapid obsolescence of knowledge. The relevance of the problem is due to the fact that at the present stage, in order to maintain its relevance as an information center, it is not enough for libraries to perform only accumulating and service and educational functions, but it is necessary to develop together with society and participate in its life. This imposes additional requirements on the training of library staff. The article highlights the ways to achieve appropriate training.

Keywords: library, information competence, specialists, knowledge, professional development.

В связи с информационными революциями, произошедшими на стыке XX–XXI веков, произошли значимые изменения в информационной среде. Повсеместное распространение сети Интернет и появившиеся технические возможности сделали создание и передачу знаний мгновенными и доступными, однако, сократилось время, когда усвоенные понятия считаются актуальными.

Для того, чтобы оставаться востребованным в новой изменчивой среде, современный специалист должен обладать специальными навыками и качествами, которые позволят ему самостоятельно и своевременно обновлять усвоенную информацию, саморазвиваться в своей профессиональной сфере, углублять свои познания.

На современном этапе развития все специалисты библиотечного дела, занимающие как руководящие должности, так и работающие в отделах обслуживания, проходят курсы по повышению квалификации. Зачастую это проходит в форме семинаров, вебинаров и специальных тренингов, позволяющих проходить обучение без отрыва от основной работы. Тем не менее, некоторые специалисты не усваивают получаемые знания.

В профессиональной научной периодике выделяют несколько причин, по которым может снижаться качество восприятия новой информации специалистами-практиками. Среди них:

- низкая информационная компетентность специалиста;
- недостаточность разработанности методической базы;
- несоответствие материала курсов потребностям специалистов.

Анализ публикаций специальной литературы показал, что существует несколько трактовок информационной компетентности. Некоторые исследователи определяют этот термин как умение использования компьютерных технологий и мультимедийных средств, а иные определяют его как процесс восприятия информации личностью, способность самостоятельно выполнять операции с ней, такие как поиск, анализ, систематизация с использованием компьютерной техники [2].

Для повышения информационной компетентности специалистов необходимо:

- обучить библиотечных работников базовым навыкам использования современных технических средств и основам работы в компьютерных программах, а также использованию материалов сети Интернет и работы с мультимедийными ресурсами;
- развивать их коммуникативные навыки и интеллектуальные способности.

Современные программы по повышению квалификации библиотечных кадров, например такие, как «Профессионал-2021» ориентированы на практическую библиотечную деятельность, оставляя без внимания такие важные компоненты личности как знание основ информационных технологий и информатики, понимание изменчивости информационного пространства и устаревания знаний в библиотечной отрасли, знание проблем и перспективных направлений развития библиотечной отрасли, ориентированность в правовой среде относящейся к информационным технологиям, умение оценивать потребности в изменении своей повседневной деятельности [1].

Поскольку библиотека должна развиваться вместе с обществом, чтобы сохранять свою востребованность, необходимо поддерживать знания библиотечных практиков относительно ценностей информационного общества в актуальном состоянии.

Деятельность библиотеки и ее представителей в сети Интернет также должна подчиняться общепринятым нормам и отвечать ожиданиям современного интернет-пользователя. Как показывает анализ современных библиотечных сайтов и страниц, этому направлению уделяется недостаточно внимания, хотя в современном обществе это направление развития наиболее перспективно. Библиотечный сайт и страницы в социальных сетях должны регулярно обновляться, на комментарии и сообщения необходимо своевременно отвечать. Мультимедийные и иные библиотечные ресурсы должны иметь практическую значимость для пользователя [3].

Подводя итоги вышеописанному, информационная компетентность при ее понимании как умение работать с современными техническими средствами и информацией на электронных носителях – актуальное направление развития библиотечных специалистов в рамках программ по повышению квалификации библиотечных кадров. При разработке подобных программ необходимо адекватно оценивать профессиональные возможности и потребности библиотечных специалистов, и адаптировать форму преподавания согласно их уровню. В рамках анализа были выявлены наиболее слабые стороны программ по повышению квалификации библиотечных специалистов - они не учитывают уровень компьютерной грамотности и информационной культуры специалистов-практиков, не рассчитаны на их аудиторию.

Литература

1. Алтухова Г.А. Профессиональные компетенции библиотекаря в эпоху глобализации и информатизации общества // Вестник московского государственного университета культуры и искусств. – 2017. – № 3 (77). – С. 164–171.
2. Кузичкина Г.А. Потенциал непрерывного библиотечно-информационного образования в контексте рекомендаций модельного стандарта деятельности общедоступной библиотеки // Научные и технические библиотеки. – 2017. – № 9. – С. 83–93.
3. Маркова В.Н., Сагитова Л.К., Шадрина В.Н. Коммуникативная компетентность как условие формирования современного профессионального имиджа библиотечного специалиста. – Текст : непосредственный // Высшее образование сегодня. – 2018. – № 11. – С. 31–34.

References

1. Altukhova G.A. Professional competencies of a librarian in the era of globalization and informatization of society // Bulletin of the Moscow State University of Culture and Arts. – 2017. – № 3 (77). – P. 164–171.
2. Kuzichkina G.A. The potential of continuous library-information education in the context of the recommendations of the model standard of the public library // Scientific and technical libraries. – 2017. – № 9. – P. 83–93.
3. Markova V.N., Sagitova L.K., Shadrina V.N. Communicative competence as a condition for the formation of modern professional image of a library specialist. – Text : direct // Higher education today. – 2018. – № 11. – P. 31–34.

Порядок публикации статьи

- Статья, предоставляемая для публикации в журнале, должна быть ранее неопубликованной, актуальной, обладать новизной, **тщательно вычитана**.
- Статья должна соответствовать **Правилам оформления**.
- Содержание статьи должно соответствовать тематикам рубрик журнала.
- В стоимость публикации входит один печатный экземпляр журнала, публикация в сетевой версии журнала (на сайте <http://id-yug.com>), почтовая доставка, сопровождение в системе РИНЦ.

Редакционный совет в течение 3–5 дней рассматривает предоставленную статью. В случае положительного решения о публикации редакция направляет Вам договор (оферта), счет (квитанцию) на оплату.

В случае необходимости редакция может затребовать предоставление заключения внутрифирменных служб экспортного контроля по материалам статьи.

Предоставляемая статья должна содержать следующие компоненты:

- Код УДК;
- Сведения об авторах (*рус./англ.*):
 - а) фамилия, имя, отчество (полностью);
 - б) ученая степень;
 - в) ученое звание;
 - г) должность, место работы (без сокращений);
 - д) контактный телефон;
 - е) контактный E-mail автора.
- Название статьи (*рус./англ.*);
- Аннотация (*рус./англ.*);
- Ключевые слова (*рус./англ.*);
- Основной текст статьи на русском языке (рекомендуется не менее 3-х страниц);
- Список литературы (*рус./англ.*).

Текст статьи должен быть набран в текстовом редакторе Word 1997–2007, шрифт Times New Roman, кегль – 14, межстрочный интервал – 1, абзацный отступ 1,25 см., все поля – 2,5 см, страницы не нумеровать, для выделений использовать *курсив*, **жирный шрифт**, **а также их сочетание**.

Таблицы набираются в текстовом редакторе Word 1997–2007, шрифт Times New Roman, кегль – 12. Таблицы нумеруются и подписываются. В тексте статьи указываются ссылки на таблицы.

Иллюстрации (рисунки, графики, диаграммы, фотографии) должны быть встроены в текст в виде картинок, в оттенках серого, разрешением 300 dpi. Иллюстрации нумеруются (нумерация сквозная арабскими цифрами) и подписываются. В тексте статьи указываются ссылки на иллюстрации.

Формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Все формулы должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами. Номера формул оформляются в круглых скобках.

Сноски оформляются постранично.

Ссылки на литературу оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 и ГОСТ 7.82-2001. Ссылки оформляются в порядке упоминания или цитирования в тексте в квадратных скобках арабскими цифрами.

Более подробную информацию можно получить на сайте www.id-yug.com

График выхода журнала и приема статей на 2021 г.

№ журнала	Прием статей до:	Выход журнала:
1	31 марта	14 апреля
2	30 июня	14 июля
3	29 сентября	13 октября
4	22 декабря	29 декабря



Общероссийская общественная организация
«Российская инженерная академия»

All-russian public organization
«Russian Engineering Academy»

НАУЧНЫЙ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ЖУРНАЛ

НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ

(политехнический вестник)

2021, № 1

SCIENTIFIC MULTIDISCIPLINARY MAGAZINE

SCIENCE. ENGINEERING. TECHNOLOGY

(polytechnical bulletin)

2021, № 1

www.id-yug.com

Редактор – А.С. Семенов

Editor – A.S. Semenov

Оригинал-макет – М.Б. Жаренко

Dummy – M.B. Zharenko

Дизайн обложки – М.Б. Жаренко

Design of a cover – M.B. Zharenko

Сдано в набор 10.04.2021.
Подписано в печать 12.04.2021.
Формат 60 x 84¹/₈.
Бумага офсетная.
Печать riso.
Уч.-изд. л. 16,8.
Тираж 500 экз.

It is handed over in a set 10.04.2021.
It is sent for the press 12.04.2021.
Format 60 x 84¹/₈.
Offset paper.
Riso press.
Ed.-prod. l. 16,8.
Circulation is 500 pieces.

Отпечатано в ООО «Издательский Дом – Юг»
Россия, 350072, г. Краснодар,
ул. Зиповская 9, литер «Г», оф. 41/3

It is printed in JSC «Izdatelsky Dom – Yug»
Russia, 350072, Krasnodar,
Zipovskaya St., 9, letters «G», office 41/3

Заказ № 2256

Order № 2256

Тел.: +7 (918) 41-50-571
e-mail: id.yug2016@gmail.com
Сайт: www.id-yug.com

Ph.: +7 (918) 41-50-571
e-mail: id.yug2016@gmail.com
Site: www.id-yug.com