

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)

**ПЕРСПЕКТИВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И МИРЕ**

***PROSPECTS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT
OF OIL AND GAS INDUSTRY AND ELECTRICITY
IN THE RUSSIAN FEDERATION AND THE WORLD***

**Материалы Международной научно-практической конференции
(22-24 мая 2019 г.)**

***Proceedings of the International Scientific and Practical Conference
(May 22-24, 2019)***

Владикавказ
2019

УДК 622.32(470)+621.31(470)
ББК 65.9(2)304.13+31
М43

М43 Перспективы устойчивого развития нефтегазовой отрасли и электроэнергетики в Российской Федерации и мире : Материалы Международной научно-практической конференции (22-24 мая 2019 г.) / Под общей ред. И.И. Босикова, Р.В. Ключева; М-во образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)». – Владикавказ : Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2019. – 308 с.

ISBN 978-5-9500071-4-9

В настоящий сборник входят материалы и тезисы докладов, представленные на Международную научно-практическую конференцию «Перспективы устойчивого развития нефтегазовой отрасли и электроэнергетики в Российской Федерации и мире».

Тезисы докладов отражают широкий диапазон научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Российской Федерации по проблемам и перспективам устойчивого развития нефтегазовой отрасли и электроэнергетики в Российской Федерации и мире.

УДК 622.32(470)+621.31(470)
ББК 65.9(2)304.13+31

*Материалы представлены в авторской редакции.
Всю ответственность за содержание и качество
представленного материала несут авторы.*

Ответственные за выпуск сборника – И.И.Босиков, Р.В.Ключев

ISBN 978-5-9500071-4-9

© ФГБОУ ВО «СКГМИ(ГТУ)», 2019
© Авторы статей, 2019

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель организационного комитета:

Дмитрак Юрий Витальевич, д.т.н., ректор ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Заместители председателя организационного комитета:

Цидаев Батраз Саламович, к.т.н., первый проректор - проректор по стратегическому развитию ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Хадзарагова Елена Александровна, д.т.н., проф., проректор по научной работе и инновационной деятельности ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Выскребенец Александр Степанович, д.т.н., проф., и.о. проректора по образовательной деятельности ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Баликоев Арсен Анатольевич, д.э.н., проф., проректор по общим вопросам ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Члены организационного комитета:

Клюев Роман Владимирович, д.т.н., проф., зав.кафедрой электроснабжения промышленных предприятий ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Босиков Игорь Иванович, к.т.н., доц. кафедры нефтегазового дела ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Камбердиева Светлана Султановна, д.э.н., проф., проректор по качеству образования и методической работе ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Моураов Алан Георгиевич, к.т.н., доц., проректор по информатизации и цифровому развитию ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Габараев Олег Знаурович, д.т.н., проф., зав.кафедрой горного дела ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Таболов Владимир Дзамболатович, руководитель отдела международных проектов и программ ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Кожиев Хамби Хадзимурзович, д.т.н., проф., декан горно-металлургического факультета ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Хетагуров Валерий Николаевич, д.т.н., проф. кафедры технологических машин и оборудования ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Солод Александр Викторович – генеральный директор филиала ПАО «ФСК ЕЭС» – Магистральные электрические сети Юга

Балатаев Таймураз Владимирович, директор филиала ПАО «РусГидро» – «Северо-Осетинский филиал»

Кабисов Ацамаз Асланбегович, и.о. директора Северо-Осетинского филиала ПАО «МРСК» Северного Кавказа

Шейкин Илья Станиславович, генеральный директор ООО НТЦ Мехатроника

Бояркин Евгений Алексеевич, директор ООО «Электрика»

Хатагова Лидия Сергеевна, менеджер по персоналу «Моздокского ЛПУМГ ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»

Кабисов Игорь Хазбиевич, к.т.н., начальник отдела стратегического развития ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Гаврина Оксана Александровна, к.т.н., доц. кафедры электроснабжения промышленных предприятий ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Соколов Андрей Андреевич, к.т.н., доц. кафедры теоретической электротехники и электрических машин ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Дзеранов Борис Витальевич, к.т.н., доц. кафедры нефтегазового дела ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Плиева Мадина Толиковна, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

Берко Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры электроснабжения промышленных предприятий ФГБОУВО «СКГМИ (ГТУ)»

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель программного комитета

Керимов Ибрагим Ахмедович, научный руководитель НТЦ «Зеленая энергетика», доктор физико-математических наук, профессор, ИФЗ РАН, Вице-президент АН ЧР

Заместители председателя программного комитета

Мартынов Виктор Георгиевич, ректор РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

Голик Владимир Иванович, д.т.н., проф. кафедры горного дела ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»

Заалишвили Владислав Борисович, д. физ.-мат.наук, директор Геофизического института Владикавказского научного центра Российской Академии наук

Алборов Иван Давыдович, д.т.н., проф., президент Северо-Кавказского отделения МАНЭБ

Члены программного комитета

Цхадая Николай Денисович, президент Ухтинского государственного технического университета

Кошелев Владимир Николаевич, председатель УМС НГО ФУМО, проректор по учебной работе РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Месхи Бесарион Чохоевич, ректор Донского государственного технического университета

Горлов Сергей Иванович, ректор Нижневартковского государственного университета

Минцаев Магомед Шавалович, Врио ректора ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова

Неваленный Александр Николаевич, ректор Астраханского государственного технического университета

Ташкинов Анатолий Александрович, ректор Пермского национального исследовательского политехнического университета

Ефремова Вероника Васильевна, и.о. ректора опорного Тюменского индустриального университета

Костюк Светлана Георгиевна, проректор по научной работе Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева

Петраков Дмитрий Геннадьевич, декан нефтегазового факультета Санкт-Петербургского горного университета

Вагин Владимир Стефанович, директор института международного образования Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ)

Будыка Александр Константинович, ученый секретарь Госкорпорации «Росатом»

Нургалиев Роберт Загитович, и.о. ректора Альметьевского государственного нефтяного института

Тарарыкин Сергей Вячеславович, ректор Ивановского государственного энергетического университета имени В.И. Ленина

Гаспарян Гарик Давидович, Врио ректора ФГБОУВО «Братский государственный университет»

Майер Владимир Викторович, начальник управления по нефтегазовому и геологическому образованию РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

Снегирева Татьяна Витальевна, проректор по инновационно-информационному развитию института повышения квалификации руководящих работников и специалистов топливно-энергетического комплекса ФГАОУДПО «ИПК ТЭК»

Лобов Николай Владимирович, проректор по учебной работе Пермского национального исследовательского политехнического университета

Колесова Светлана Борисовна, директор института нефти и газа им. М.С. Гучериева Удмуртского государственного университета

Мозучев Александр Иванович, декан горно-нефтяного факультета Уфимского государственного нефтяного технического университета

Сызранцев Владимир Николаевич, заведующий кафедрой машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности Тюменского индустриального университета

Алиев Расул Магомедович, заведующий кафедрой бурения нефтяных и газовых скважин Дагестанского государственного технического университета

Галимов Фарид Мисбахович, заведующий кафедрой «Стандартизация, сертификация и технологический менеджмент» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ

Юнгблюдт Сергей Викторович, ректор ФГАОУ ДПО «Кемеровский региональный институт повышения квалификации»

Стадник Денис Анатольевич, доцент кафедры геотехнологии освоения недр Горного института (МГИ) МИСиС

Королев Сергей Андреевич, заведующий кафедрой «Автоматика» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

Бурянина Надежда Сергеевна, д.т.н., профессор, директор, Чукотский филиал Северо-Восточного федерального университета имени М.К.Аммосова, г. Анадырь Чукотского автономного округа

Кишкин Александр Анатольевич, заведующий кафедрой криогенной техники и кондиционирования Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева

Шинкарюк Владислав Александрович, доцент кафедры геоинформатики Уральского Горного Университета

Drebenstedt Carsten (Карстен Дребеништедт), профессор Института Горного дела ТУ Горной Академии г. Фрайберг, Германия (TU Bergakademie Freiberg)

Pilipsevich Tatsiana (Пилипцевич Татьяна), куратор международных проектов Института Горного дела ТУ Горной Академии г. Фрайберг, Германия (TU Bergakademie Freiberg)

Gratzer Reinhard Walter (Райнхард Вальтер), старший преподаватель кафедры нефтегазовой геологии Горного университета г. Леобен, Австрия. (Mountain university of Leoben)

Sachsenhofer Reinhard Felix (Райнхард Заксенхофер), заведующий кафедрой нефтегазовой геологии –Горного университета г. Леобен, Австрия. (Mountain university of Leoben)

Ferrero Anna Maria (Анна Мария Ферреро), профессор факультета Наук о Земле Университета Турина, Италия (University of Turin)

Federico Vagnon (Федерико Ваньон), научный сотрудник факультета Наук о Земле Университета Турина, Италия (University of Turin)

Sergio Carmelo Guglielmo Vinciguerra (Серджио Винчигерра), доцент факультета Наук о Земле Университета Турина, Италия (University of Turin)

Le Hai (Ле хай Ан), ректор Горно-геологического университета г. Ханой (Hanoi University of Mining and Geology) HUMG

Nguyen Quang Minh (Нгуйен Куанг Мин), начальник международного отдела Горно-геологического университета г.Ханой (Hanoi University of Mining and Geology) HUMG

Tran Dai Lam (Тран Дай Лам), проректор университета последипломного образования науки и технологии, г.Ханой (Graduate University of Science and Technology) GUST

Nguyen Xuan Anh (Нгуйен Ксуан Ан), заместитель декана факультета геологических наук университета последипломного образования науки и технологии, г.Ханой (Graduate University of Science and Technology) GUST

Tran Quoc Cuong (Тран Куок Куонг), профессор факультета геологических наук университета последипломного образования науки и технологии, г.Ханой (Graduate University of Science and Technology) GUST

Hubert Roth, Director of the Chair for Control Engineering, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Siegen University, Germany

Ove-Tobias Gudmestad, Department of Mechanical and Structural Engineering and Materials Science, EIC Energy Investment Council, University of Stavanger, Norway

Michael Kouba, Director General, Bord of directors EIC Energy Investment Council, Austria

Michel Panfilov, professor, Institute Elie Cartan - Univ Lorraine, France

Zhao Chunlu, Deputy Director, International Office, China University of petroleum, Qingdao, China



Мы рады приветствовать всех участников и гостей Международной научно-практической конференции «Перспективы устойчивого развития нефтегазовой отрасли и электроэнергетики в Российской Федерации и мире».

В Осетии впервые проводится конференция по развитию нефтегазовой отрасли в республике.

В работе конференции принимают участие представители более 20 вузов РФ, 12 зарубежных университетов и более 15 крупных компаний.

Проведение конференции в стенах нашего университета именно сейчас, неслучайно, и обусловлено сложившейся ситуацией с нефтегазовой отраслью как в нашей стране, так и за рубежом.

Хочу отметить, что в СКГМИ (ГТУ) осуществляется подготовка специалистов нефтегазового дела для работы в крупных нефтегазовых компаниях. Университет давно сотрудничает с крупнейшими компаниями отрасли, такими, как ООО «Газпром», ОАО «ЛУКОЙЛ», ООО «Ноосфера» и др.

Многие российские и зарубежные компании активно интересуются запасами нефти, сосредоточенными на территории РСО-Алания. Добыча нефти является энергозатратным процессом, поэтому необходимо к этому вопросу подходить комплексно. Вот почему международная конференция с представителями как нефтегазовой, так и электроэнергетической отраслей проводится на базе СКГМИ(ГТУ).

Желаю всем плодотворной работы.

*Ректор СКГМИ (ГТУ), доктор технических наук,
профессор Дмитрак Ю. В.*



Хочу поприветствовать от лица руководства нашего института всех участников и гостей международной конференции.

Проведение настоящей научно-практической конференции – это важное событие.

На конференции будут затронуты вопросы, касающиеся открытия в 2020 году современной лаборатории по нефтегазовому делу на кафедре «Нефтегазовое дело» СКГМИ (ГТУ) с учетом опыта ведущих вузов РФ, таких как, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Астраханского государственного технического университета, Ухтинского государственного технического университета, представители которых будут принимать участие в работе нашей конференции.

Также будут рассмотрены вопросы дальнейшего развития электроэнергетического направления подготовки в СКГМИ (ГТУ) в части дальнейшего оснащения открытых в 2018 году лабораторий по микропроцессорной релейной защите и возобновляемым источникам энергии.

Мы надеемся, что на конференции будут достигнуты договоренности с компаниями, которые заинтересованы в добыче нефти и развитии электроэнергетики в республике.

По результатам конференции выйдет специальный выпуск журнала, индексируемого в международных базах цитирования.

Также выражаем уверенность в том, что в этом и следующем году студенты кафедр нефтегазового дела и электроснабжения промышленных предприятий будут принимать самое активное участие в научно-технических мероприятиях по развитию нефтегазовой отрасли и электроэнергетики.

По итогам работы конференции будет разработана соответствующая резолюция, включающая в себя круг основных задач, которые мы постараемся совместно реализовать в самое ближайшее время.

Еще раз выражаем благодарность всем участникам конференции.

*Первый проректор–проректор по стратегическому развитию СКГМИ (ГТУ),
заведующий кафедрой «Нефтегазовое дело»
кандидат технических наук **Цидаев Б. С.***

КРАТКИЙ ОБЗОР видеобращений, пленарных и секционных докладов, представленных на конференцию

В рамках работы международной конференции было проведено пленарное заседание и осуществлена работа в рамках семи секций.

С приветственными словами к участникам конференции обратились: *Цидаев Батраз Саламович*, первый проректор-проректор по стратегическому развитию ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»; *Аликов Алан Юрьевич*, заместитель министра образования и науки РСО-Алания; *Керимов Ибрагим Ахмедович*, научный руководитель НТЦ «Зеленая энергетика», доктор физико-математических наук, профессор ИФЗ РАН, вице-президент АН ЧР; *Майер Владимир Викторович*, начальник управления по нефтегазовому и геологическому образованию РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина; *Зимовец Алексей Иванович*, начальник управления – руководитель учебного центра ООО НТЦ «Механотроника»; *Айзеништадт Александр Олегович*, главный специалист Департамента продаж ООО НТЦ «Механотроника»; *Хатагова Лидия Сергеевна*, менеджер по персоналу ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»; *Пантелеева Стэлла Владимировна*, ведущий специалист ООО «Газпромтрансгаз Ставрополь»; *Урумов Ахсар Савельевич*, ведущий специалист ООО «Газпромтрансгаз Ставрополь»; *Гольчикова Надежда Николаевна*, заведующая кафедрой геологии нефти и газа ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»; *Заалишвили Владислав Борисович*, д-р физ.-мат. наук, директор Геофизического института Владикавказского научного центра Российской Академии наук; *Зангиев Казбек Захарович* – главный инженер филиала ПАО «РусГидро» – «Северо-Осетинский филиал» и другие.

На конференцию был представлен ряд *видеобращений* представителей университетов, которые по разным причинам не смогли принять очное участие в ее работе.

Среди них следует отметить видеобращения: *Лушпеева Владимира Александровича*, доц., к.т.н, руководителя образовательных программ направления «Нефтегазовое дело» Института наук о Земле, Санкт-Петербургского государственного университета; *Мальгина Геннадия Владимировича*, проректора по образовательной деятельности Нижневартковского государственного университета; *Буряниной Надежды Сергеевны*, д.т.н., профессора, директора Чукотского филиала Северо-Восточного федерального университета имени М.К.Аммосова, г. Анадырь Чукотского автономного округа; *Суслова Константина Витальевича*, заместителя руководителя Российской (Сибирской) группы Общества электроэнергетики и энергетики Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE PES); *Цыгулева Николая Иосифовича*, зав. кафедрой «Энергетика, автоматика и системы коммуникации» Донского государственного технического университета; *Магомедова Фахретдина Магомедовича*, д.т.н., доцента кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей» Дагестанского государственного аграрного университета имени М.М. Джамбулатова.

Пленарные доклады представили следующие участники:

- *Керимов И.А.* "Устойчивое развитие электроэнергетики Чеченской Республики»;
- *Пантелеева С.В.* «Интерактивная схема распределения газового потока на примере участка магистрального газопровода»;
- *Басиев К.Д., Дзуцев Т.М.* «Коррозионно-механические повреждения магистральных нефте-газопроводов и оценка степени их опасности»;
- *Саламов И.Х.* «Состояние и перспективы развития солнечной энергетики в Чеченской Республике»;
- *Лисутина А.С.* «Геотермальная энергетика»;
- *Фосси Тамбо Паскаль* «Натуральный газ».

НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СЕКЦИЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1. Геология, поиск и разведка месторождений нефти и газа

Краткое описание секции: Тематика секции посвящена методам прогнозирования, разведки и поискам месторождений нефти и газа. Проблема формализации геологии как современной комплексной прикладной науки о свойствах геологических объектов при поисках и разведки нефтегазовых, инженерно-геологических, гидрогеологических и других изысканиях, основанной на изучении геологических свойств Земли. Особое внимание будет направлено на исследование и применение новых методов при разведке нефтегазовых месторождений, применение геофизических методов для прогнозирования и поисках месторождений нефти и газа.

Секция 2. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

Краткое описание секции: Тематика секции посвящена изучению особенностей строения и природных режимов работы залежей углеводородов; уяснению принципов и методических основ процесса проектирования разработки нефтяных и газовых месторождений; разработки методов воздействия на нефтяные и газовые пласты; исследованию систем разработки нефтяных и газовых месторождений; разработки критериев формирования объектов разработки нефтяных и газовых месторождений; разработки методик расчета основных технологических показателей разработки нефтяных и газовых месторождений; разработки методических основ контроля, анализа и регулирования процесса разработки нефтяных и газовых месторождений, исследованию технологии воздействия на продуктивные пласты и призабойную зону скважин; разработки мероприятий по охране недр и окружающей среды при разработке нефтяных и газовых месторождений; изучение методов выбора и анализа технологий нефтегазового производства.

Секция 3. Освоение морских нефтегазовых месторождений

Краткое описание секции: Тематика секции посвящена исследованиям в области разработки и эксплуатации морских месторождений, основные нефтегазодобывающие акватории морей и океанов, ценность нефти и газа для переработки; способы транспортировки, хранения нефти, нефтепродуктов и газа; основные методы расчета по определению потерь напора на линейные гидравлические сопротивления в НКТ морских нефтяных и газовых скважин. Будут рассматриваться способ определения потерь напора на местные гидравлические сопротивления в штуцере фонтанной арматуры газовых, морских скважин при их освоении; способы определения потерь напора на местные гидравлические сопротивления в штуцере фонтанной арматуры газовых, морских скважин при их освоении. Будут представлены методы по определению гидропроводности и

пьезопроводности и коэффициента продуктивности скважин; методы по определению нагрузки на полированный шток ШСНУ с учетом угла наклона насоса к вертикали; методы по определению гидропроводности и пьезопроводности и коэффициента продуктивности скважин; основные методы расчета по определению потерь напора 4/1/1 4/1/1 4/1/1 4/1/1 6. 7. 8. на линейные гидравлические сопротивления в НКТ морских, газовых скважин.

Секция 4. Автоматизация и моделирование в нефтегазовой отрасли

Краткое описание секции: На секции будут рассмотрены актуальные вопросы автоматизации управления, связанные с развитием теории автоматизированного и автоматического управления в условиях резкого повышения сложности задач управления, широкой интеллектуализации систем управления и распределенных систем управления разработкой и эксплуатацией нефтегазовых месторождений. Будут рассмотрены современные прикладные системы автоматизированного и автоматического управления в нефтегазовой отрасли. Особое внимание будет уделено современному состоянию и перспективам развития современных систем и комплексов цифровой экономики, автоматических и автономных систем на базе нефтепромышленной отрасли.

Секция 5. Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта

Краткое описание секции: тематика секции посвящена совершенствованию методов и технологий подготовки углеводородного сырья к магистральному транспорту; мониторингу показателей надежности и безопасности на основании моделирования гидравлических режимов, теплотехнических и электрохимических процессов в системах транспорта и хранения нефти; разработке систем мониторинга, оптимизации и управления технологическими процессами на объектах трубопроводного транспорта; оценке и прогнозированию надежности и безопасности объектов трубопроводного транспорта на основании эксплуатационных данных; моделированию, совершенствованию, конструированию оборудования в системах транспорта и хранения нефти для повышения безопасности технических систем. Широкий спектр научных исследований будет рассмотрен по тематике "Проектирование эффективных и безопасных технологических систем транспорта, хранения, добычи, подготовки углеводородного сырья; математическое и компьютерное моделирование явлений и процессов, связанных с эксплуатацией, диагностикой и контролем объектов трубопроводного транспорта.

Секция 6. Повышение эффективности использования электро- и теплоэнергии в различных отраслях промышленности

Краткое описание секции: тематика секции посвящена актуальным вопросам электро- и теплоэнергетики, которые решаются в соответствии с при-

оритетным направлением развития науки, технологий и техники в Российской Федерации: энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика; приоритетным направлениям модернизации и технологического развития экономики России: энергоэффективность и энергосбережение, в том числе вопросы разработки новых видов топлива. Спектр исследований по этому направлению охватывает такие разделы, как: Энергетическое обследование (энергоаудит) потребителей электроэнергии (ПР) крупных промышленных предприятий; исследование показателей качества электроэнергии (КЭ); исследование, анализ и прогнозирование структурной надёжности электроэнергетической системы и т.д.

Секция 7. Возобновляемая электроэнергетика

Краткое описание секции: тематика секции посвящена актуальным вопросам исследования различных возобновляемых источников электроэнергии, таких как: солнечная энергетика, ветроэнергетика, гидроэнергетика и т.д. Россия располагает колоссальным потенциалом по всем видам возобновляемых источников энергии (ВИЭ), использование которого позволит занять достойное место на глобальном рынке технологий новой энергетике, однако очевидна необходимость актуализации величин оценок экономического потенциала ресурсов ВИЭ в России в связи с крайне быстрым развитием и обновлением технологической базы возобновляемой, в частности, солнечной энергетике. Такой ресурсный потенциал стал основанием для включения развития возобновляемой энергетике в число приоритетных направлений в Энергетической стратегии России на период до 2030 года. Однако по данным Минэнерго России на сегодняшний день доля ВИЭ в производстве электроэнергии составляет всего 1%, что ставит нашу страну на последние позиции в мировом рейтинге.

КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

об участии сотрудников кафедр "Нефтегазовое дело" и "Электроснабжение промышленных предприятий" ФГБОУ ВО "СКГМИ (ГТУ) в мероприятиях, посвященных вопросам развития нефтегазовой отрасли и электроэнергетики (2018–2019 гг.)

Ссылки на основные мероприятия:

- участие преподавателей и студентов кафедры "Нефтегазовое дело" в VIII Петербургском Международном газовом форуме (2-4 октября 2018 г.), г. Санкт-Петербург –

http://www.hes.spb.ru/news/index.php?id=2032&phrase_id=45306

- участие студентов кафедры Нефтегазового дела в XIII международном «Западно-Сибирском Нефтегазовом Конгрессе», проходившем в Тюменском индустриальном университете (11-13 апреля 2019 г.), г. Тюмень –

<https://afisha-tyumen.ru/events/afisha-tyumen/2523-west-siberian-petroleum-congress-2019-tyumen/>

- участие студентов кафедры Нефтегазового дела 73-й Международной молодежной конференции "Нефть и газ 2019" в РГУ им. И.М. Губкина (22-25 апреля 2019 г.), г. Москва –

<http://neftegaz.gubkin.ru/itogi-konferentcii/>

- торжественное открытие электротехнической лаборатории кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», посвященной использованию возобновляемых источников электроэнергии (солнечная электростанция) в учебном и научном процессе при подготовке бакалавров, магистров и аспирантов по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника» (11 апреля 2018 г.) –

<http://alaniatv.ru/programmy/glavnaya-studiya/?releases&id=4864>

- открытие лаборатории микропроцессорной релейной защиты на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» (18 сентября 2018 г.) –

<http://iryston.tv/ru/v-gmi-otkrylas-laboratoriya-mikroprotsessornoj-relejnoj-zashhity/>

<http://alaniatv.ru/vesti/?id=32578>

- проведение Круглого стола «Современные проблемы электроэнергетики, пути их решения» (5 декабря 2018 г.) –

<http://alaniatv.ru/vesti/?id=34449>

<http://iryston.tv/ru/v-severnoe-osetii-budut-gotovit-spetsialistov-v-oblasti-relejnoj-zashhity/>

- участие студентов и преподавателей кафедры "Электроснабжение промышленных предприятий в конкурсе инновационных проектов Регионального молодежного энергетического форума «Сияние Севера», проведенном на площадке Нижневартковского государственного университета (15-16 ноября 2018 г.), г. Нижневартовск –

https://www.n-vartovsk.ru/news/citywide_news/news_molodezh/294862.html

- проведение Международного семинара, в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития" по тематике «Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики», (25 мая 2018 г.), г. Владикавказ –

<https://elibrary.ru/item.asp?id=35244816>

Р Е З О Л Ю Ц И Я

Международной научно-практической конференции «Перспективы устойчивого развития нефтегазовой отрасли и электроэнергетики в Российской Федерации и мире»

1. Признать проведение впервые международной конференции в РСО-Алания на базе ФГБОУ ВО "СКГМИ (ГТУ)" важным этапом развития нефтегазовой отрасли и электроэнергетики, как на Северном Кавказе, так и в РФ и мире в целом. Получены одобрения по проведению международной конференции от ведущих вузов РФ. На конференции были рассмотрены и обсуждены вопросы по применению новых методов и методик для эффективного развития нефтегазовой отрасли и электроэнергетики.

2. Обеспечить публикацию материалов конференции в РИНЦ и в специальном выпуске иностранного журнала Earth and Environmental Science (EES), индексируемого в наукометрических базах Scopus и WoS.

3. Предусмотреть в 2020 году подписание соглашений о сотрудничестве с крупнейшими нефтегазовыми компаниями, такими, как ООО «Газпром», ООО «Газпром трансгаз Ставрополь», ОАО НК «ЛУКОЙЛ», ОАО «НИПИгазпереработка», ООО «Институт геолого-экологических технологий», ООО ЦЭОТ «Ноосфера», ООО «Биопотенциал» и др., а также с крупнейшими энергетическими компаниями, такими как ПАО «ФСК ЕЭС», ПАО «РусГидро», ПАО «МРСК Северного Кавказа», ООО НТЦ "Механотроника", НПП "Динамика".

4. Обеспечить прохождение практики и трудоустройство студентов на этих компаниях, а также проведение научно-исследовательских и хозяйственных работ по актуальным вопросам развития нефтегазовой отрасли.

5. Обеспечить открытие в 2020 году современной лаборатории по нефтегазовому делу на кафедре "Нефтегазовое дело" ФГБОУ ВО "СКГМИ (ГТУ)" с учетом опыта ведущих вузов РФ, таких как, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина; Астраханский государственный технический университет; Ухтинский государственный технический университет, представители которых приняли участие в работе международной конференции.

6. Открыть в 2020 году опорный центр на Северном Кавказе по микропроцессорной релейной защите и возобновляемым источникам энергии при посредничестве ПАО «РусГидро», ПАО «МРСК Северного Кавказа», ООО НТЦ "Механотроника", НПП "Динамика".

7. Продолжить активное участие преподавателей и студентов кафедр нефтегазового дела и электроснабжения промышленных предприятий в научно-технических мероприятиях по аналогии с 2018 г.

8. Подготовить совместную заявку на конкурс грантов РФФИ по проведению международной конференции совместно со следующими вузами и научными учреждениями: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова (г. Грозный), Альметьевский государственный нефтяной институт (г. Альметьевск), Академия наук Чеченской республики (г. Грозный), Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук (г. Владикавказ), Астраханский государственный технический университет (г. Астрахань), ООО НТЦ "Механотроника".

9. Обеспечить ежегодное проведение аналогичной конференции на базе или ФГБОУ ВО "СКГМИ (ГТУ)" или вузов-партнеров в области нефтегазовой и электроэнергетической отрасли в РФ.



Начало работы конференции



Слева - направо: Майер Владимир Викторович, начальник управления по нефтегазовому и геологическому образованию РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина; Цидаев Батраз Саламович, первый проректор - проректор по стратегическому развитию ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»; Аликос Алан Юрьевич, заместитель министра образования и науки РСО-Алания



Пленарные доклады



Керимов Ибрагим Ахмедович,
научный руководитель НТЦ «Зеленая
энергетика», докт. физ.-мат.наук, профессор,
ИФЗ РАН, Вице-президент АН ЧР



Майер Владимир Викторович,
начальник управления по нефтегазовому
и геологическому образованию РГУ
нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина



Аликов Алан Юрьевич,
заместитель министра образования и науки
РСО-Алания



Алборов Иван Давыдович,
д.т.н., проф., президент Северо-
Кавказского отделения МАНЭБ



Гольчикова Надежда Николаевна,
зав. каф. геологии нефти и газа
«Астраханский государственный
технический университет»



Зангиев Казбек Захарович,
главный инженер ф-ла ПАО «РусГидро»-
«Северо-Осетинский филиал»



Хатагова Лидия Сергеевна,
менеджер по персоналу «Моздокского
ЛПУМГ ООО «Газпром трансгаз
Ставрополь»



Басиев Казбек Данилович,
д.т.н., профессор СКГМИ (ГТУ)



Заалийвили Владислав Борисович,
д. физ.-мат. наук,
директор Геофизического института
Владикавказского научного центра РАН



Зимовец Алексей Иванович,
начальник управления – руководитель
учебного центра ООО НТЦ
«Механотроника»



Пантелеева Стэлла Владимировна,
ведущий специалист
ООО «Газпром трансгазСтаврополь»



Чандан Раджуркар
"Husky Petroleum", Calgary, менеджер



*Урумов Ахсар Савельевич,
вед. спец. ООО «Газпром трансгаз
Ставрополь»*



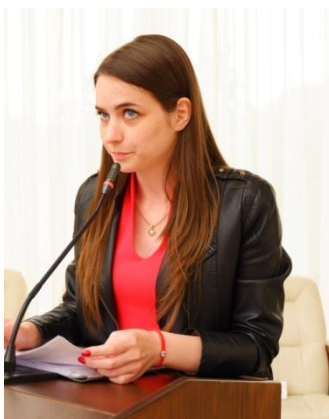
*Кортиев Леван Измайлович,
профессор СКГМИ (ГТУ)*



*Грачев Вадим Юрьевич,
Начальник Владикавказской группы
подстанций филиала ПАО "ФСК ЕЭС" -
Ставропольское ПМЭС*



*Фосси Тамбо Паскаль,
студент СКГМИ (ГТУ)*



*Лисутина Алина Сергеевна,
Студентка СКГМИ (ГТУ)*



*Саламов Ислам Хамзатович
руководитель лаборатории,
Чеченский ГПУ*



Дебиев Майрбек Вахаевич,
к.т.н., доц. каф. "Электротехника и
электропривод" Грозненский
государственный нефтяной технический
университет им. академика М. Д.
Миллионщикова



Ноэль Асангбе Этого,
студент СКГМИ(ГТУ)



Пеквалике Валери,
студентка СКГМИ (ГТУ)



Лысоконь Элина, студентка
СКГМИ(ГТУ)



Босиков Игорь Николаевич,
доцент кафедры «Нефтегазовое дело»
СКГМИ(ГТУ)



Клюев Роман Владимирович,
зав. каф «Электроснабжение
промпредприятий» СКГМИ(ГТУ)

РАЗВИТИЕ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

УДК 504.05 (1-21)

ГЕОЭКОЛОГИЯ ТЕРСКО-СУНЖЕНСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Керимов И.А.^{1,2}, Гайрабеков У.Т.^{1,3}, Гагаева З.Ш.^{1,3}

¹Академия наук Чеченской Республики, г. Грозный, Россия

²Грозненский государственный нефтяной технический университет
имени академика М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, Россия

³Чеченский государственный университет, г. Грозный, Россия
zsh_gagaeva@mail.ru

Аннотация. В работе представлен анализ современного состояния проблемы воздействия на геологическую среду, возникшей в результате длительного освоения месторождений нефти и газа и связанных с ними геоэкологических последствий. На примере территорий Терско-Сунженской нефтегазоносной области проанализированы геоэкологические проблемы, вызванные формированием техногенных залежей углеводородного сырья и антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: геоэкологические проблемы, техногенные залежи, УВ сырье, нефтяная отрасль, научно-технический прогресс, Терско-Сунженская нефтегазоносная область.

GEOECOLOGY OF THE TERSK-SUNZHEN OIL AND GAS-BASED AREA: ACTUAL PROBLEMS AND WAYS OF SOLUTION

Kerimov I.A.^{1,2}, Gayrabekov U.T.^{1,3}, Gagaeva Z.Sh.^{1,3}

¹Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, Russia

²Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshtchikov, Grozny, Russia

³Chechen State University, Grozny, Russia

Abstract. The paper presents an analysis of the current state of the problem of the impact on the geological environment that arose as a result of the long development of oil and gas fields and the associated geoecological consequences. On the example of the territories of the Tersko-Sunzhenskoye oil and gas region, the geoecological problems caused by the formation of technogenic deposits of hydrocarbon raw materials and anthropogenic load are analyzed.

Keywords: geo-ecological problems, technogenic deposits, hydrocarbons, oil industry, scientific and technological progress, Tersko-Sunzhenskoye oil and gas region.

Введение. Современное состояние нефтегазовой отрасли сопровождается геоэкологическими проблемами. Одна из них – углеводородное загрязнение (УВ загрязнение) окружающей среды, которое представляет собой одну из наиболее острых геоэкологических проблем в районах добычи, переработки и транспортировки нефти. Возникновение основных очагов загрязнения – техногенных углеводородных полей – связано с нефтепереработкой, нефтепромыслами и

другими источниками. Внутри промыслов формируются техногенные потоки вокруг эксплуатационных скважин кустовых площадок, шламовых амбаров, мест аварий на скважинах и нефтепроводах, техногенное загрязнение происходит также в местах переработки и потребления нефти и нефтепродуктов [4]. Безусловно, современное развитие экономики и ее производственной инфраструктуры не представляется вне применения передовых достижений научно-технического прогресса и связанных с ними потребностей общества. Это в свою очередь приводит к увеличению антропогенной нагрузки на геологическую среду. Особенно очевидным это становится с середины XX в. В свое время еще В.И. Вернадский обратил внимание на то, что со временем масштабная деятельность человека непременно скажется на трансформации геологической среды. Территория Терско-Сунженской нефтегазоносной области уже много десятков лет является «региональным очагом» техногенного углеводородного загрязнения. На примере отдельных территорий Чеченской Республики можно рассмотреть наиболее яркие проявления этого загрязнения.

Основная часть. В течение XX в. нефтяная отрасль развивалась высокими темпами. Так, в настоящее время в среднем ежедневно добывается 73.8 млн. баррелей; осталось запасов нефти – 1.5 трлн.; 16 011 дней осталось до истощения запасов нефти [12].

Нефть – одно из важнейших ресурсов для развития экономики ряда стран. Именно на таком природном богатстве зиждется благосостояние многих государств мира. Вместе с тем нельзя не отметить негативные последствия нефтегазодобычи – в первую очередь загрязнение природных компонентов. Проблема негативного воздействия нефтегазовой отрасли характеризуется различными аспектами, в числе которых выделяются:

- техногенная сейсмичность и оседание земной поверхности при разработке месторождений УВ сырья;
- загрязнение воздушного бассейна из-за пожаров в местах добычи и переработки, сжигания попутного газа на факелах, прорывов газопроводных линий;
- формирование техногенных залежей УВ сырья и сопутствующее загрязнение подземных вод.

Территория Чеченской Республики, расположенная в пределах Терско-Сунженской нефтегазоносной области, представляет собой один из старейших районов добычи и переработки нефти в России и в мире. Здесь в результате длительного функционирования нефтегазовой отрасли произошла техногенная трансформация природной среды. Многочисленные утечки нефти на нефтепромыслах, из коммуникаций и хранилищ нефтехимических предприятий привели к формированию техногенных залежей углеводородов, ставших причиной загрязнения подземных вод и водозаборов нефтепродуктами, фенолами. В связи с этим для территорий, где добывалось и перерабатывалось УВ сырье (в частности для территории г. Грозный) особенно остро стоит вопрос о загрязнении геологической среды [8, 9, 10, 13, 14, 15].

Одной из крупнейших геоэкологических проблем для территории Чеченской Республики – загрязнение воздушного бассейна за счет выбросов в

атмосферу вредных веществ. История этого загрязнения уходит корнями в дореволюционный период. Так, по данным некоторых источников, в первые пять лет промышленной добычи нефти (к 1898 г.) сгорели три скважины деревянной конструкции [8].

Функционирование системы нефтегазового производства сопровождается аварийными и техногенными утечками, разливом нефти и нефтепродуктов на поверхность земли. Это приводит к их фильтрации в водоносные горизонты. В результате этих процессов в значительное количество нефтепродуктов скапливалось в зоне аэрации, образовывали на поверхности грунтовых вод плавающие линзы, частично растворяющиеся в подземных водах. Подвижность подземных вод приводило к тому, что они становились мощным агентом переноса загрязнений от очага его формирования на большие расстояния с частичным выклиниванием скопившихся под землей нефтепродуктов в поверхностные водотоки и водоемы.

Как показывает промысловая практика, утечка нефти на нефтепромыслах оценивают 1-2% от годовой добычи. Суммарная добыча нефти из недр Чеченской Республики достигла более 300 млн. т [6, 7]. Поэтому можно сделать вывод о том, что это достаточно высокие показатели для такой сравнительно малой территории.

Техногенные залежи углеводородов, сформировавшиеся на поверхности грунтовых вод, стали источниками загрязнения подземных вод и водозаборов питьевого назначения г. Грозный. Сложившаяся экологическая ситуация превратила всю территорию Заводского района города в зону экологического бедствия [1, 3, 6].

К 1995 г. более 30% территории Чеченской Республики характеризовалась как зона экологического бедствия, ещё около 40% территории имели статус зоны с особо неблагоприятной экологической обстановкой [3].

Исходя из вышеизложенного, можно констатировать, что территория г. Грозного подверглась настолько значительным загрязнениям, что может рассматриваться как зона экологического бедствия. Поэтому для регионов с длительной историей нефтедобычи наиболее острой является проблема загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами.

Следует отметить также, что эта проблема актуальна не только для Чеченской республики, но и для многих стран и регионов России. Так, например, проблемные ситуации с формированием техногенных залежей нефтепродуктов сложилась во многих российских городах (Ангарск, Моздок, Туапсе, Ейск, Новокуйбышевск, Уфа, Воронеж и других), где длительное время велась добыча и переработка нефти, располагались нефтеналивные станции, нефтехранилища, нефтебазы.

Если в России этим проблемам серьезное внимание стали уделять лишь в последние десятилетия, то в промышленно-развитых странах их изучением и решением занимаются многочисленные, проектные и производственные компании и в ее разрешение вкладываются весьма крупные денежные средства. Опыт этих стран показывает, что если мелкие очаги загрязнения (сотни квадратных

метров) удастся ликвидировать сравнительно быстро (за несколько лет), то локализация и ликвидация крупных очагов загрязнения растягивается на многие десятилетия. Особенно долговременным, трудоемким и дорогостоящим является процесс окончательной реабилитации геологической среды в связи с ее высокой инертностью относительно сформировавшегося загрязнения [1].

Случаи проявления техногенной сейсмичности инструментально зарегистрированы в нефтегазодобывающих регионах России, Казахстана, Узбекистана, США, Канады и др.

Вопросы техногенной активизации современных геодинамических процессов и их негативных последствий в пределах ряда разрабатываемых месторождений Терско-Сунженской нефтегазоносной области, а также перспектив освоения в дальнейшем месторождений УВ сырья в этой области, подробно описаны в ряде публикаций [1, 2, 5, 6, 11] и требуют дальнейшего исследования.

Таким образом, в настоящей работе затронуты лишь некоторые стороны развития нефтегазоносной отрасли, влияющих на дестабилизацию геологической обстановки собственно в районах добычи и переработки УВ сырья, а также в Чеченской Республике в целом.

Выводы. Для улучшения геологической ситуации в Терско-Сунженской нефтегазоносной области предлагается решение ряда мероприятий, среди которых:

- рациональный подход к разработке существующих месторождений, учитывающий экологический баланс и комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов;
- развитие безотходного и/или малоотходного производства;
- геологическая паспортизация объектов горнодобывающего комплекса и организация системы мониторинга загрязнения окружающей среды;
- использование альтернативных источников энергии и экологически чистых видов транспорта.

Эти пункты отвечают новым тенденциям развития экономики, что можно отметить на примере многих развитых стран.

Что же касается применения альтернативных источников энергии, то Чеченская Республика, как и многие другие субъекты юга России, является ярким примером для реализации таких возможностей перехода к новым источникам энергии.

Кроме перечисленных мероприятий конкретно для территории г. Грозный в целях улучшения геологической ситуации и решения проблем, обусловленных развитием техногенных нефтяных залежей, предлагается реализация следующих мероприятий:

- проведение комплексных геофизических, геохимических и георадарных исследований с целью изучения современного пространственного размещения, миграции и динамики техногенных нефтяных залежей;
- разработка оптимальной сети размещения инженерных скважин с целью изучения пространственно-временного состояния техногенных залежей на территории Грозного и его окрестностей;

- осуществление регулярного мониторинга миграции техногенных залежей на территории Грозный и прилегающей территории;
- создание геоэкологической базы данных о состоянии техногенных УВ залежей и применением ГИС.

Список использованных источников

1. Гайрабеков У.Т. Техногенная трансформация ландшафтной среды г. Грозный в связи с функционированием нефтяного комплекса // *Перспективы науки*, 2011. № 12 (27). С. 166-169.
2. Гайсумов М.Я., Керимов И.А. К вопросу применения микросейсмических исследований для прямых поисков УВ на примере Хаян-Кортовской площади // *Грозненский естественнонаучный бюллетень*. 2017. № 1 (5). С. 16-22.
3. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Чеченской Республики в 2003 году». Гудермес, 2004. 176 с.
4. Касимов Н.С. Экогеохимия ландшафтов. М.: ИП Филимонов М.В., 2013. 208 с.
5. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Ахматханов Р.С. Деформации пластов в связи с разработкой нефтяных месторождений Терско-Сунженской нефтегазоносной зоны // *Геология и геофизика Юга России*. 2012. № 4. С. 43-52.
6. Керимов И.А., Уздиева Н.С. Геоэкология нефтяного комплекса Чеченской Республики. Назрань: Пилигрим, 2008. 252 с.
7. Нефть и газ Чечни и Ингушетии. К 100-летию грозненской нефтяной промышленности. 1893-1993 гг. / Л.Х. Ибрагимов, В.Г. Бабуков, А.З. Дорогочинский и др.; под ред. Л.Х. Ибрагимова. М.: Недра, 1993. 272 с.
8. Оценка состояния загрязнения подземных вод нефтепродуктами на территории г. Грозный и его возможного влияния на водозаборы хозяйственно-питьевых вод / Б.В. Боровский, Л.В. Боровский, А.А. Щипанский и др. М.: ГИДЭК. 1995.
9. Работы по выявлению и оконтуриванию площадей техногенных подземных линз нефтепродуктов в районе г. Грозный и оценка их запасов / Е.В. Барсукова, С.В. Галавунин, Г.Л. Воровский и др. Москва: ОАО «Геосинтез», 2008. 238 с.
10. Развитие нефтяного комплекса Чеченской Республики и проблемы загрязнения геологической среды / У.Т. Гайрабеков, Р.Х. Дадашев, И.А. Керимов и др. // *История науки и техники*, 2012. № 7. С.40-44.
11. Яндарбиев Н.Ш. Перспективы нефтегазоносности западной части Терско-Каспийского прогиба // *Грозненский естественнонаучный бюллетень*, том 3, № 5 (13), 2018. С. 54-64. DOI: 10.25744/genb.2018.13.61.005.
- Всемирная статистика (Worldometers – real time world statistics): <https://www.worldometers.info/> (дата обращения: 12.08.2019).
12. I.A. Kerimov, Z.Sh. Gagaeva, U.T. Gairabekov and A.Kh. Usmanov. Technogenic hydrocarbon reservoirs and geoenvironmental issues in the city of Grozny // 2018 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 194 092010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/9/092010>.
13. I.A. Kerimov, Z.Sh. Gagaeva, U.T. Gairabekov. Natural Resource Potential – Basis of Sustainable Development of Chechen Republic // VIII Science and Technology Conference “Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geo-ecology of the North Caucasus” (CIGGG 2018). Advances in Engineering Research. Atlantis Press. Vol. 182. Pp.155-159. <https://doi.org/10.2991/ciggg-18.2019.29>. ISBN 978-94-6252-690-7. ISSN 2352-5401.
14. U.T. Gairabekov, I.A. Kerimov and Z. Sh. Gagaeva. Geoenvironmental assessment of the effect of oil extraction on the landscapes of the Chechen Republic // 2018 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 194 092008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/9/092008>.

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИИ ВЫДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ВЕРХНЕГО ПРИВОДА

Г.Ю. Зубрилов¹, М.П. Хомутов², Н.Н. Белина²

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск,
gsro@yandex.ru

²Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар,
mhomutov@yandex.ru

Аннотация. В работе приведены преимущества и недостатки систем верхнего привода. Выявлены условия и причины столкновения исполнительного механизма с элементами конструкции установки. Приведены фотографии результатов столкновения. Предложена модернизированная гидравлическая схема, позволяющая исключить столкновение исполнительного модуля СВП с элементами конструкции. Предложенное решение позволит сократить затраты на ремонт и эксплуатацию указанной системы верхнего привода.

Ключевые слова: система верхнего привода, трубный ключ, гидроцилиндр, гидравлический привод.

HYDRAULIC SYSTEM SAFETY FUNCTION OF THE EXTENSION OF TOP DRIVE SYSTEM

G. J. Zubrilov¹, M. P. Khomutov², N. N. Belina²

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk,
gsro@yandex.ru

²Kuban State Technological University, Krasnodar,
mhomutov@yandex.ru

Abstract. The article presents the advantages and disadvantages of top drive systems (TDS). The conditions and causes of the collision of the actuator with the elements of the design of the installation. Given pictures of the results of the collision. The proposed upgraded hydraulic scheme, which allows to avoid collision of the Executive module of TDS with design elements. The proposed solution will reduce the cost of repair and operation of the top drive system.

Keywords: top drive system, pipe wrench, hydrocylinder, hydraulic drive.

Система верхнего привода (СВП) в настоящее время является предпочтительным элементом комплекта оборудования для бурения нефтяных и газовых скважин.

Причиной такого положения являются эксплуатационные и технологические достоинства:

- Экономия времени на наращивание труб при бурении.
- Уменьшение вероятности прихватов бурильного инструмента.
- Расширение (проработка) ствола скважины не только при спуске, но и при подъеме инструмента.
- Повышение точности пространственного профиля проводки скважин в условиях направленного бурения.

- Повышение безопасности состава буровой бригады.
- Снижение вероятности выброса флюида из скважины через бурильную колонну.
- Облегчение спуска обсадных труб в зонах осложнений за счет вращения.
- Повышение качества отбора керна.
- Обеспечение оптимального значения крутящего момента при свинчивании и докреплении резьбовых соединений. [1]

Практика эксплуатации оборудования, невольно позволяет выявить условия и причины аварийного выхода его из эксплуатации, что зачастую сопровождается, значительными материальными затратами на восстановительные работы, травматизмом эксплуатирующего или обслуживающего персонала.

Эксплуатация СВП, модели TESCO 350 EXI 600, рис. 1, смонтированной на буровой установке, модели БУ-3000 ЭУК-1М, создаёт условия, которые могут привести к травмированию вспомогательного персонала (помощника бурильщика) и неизбежно влекут за собой аварию, как правило, с последующим выходом из строя СВП. Такие условия возникают в ходе использования вспомогательных функций оборудования.

Вспомогательная гидравлика, данной модели СВП, призвана выполнять следующие операции:

- Отклонение штроп
- Возврат штроп в вертикаль.
- Открытие и закрытие элеватора
- Выдвижение исполнительного модуля от направляющей и возврат.
- Управление шаровым краном
- Трубный ключ
- Контрбаланс
- Управление высотным положением трубного ключа
- Трубный манипулятор.

Необходимо отметить, что, как правило, при монтаже СВП на указанной буровой установке гидравлически управляемый элеватор не монтируется. Это связано с недостатком свободного пространства между автоматическим ключом бурильщика и осью симметрии отверстия ротора. В таком случае функция «Открытие и Закрытие элеватора» не используется, а вместо этого применяют элеватор с ручным управлением.

Направляющая балка монтируется на вышке таким образом, чтобы ось симметрии направляющей, и ось симметрии ротора располагались параллельно.

Практика эксплуатации СВП показывает, очень часто это требование не соблюдается, и причинами этому могут служить проседание отсыпки грунта под фундаментными тумбами вышки, а также ошибки монтажа направляющего рельса СВП.

Отсутствие параллельности осей симметрии направляющей балки СВП и ротора, в совокупности с вертикальным перемещением исполнительного модуля СВП, вызывает самопроизвольное выдвижение исполнительного органа от

направляющего рельса, за счёт воздействия веса бурового инструмента, что приводит к срабатыванию предохранительного клапана гидросистемы. Необходимость выдвижения исполнительного модуля СВП от направляющего рельса может быть продиктовано и технологией работ, при этом, оператор, осознанно отодвигает исполнительный модуль от направляющего рельса. Оператор, утратив по каким-либо причинам сосредоточенность и контроль за положением исполнительного модуля относительно направляющего рельса, поднимая его к «палатам верхового» неизбежно создаёт аварию. Последствия столкновения исполнительного модуля с «палатами верхового» приведены рис. 2.

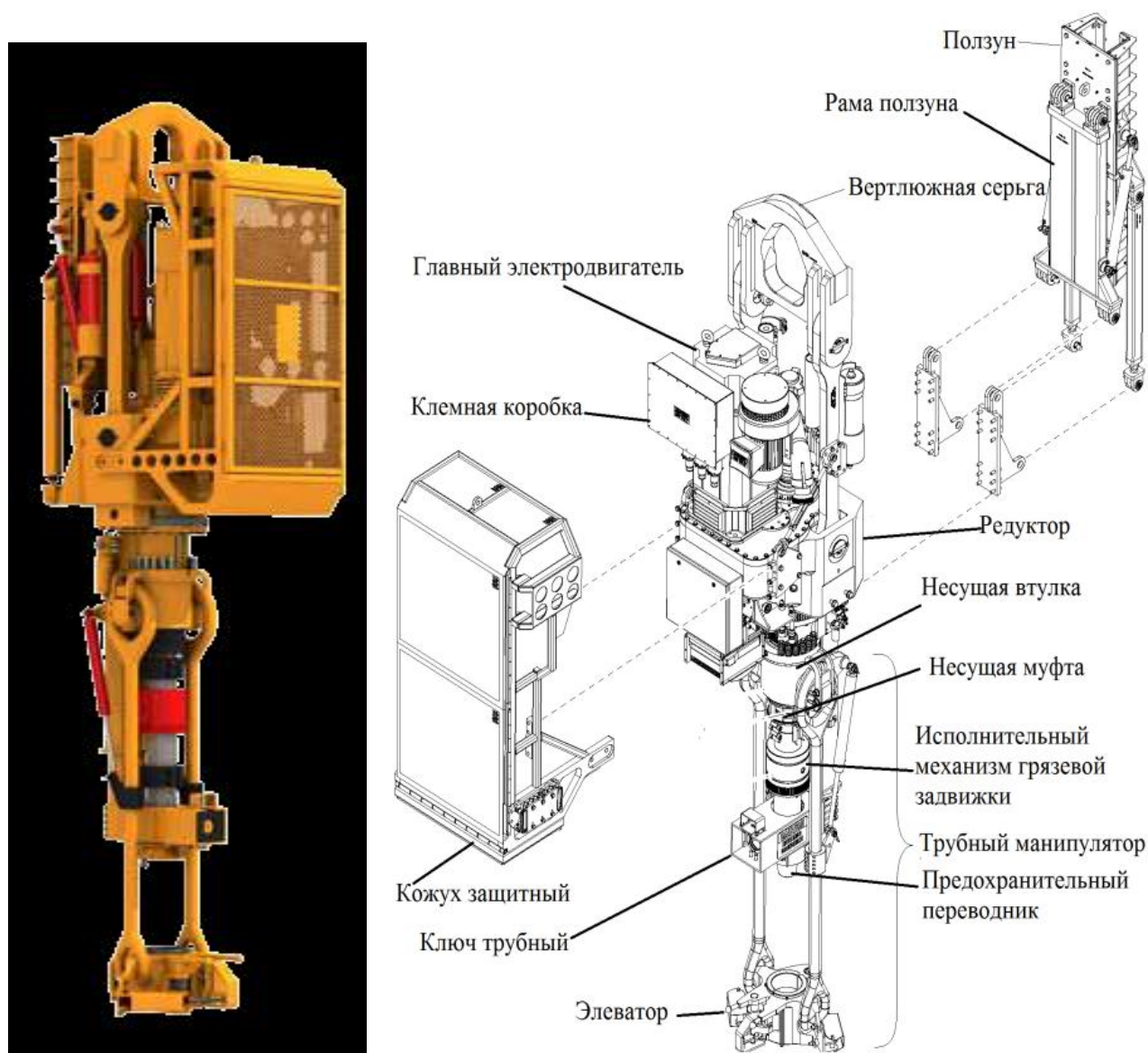


Рисунок 1 – Внешний вид исполнительного модуля и элементы конструкции

Затраты на восстановление, только СВП свыше миллиона рублей. Повреждение, вызванное столкновением исполнительного модуля СВП с «палатами верхового» далеко не первое, но самое масштабное в ООО МУБР за последние 5 лет.

Нами предлагается модернизированная гидравлическая схема позволяющая исключить столкновение, исполнительного модуля СВП с «палатами верхового» даже при отсутствии параллельности осей симметрии направляющей балки СВП и ротора, утрате оператором сосредоточенности и контроля за положением исполнительного модуля относительно направляющего рельса, рис. 4.

К штатно имеющейся гидравлической схеме, представленной на рис.3, присоединяются линии, приведенные на рис. 4.



а



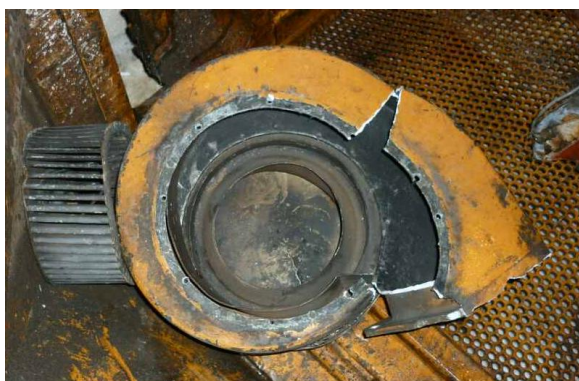
б



в



г



д



е

*Рисунок 2 – Результат столкновения исполнительного модуля с «палатами верхового»:
а – обрыв шин электрической обмотки ввода; б – деформация элементов конструкции защитной рамы; в – разрушение корпуса и обрыв электродвигателя обдува; г – деформация монтажного щита энкодера и его разрушение; д – разрушение спирального отвода и рабочего колеса; е – пластическая деформация и обрыв щита ввода главного электродвигателя*

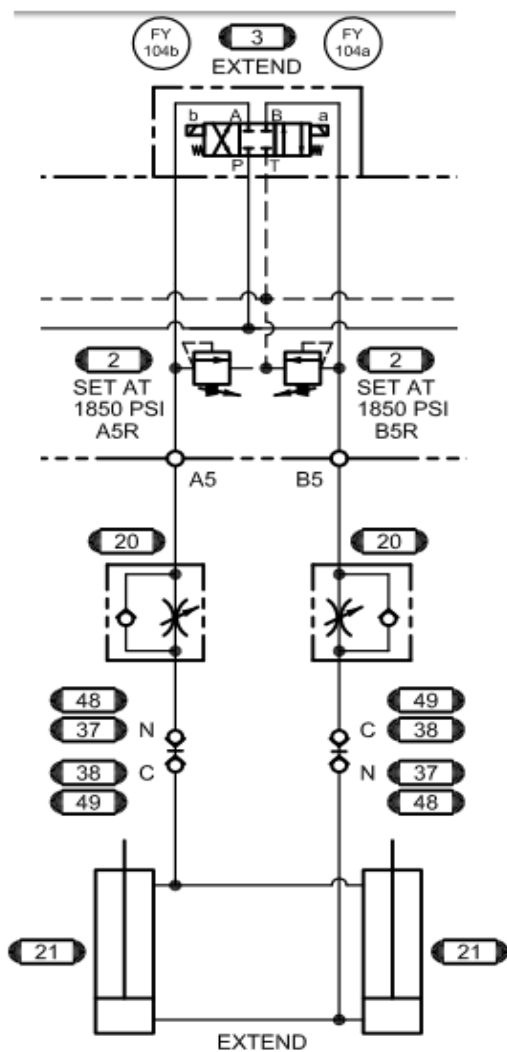


Рисунок 3 – Гидравлическая схема выдвигения и возврата к направляющей исполнительного модуля СВП

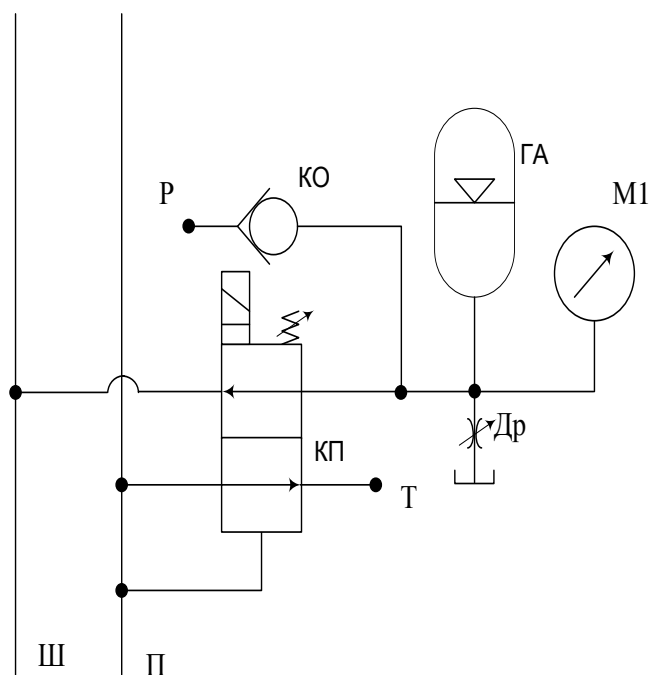


Рисунок 4 – Разработанная часть гидравлической схемы, обеспечивающей безопасность

Линия «Р» присоединяется к напорной линии, запитывающей распределитель.

Линия «Ш» присоединяется к гидравлической линии, запитывающей штоковую полость.

При подаче рабочей жидкости в штоковую полость гидроцилиндров исполнительный модуль придвигается к направляющему рельсу в положение безопасной эксплуатации.

Линия «П» присоединяется к гидравлической линии запитывающей поршневую полость гидроцилиндра.

При технологической необходимости высотного перемещения исполнительного модуля в выдвинутом положении нажимается дополнительная кнопка, например выведенная на пульт управления, «безопасного открытия элеватора», так как она на практике не задействована, и её нажатие запирает подачу жидкости в штоковую полость из гидроаккумулятора, клапан «КП». Перемещение исполнительного модуля по направляющему рельсу находится под контролем

оператора. Отпустив кнопку «безопасного открытия элеватора», в штоковую полость гидроцилиндров выдвижения, подаётся рабочая жидкость из гидроаккумулятора, а поршневая полость сообщается со сливной линией. Зарядка гидроаккумулятора происходит при использовании любой из функций вспомогательной гидравлики, соответственно возвращение исполнительного модуля СВП к направляющей гарантировано в любом случае. Дроссель «Др» используется для разрядки контура гидроаккумулятора при необходимости демонтажа СВП или ремонтных работ гидросистемы.

Применение представленной гидравлической схемы позволит повысить гарантии безаварийной и безопасной эксплуатации СВП.

Список использованных источников

Мурадханов И. В., Литвинов В. М., Пономаренко В. А. Система верхнего привода: особенности и преимущества [Электронный ресурс].

URL:<http://www.tehsovet.ru/article-2010-11-3-1327> (дата обращения 12.01.2015).

**ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
АСТРАХАНСКОГО ПРИКАСПИЯ В ЦЕЛЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА
И РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Калашник Ж. В.

Астраханский государственный технический университет (АГТУ), г. Астрахань,
kalashnik_10@mail.ru

Аннотация: В работе изложены основные факторы формирования четвертичных отложений. Показано, что формирование четвертичных отложений происходило при неоднократных трансгрессиях и регрессиях древнего Каспия. Дана инженерно-геологическая характеристика грунтов. Сделан вывод о неприменимости для глинистых пород Прикаспия таблиц нормативных характеристик грунтов.

Ключевые слова: четвертичные отложения, Каспийское море, дисперсные грунты, инженерно-геологическая характеристика

***THE STUDY OF THE PECULIARITIES OF QUATERNARY DEPOSITS
OF THE CASPIAN SEA IN ASTRAKHAN FOR CONSTRUCTION
OF AND PLACEMENT OF OIL AND GAS FACILITIES***

Kalashnik J. V.

*Astrakhan State Technical University (ASTU), Astrakhan,
kalashnik_10@mail.ru*

Abstract: The paper presents the main factors of Quaternary deposits formation. It is shown that the formation of Quaternary deposits occurred during repeated transgressions and regressions of the ancient Caspian sea. The engineering-geological characteristic of soils is given. The conclusion about inapplicability of tables of normative characteristics of soils for clayey rocks of the Caspian sea is made.

Keywords: Quaternary sediments, Caspian sea, dispersed soils, engineering-geological characteristics

Вопросы размещения объектов нефтегазовой инфраструктуры в пределах Астраханского Прикаспия представляют значительный интерес, особенно на стадиях технико-экономического обоснования и предпроектных проработок.

Четвертичные отложения являются сферой непосредственного взаимодействия оснований сооружений с грунтами и подземными водами. Физико-механические свойства отложений четвертичного периода влияют на изменение инженерно-геологических условий и специфику производства строительномонтажных работ.

Геологические особенности четвертичных отложений Прикаспия несут отчётливые черты специфических условий осадконакопления, обусловленных сочетанием следующих тектонических и палеоклиматических факторов.

Активизация тектонических процессов на Русской платформе, особенно в северо-восточной части, с активным проявлением солянокупольного тектогенеза привела к устойчивому прогибанию фундамента Прикаспийской синеклизы, что способствовало накоплению мощной толщи песчано-глинистых пород. Формирование четвертичных отложений в Прикаспии происходило как в морских, так и в континентальных условиях при неоднократных трансгрессиях и регрессиях древнего Каспия, а также эрозионно-аккумулятивной деятельности древней Волги, существовавшей уже на рубеже неогена и четвертичного периода.

В период плейстоцена трансгрессивные эпохи (бакинская, хазарская и хвалынская) по времени значительно превосходили периоды регрессий, при этом изменения в уровне Каспия достигали весьма значительных (до 70-100 м) амплитуд в относительно короткое (10-100 тыс. лет) геологическое время [1].

Особенности четвертичных отложений, а так же геологическое строение территории и инженерно-геологические свойства грунтов были изучены по материалам инженерно-геологических и гидрогеологических съемок масштабов от 1: 200 000 до 1:10 000. В рамках данной статьи дадим краткую инженерно-геологическую характеристику отложений плейстоцена в пределах Астраханского Прикаспия.

В период плейстоцена на исследованной территории сформировался мощный комплекс осадочных отложений, представленный различными по фациальному и литологическому составу породами, относящимися к классу дисперсных грунтов (глинистые, лёссовые и песчаные породы).

В основании плейстоцена, на кровле апшерона залегают бакинские отложения, представленные глинами, мощностью до 85 м. Глины плотные, преимущественно монтмориллонит-гидролюдистого состава, серые, с включениями карбоната кальция. Отложения хазарской трансгрессии (mPhz) в низовьях Волги образуют относительно однородные литологические слои значительной мощности - песков и перекрывающих глин.

Осадки нижнехазарского возраста залегают на размытой кровле бакинских отложений. Они представлены в основном морскими образованиями песчаной мелководной фации. Выше залегают глинистая пачка отложений. К северу глинистые отложения постепенно замещаются песками. Пески кварцево-полевошпатовые, от светло - до темно-серых, пылеватые, мелко и среднезернистые, мощностью в - от 5 до 45 м. Глины темно-серые, плотные, слабо опесчаненные, слоистые, с линзами песка до 1.5 м.

Верхнехазарские отложения обнажаются в основании размываемых берегов рек Волги и Ахтубы и в отдельных дефляционных котловинах. Представлены верхнехазарские отложения морскими, аллювиально-морскими, аллювиальными фациями. В низовьях р. Волги распространены в основном глины, а к северу преобладают песчаные и супесчаные отложения. Глины коричневатые-серые, слюдяные, с прослоями гипса, ожелезненные. Пески серые, зеленоватые-серые, кварцево-глауконитовые, мелкие и пылеватые, мощностью до 20.0 – 25.0 м.

Завершающей хазарский этап развития Каспия, характеризуют субаэральные отложения регрессивной эпохи, представленные «ательскими» от-

ложениями (сIIIat), облессованными суглинками серыми, буровато-коричневыми, ожелезненными, с друзами мелкокристаллического гипса, мощностью от 2.0-2.5 м, в зонах ограниченного распространения и до 15.0 – 20.0 м, в зоне сплошного распространения, севернее с. Новониколаевка [2].

Работы В. Н. Синякова, А.В. Минервина подтверждают, формирование ательских лёссовых пород в суровых перигляциальных условиях калининской стадии валдайского оледенения Русской плиты [3].

Лёссовые суглинки «ательского» возраста являются просадочными. Просадочность проявляется в основном до глубины 8.0-11.0 м. На повышенных участках рельефа, максимальная величина просадки от собственного веса может достигать до 10.0-14.0 см. Однако, с глубиной, просадочность уменьшается, а влажность и объемная масса увеличиваются. Глины, супеси и пески образуют линзовидные прослои, мощностью до 1.5 -1.8 м и имеют подчиненное значение. В составе хвалынского горизонта (mIIIhv) выделены ниже - и верхнехвалынские слои. Нижнехвалынские слои с размывом залегают на ательских и верхнехазарских отложениях. Подразделяются они на два горизонта. Нижний горизонт представлен, в основном, песками, реже глинами и суглинками. Пески кварцевые, мелкие и пылеватые, буровато-желтые. Выше по разрезу песчаные отложения замещаются шоколадными глинами. Накопление глин происходило в слабощелочной среде, что обусловило темно-коричневый цвет, за счет значительного объема примесей окислов железа. Глины при высыхании расслаиваются на отдельные пластины. Глины твердые, плотные, малосжимаемые, с содержанием растворимых солей. Террасы верхнехвалынской трансгрессии представлены преимущественно прибрежными образованиями - песками, реже суглинками и линзами глин мощностью до 2.0-3.0 м.

Голоценовый аллювий (aIV) имеет практически повсеместное распространение в Волго-Ахтубинской пойме и дельте р. Волги. Максимальная мощность может достигать до 60.0 м, приурочена к приустьевым углублениям и древним руслам размыва, но чаще мощность аллювия изменяется от 20.0 м, в районе Черного Яра до 10.0 -15.0 м в дельте Волги. Основные представители аллювиальных отложений – пески различного гранулометрического состава и плотности с линзами старинных отложений, представленных заиленными грунтами глинистого состава. Наиболее распространенным типом аллювия, является русловой и пойменный. Мощность руслового аллювия колеблется от 0.2-0.7 до 6.0-8.0 м и более. Выходы русловых отложений на дневную поверхность наблюдаются в пределах русел рек Волги, Ахтубы и ряда других крупных протоков в виде кос, отмелей, осередков. Линзы старичной фации обычно вытянуты в виде длинных (до 3 км) узких полос прямой, извилистой или дугообразной формы [4].

Мангышлакская регрессия оставила свой след в дельте р. Волги и территории подстепных ильменей, бугры Бэра представлены супесчаными, суглинстыми грунтами (grIIIhv) различной мощности (от 0.1 до 18.0 м). Суглинки и супеси относятся к категории просадочных и быстроразмокаемых грунтов. Отложения новокаспийской трансгрессии имеют локальное распространение и

прослеживаются в основании бугров подстепных ильменей в виде низких террас на отметках от минус 22.0 м абс. до минус 22.5 м абс. Эоловые образования, возникшие в результате аритизации климата в период предшествующей регрессии продолжают свое формирование до настоящего времени. Наибольшее распространение они имеют севернее дельты и подстепных ильменей до г. Харабали. Эоловые отложения представлены рыхлыми пылеватыми песками и супесями.

Таблица 1

Физические свойства глинистых грунтов основных типов отложений

Наименование грунта	Физические свойства					Число опр-ний
	w, д.ед.	ρ , г/см ³	ρ_d , г/см ³	e, д.ед.	I_p	
Лессовые супеси m III hv	5*(0.02)	1.59(0.09)	1.51(0.07)	0.77(0.08)	-2.0(2.6)	851
Лессовые суглинки m III hv	9 (0.04)	1.68(0.12)	1.54(0.09)	0.72(0.11)	-0.58(0.36)	171
Лессовые суглинки и супеси с III at	10 (0.03)	1.74(0.12)	1.58(0.08)	0.72(0.10)	-0.45(0.39)	214
Лессовые супеси pr III hv	6 (0.03)	1.63(0.16)	1.53(0.14)	0.76(0.08)	-2.04(1.48)	723
Лессовые суглинки pr III hv	12 (0.05)	1.71(0.16)	1.53(0.10)	0.77(0.12)	-0.33(0.44)	157
Глина m III hv	22 (0.06)	1.86(0.10)	1.52(0.09)	0.81(0.11)	-0.05(0.24)	195
Глина mIIIhz	25 (0.06)	1.90(0.08)	1.52(0.09)	0.80(0.11)	0(0.27)	812
Супеси aIV	9**(0.06)	1.62(0.20)	1.49	0.80	-1.8	212
	24***(-)	1.82 (-)	1.49	0.80	1.2	92
Суглинки aIV	15 (0.08)	1.72(0.18)	1.50	0.81	-0.25	106
	26 (0.06)	1.89(0.14)	1.50	0.81	0.67	846
Глина aIV	22 (0.07)	1.77(0.16)	1.45	0.89	-0.09	195
	29 (0.07)	1.88(0.14)	1.45	0.89	0.05	554

Примечание: * в числителе - нормативные значения, в скобках – среднеквадратичное отклонение; показатели свойств грунтов: **в зоне аэрации, *** в водонасыщенном состоянии; w – природная влажность, ρ – плотность, ρ_d – плотность скелета грунта, ρ_s – плотность частиц грунта, e – коэффициент пористости, I_p – число пластичности.

В результате изучения геологического строения и исследования инженерно-геологических свойств были получены и рассчитаны численные значения нормативных показателей свойств грунтов отличные от приводимых и рекомендуемых в строительных нормах и правилах.

В настоящей работе приведены основные показатели нормативных показателей физических свойств глинистых грунтов (табл. 1).

Основные показатели нормативных показателей физических свойств грунтов, а так же региональная таблица значений показателей сопротивления сдвигу связных грунтов были разработаны на основе многофакторного корреляционного регрессионного анализа.

Таким образом, изучение особенностей четвертичных отложений Астраханского Прикаспия, их инженерно-геологических свойств, позволил автору прийти к выводу о подтверждении тезиса, выдвинутого В.Н. Синяковым, о возможности неприменимости для глинистых пород Прикаспия таблиц нормативных характеристик грунтов [5].

Разработанные таблицы позволят наиболее точно проводить оценку инженерно-геологических условий, при прогнозе техногенных воздействий на природную среду и при выборе оптимальных вариантов для строительства и размещения объектов нефтегазовой инфраструктуры.

Список использованных источников

1. А.А. Свиточ. Колебания уровня Каспийского моря в плейстоцене: монография «Каспийское море. Палеогеография и геоморфология Каспийского региона плейстоцене». - М.: Изд-во Наука, 1991. - 156 с.
2. Ю.М. Васильев, Н.В. Ренгартен. Состав и условия образования плейстоценовых отложений Нижней Волги // Стратиграфия и палеогеография антропогена. - М.: Изд-во Наука, 1982.- С. 54-75.
3. А.В. Минервин, В.Н. Синяков, Н.Н. Комиссарова. Генезис просадочности лёссовых пород ательского горизонта // Проблемы лёссовых пород в сейсм. р-нах. - Ташкент : Изд-во Фан, 1980. - С. 109-110.
4. Ж.В. Калашник, В.В. Кудинов. Закономерности распределения физико-механических свойств современных аллювиальных отложений Волго-Ахтубинской поймы (статья) // «Юг России: экология, развитие» – №2. – Москва: 2011. – С. 92 – 97.
5. В.Н. Синяков Региональные таблицы нормативных и расчётных характеристик основных типов грунтов территории Волгоградской агломерации / Инж.-строит. изыскания : сб. ст. - М.: Стройиздат, 1975. №4. С. 71-79.

**ПОСТРОЕНИЕ 3D-МОДЕЛИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ
ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ**

Коннов Д.А.

Астраханский государственный технический университет, gog@astu.org

Аннотация: В данной статье рассмотрен процесс создания 3д-модели механических свойств. Представлены результаты генетической инверсии на основании скважинных данных совместно с данными сейсмической разведки. Сделана классификация на основании сейсмических атрибутов совместно с результатами генетической инверсии методом нейронных сетей.

Ключевые слова: нейронные сети, атрибуты, 3д-модель, сейсморазведка.

***CONSTRUCTION OF A 3D MODEL OF MECHANICAL PROPERTIES
USING HIGH PERFORMANCE CALCULATIONS USING TECHNOLOGIES
OF NEURAL NETWORKS ON THE TERRITORY
OF THE NORTHERN CASPIAN***

Konnov D.A.

Astrakhan State Technical University, gog@astu.org

Abstract: This article describes the process of creating a 3D-model of mechanical properties. The results of genetic inversion based on well data together with seismic data are presented. The classification was made on the basis of seismic attributes together with the results of genetic inversion using the neural network method.

Keywords: Neural networks, attributes, 3D-model, seismic exploration.

В настоящее время новые поиски углеводородного сырья, как правило, сосредоточены в породах, имеющих сложное строение и невысокую проницаемость, или же залегают на довольно больших глубинах, или в глубоководных районах. Поиски углеводородов в сложнопостроенных коллекторах и труднодоступных условиях, а также дальнейшая их разработка требует более совершенных и инновационных подходов. В связи с этим использование геомеханического моделирования таких месторождений все больше входит в практику геофизических работ.

Геомеханические факторы проявляют себя на всех стадиях разработки резервуара. Вследствие этого возникает необходимость их оценки и управления ими, начиная с прогноза рисков бурения в первой скважине месторождения и кончая максимизацией объема добычи из хорошо разработанных резервуаров. Геомеханические модели используются при планировании бурения скважин с целью прогноза возможных осложнений при бурении, включающих флюидопроявления, гидроразрывы, поглощения, прихваты и т.п. Стабильность ствола скважины и анализ порового давления определяют ограничения на вес бурово-

го раствора, необходимого для безопасного бурения, что значительно снижает стоимость бурения вследствие обеспечения его безопасности.[1]

Для создания надежной и практически применимой геомеханической модели требуются и надежные входные данные. Для построения любой геомеханической модели требуются следующие входные параметры:

- механическая модель породы;
- региональное напряженное состояние (in-situ stress);
- направление максимального горизонтального напряжения;
- поровое давление.[2]

Механическая модель породы включает статические модули упругости и прочностные параметры. Но создание детализированной и практически применимой механической модели породы является непростой задачей. Наиболее надежные данные можно получить из лабораторных испытаний керна при условиях, моделирующих пластовые, в которых одновременно измеряются напряжения, деформации, прочностные параметры и скорости упругих волн, совместно с данными 3д сейсморазведки.

Другим путем является использование данных акустического каротажа и эмпирических зависимостей, позволяющих связать измеренные скорости, а также плотность и пористость с требуемыми параметрами механической модели. Однако даже несмотря на высокие коэффициенты корреляций, полученные при построении таких зависимостей, эти связи использовать в общем случае довольно опасно. Причина этого заключается в том, что эти связи получены для конкретных пород конкретного региона, залегающих на определенных глубинах и имеющих определенную микроструктуру. Вследствие этого эмпирические зависимости могут быть абсолютно неприменимы для пород разрабатываемого месторождения. Упругие константы (модули упругости) могут быть также оценены по результатам дипольного акустического каротажа. Однако полученные таким образом модули являются динамическими и, как показывает эксперимент, могут значительно (до двух раз) отличаться от требуемых статических модулей.

В настоящей работе для определения геомеханических параметров предлагается подход, основанный на создании параметрической математической модели упругих свойств пород, слагающих месторождение.

Расчеты механических свойств проводились на примере Сарматской площади, территориально приуроченной к Северокаспийскому региону.

Для построения куба акустической жесткости применялась технология генетической инверсии, реализованная в программном комплексе Petrel 2018.

Данная технология разработана д.т.н. И.И. Приезжевым. Этот алгоритм относится к экспресс-методам оценки упругих свойств. Данная технология оценивает упругие свойства с помощью построения нелинейного оператора, связывающего сейсмические данные с измерениями на скважине. Алгоритм основан на работе искусственных нейронных сетей и подразумевает наличие корреляционной связи между волновым полем и скважинной информацией, в свою очередь это требует качественной привязки сейсмического куба и скважин.

Особенностью генетической инверсии является то, что здесь не используется сейсмический импульс, нейронная сеть подбирает такого оператора, который наилучшим образом описывает связь между несколькими сейсмическими трассами в области скважины и каротажной кривой. Некоторым образом генетическую инверсию можно отнести к атрибувному анализу, но, в отличие от классического атрибутивного анализа, здесь используется не одно значение осреднённого пластового параметра для каждой скважины, а несколько дискретов (Рис. 1). Тем самым увеличивается анализируемая выборка и повышается достоверность результата.

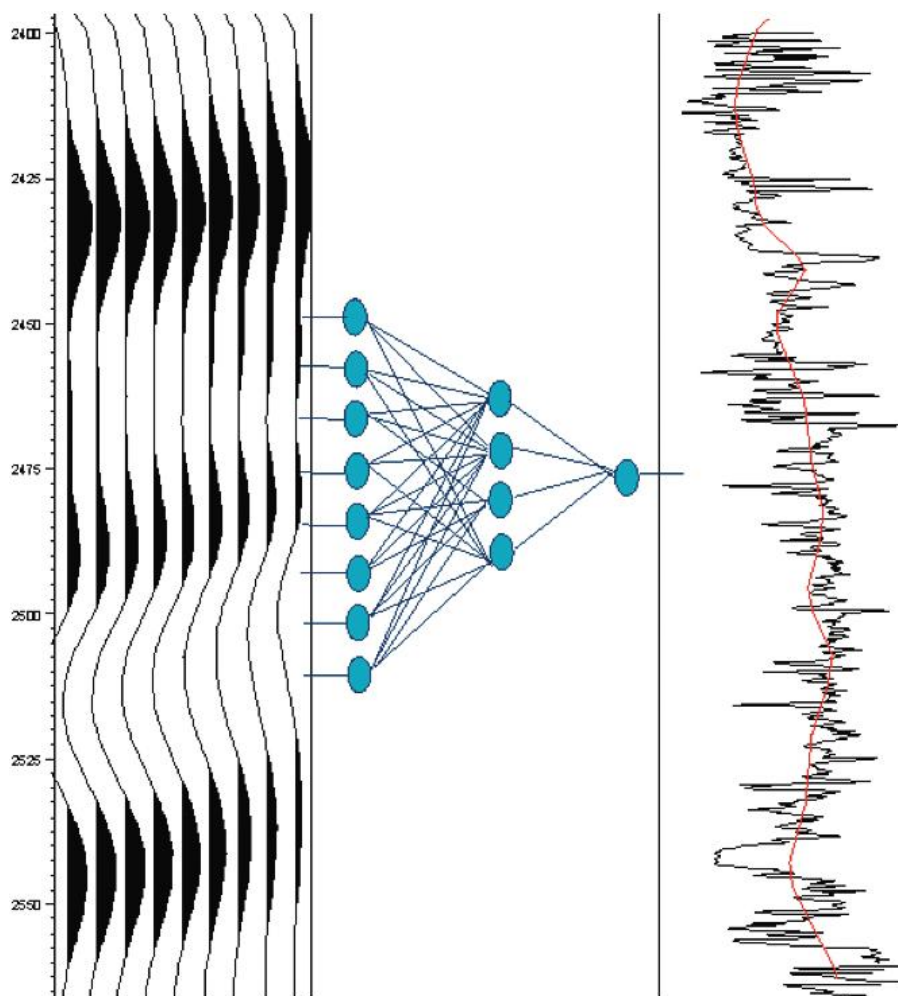


Рисунок 1 – Принципиальная схема алгоритма генетической инверсии

Искусственная нейронная сеть относится к методам распознавания образов. Своё название алгоритм получил, потому что имитирует поведение биологических нейронов в нервной системе человека.

Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между данными и итерационным изменением весов.

В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Нейронная сеть обучается на известных данных – сейсмических трассах в об-

ласти скважины и каротаже, связанном с упругими свойствами (акустический импеданс, плотность, скорость и т.п.).

Полученная нелинейная зависимость применяется к сейсмическим данным в межскважинной области для восстановления упругого свойства по всему объёму сейсмического куба [3].

Для расчетов куба сейсмической жесткости применялись следующие скважинные данные: 1) 3д сейсмический куб; 2) каротажные диаграммы ГТК-п; 3) каротажные диаграммы АК (для продольных и поперечных волн); 4) интерпретация сейсмических данных в виде сейсмических горизонтов;

В результате исследований был получен куб акустической жесткости (рис. 2). Коэффициент корреляции при этом составил порядка 0.75, что говорит о достаточно уверенной корреляционной зависимости между данными сеймики, и акустической жесткостью, рассчитанной по скважинным данным.

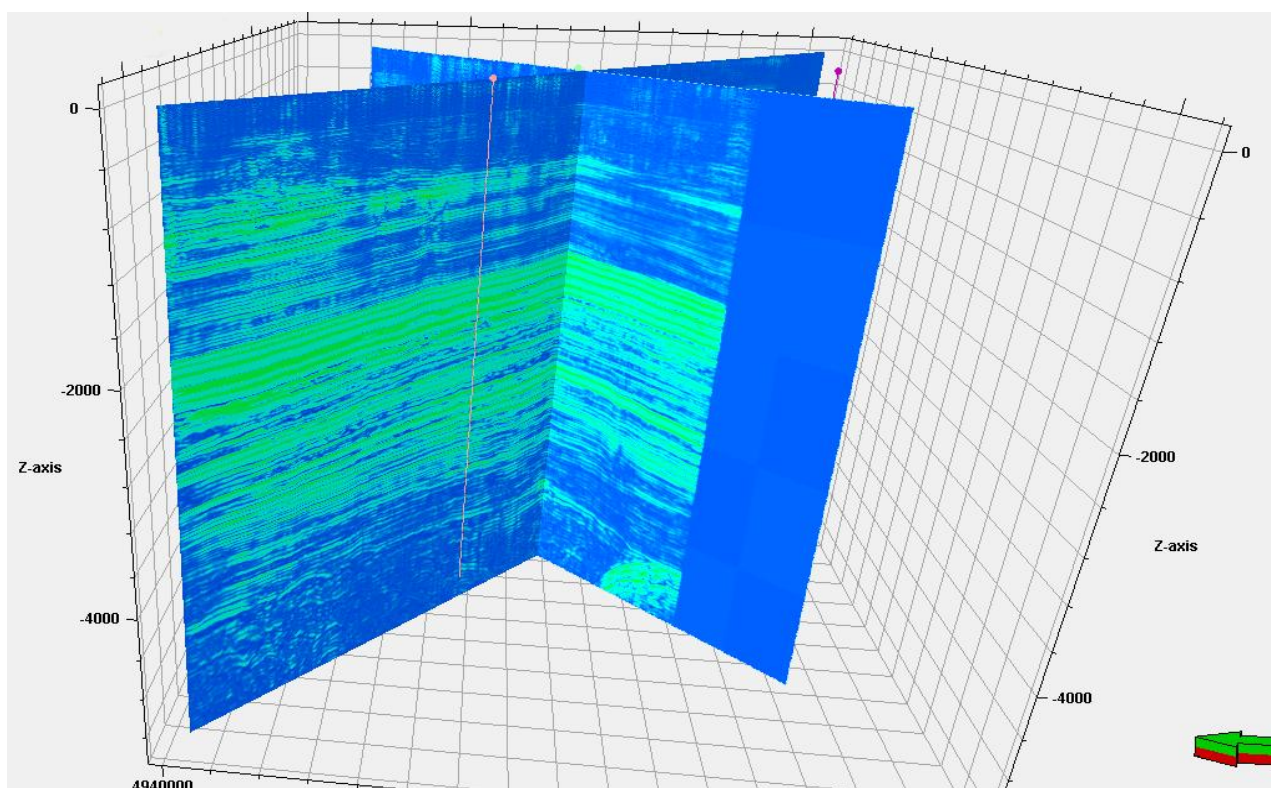


Рисунок 2 – 3д-куб параметра акустической жесткости

После этого были рассчитаны следующие сейсмические атрибуты:

1. RMS Amplitude – среднеквадратическая амплитуда характеризует относительную энергию трассы и рассчитывается в скользящем окне.
2. Variance – дисперсия. Данный атрибут отображает локальные структурные изменения в волновой картине.
3. Sum of negative amplitudes – сумма отрицательных амплитуд в окне, связан с толщиной слоя.

Данные атрибуты были рассчитаны для совместной фациальной классификации, совместно с уже рассчитанным кубом акустической жесткости.

Атрибуты помогают нам выделить зоны с изменяющимися характеристиками волнового поля, идентифицировать геологические объекты, оконтурить аномальные зоны и т.д. На сегодняшний день разработан солидный математический аппарат, предназначенный для получения дополнительной информации из сейсмических данных.

На практике часто бывает, что определённый сейсмический атрибут может дать блестящие результаты для одного месторождения и не дать положительного результата на соседнем месторождении. Поэтому перед интерпретатором встаёт довольно субъективная задача выбора информативных для конкретного месторождения сейсмических атрибутов.

Здесь может быть полезным инструмент нейронных сетей, который позволяет проанализировать данные, восполнить недостающие данные, найти неявные связи между различными типами данных и расклассифицировать территорию на однородные области.

При помощи нейронных сетей, на основании вышеназванных атрибутов была проведена классификация всего геологического поля. Количество классов было принято равным шести, так как увеличение данного параметра может затруднить геологическую интерпретацию полученных результатов. Пример данной квалификации приведен на рис. 3.

Коэффициент корреляции между сейсмическими атрибутами и акустической жесткостью, а так же между собой превышал 0.77. Что позволяет говорить

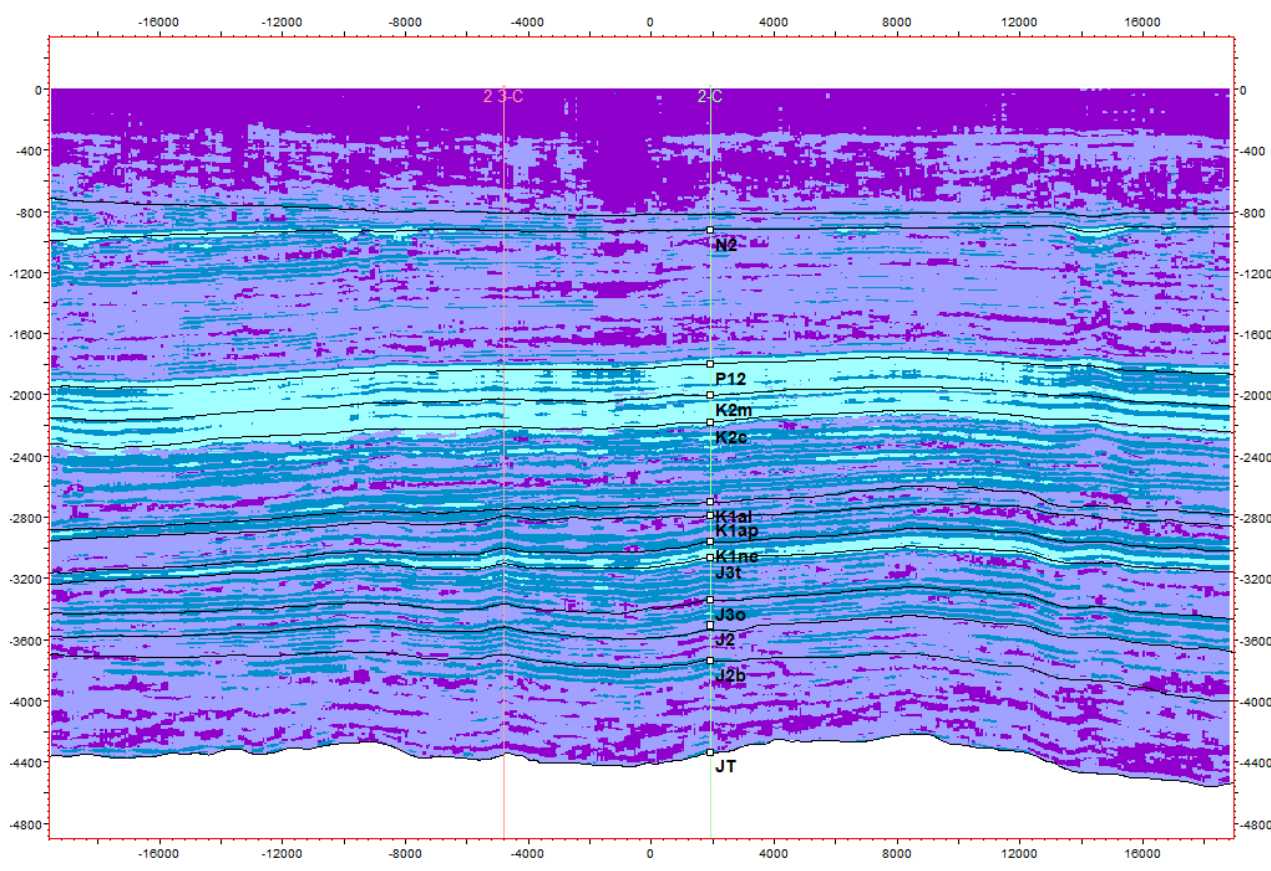


Рисунок 3 – Совместная классификация геологического разреза по нескольким атрибутам

об уверенной статистической связи между параметрами и применять эти данные для дальнейшей обработки при построении как фациальной модели, так и геомеханической.

Список использованных источников

1. Шермергор Т.Д. Теория упругости микroneоднородных сред. Москва. Наука. 1977. 400 с
2. Меркулов В.П. Оценка пластовых свойств и оперативный анализ каротажных диаграмм / В.П. Меркулов, А.А. Посысов. – Томск: Томский политехнический университет, 2006. – 176 с.
3. Кирилов А.С., Закревский К.Е. Практикум по сейсмической интерпретации в RE-TREL. М.: Издательство МАИ-ПРИНТ, 2014. - 288 с.

ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЪЕКТОВ В НЕОГЕН-ЧЕТВЕРТИЧНОМ КОМПЛЕКСЕ ОТЛОЖЕНИЙ АСТРАХАНСКОГО ПРИКАСПИЯ

Кудинов В. В., Гольчикова Н. Н.

*Астраханский государственный технический университет (АГТУ), г. Астрахань
golchikov_nn@mail.ru*

Аннотация: В работе рассмотрены вопросы посвященные газоносности неоген-четвертичного комплекса отложений Астраханского Прикаспия. Подготовлен комплекс геолого-геофизических исследований необходимый для выявления ловушек углеводородов, приуроченных к неоген-четвертичным отложениям Астраханского Прикаспия.

Ключевые слова: неоген-четвертичные отложения; Астраханский Прикаспий; газоносность; геологоразведочные работы.

IDENTIFICATION OF PROMISING OIL AND GAS OBJECTS IN THE NEOGENE-QUATERNARY COMPLEX OF ASTRAKHAN CASPIAN REGION SEDIMENTS

Kudinov V. V., Golchikova N. N.

*Astrakhan State Technical University (ASTU), Astrakhan
golchikov_nn@mail.ru*

Abstract: *The scientific works deals with issues related to the gas content of the Neogene-Quaternary sediment complex of Astrakhan Caspian Region. The prepared complex of geological and geophysical researches is necessary for the identification of hydrocarbons trap to the Neogene-Quaternary applications of the Astrakhan Caspian Region.*

Keywords: *Neogene-Quaternary sediments; Astrakhan Caspian Region; gas content; exploration work.*

Территория Астраханского Прикаспия со второй половины XX века является местом активного проведения геологоразведочных работ на углеводороды и освоения залежей нефти и газа. Основные перспективы нефтегазоносности региона связаны с палеозойскими отложениями, прежде всего, с девон-каменноугольными нефтегазоносными комплексами. В пределах данного комплекса отложений, на текущий момент уже открыт ряд крупных и уникальных залежей УВ с общими запасами более 9 млрд. тонн условного топлива.

Однако, несмотря на большие перспективы палеозойских нефтегазоносных комплексов, имеется ряд весьма существенных проблем, ограничивающих их освоение. Во-первых, большая глубина залегания кровли продуктивных горизонтов (3900 – 4800 м кровля верхневизейско-нижебашкирского нефтегазоносного комплекса), во-вторых, резкая изменчивость фильтрационно-емкостных свойств карбонатных коллекторов, в-третьих, наличие в ряде зале-

жей высокого содержания сероводорода. Вышеприведенные особенности строения природных резервуаров нефти и газа приуроченных к палеозойским отложениям, приводят к резкому увеличению временных рамок от начала поисково-оценочных работ до промышленной эксплуатации залежи, существенному возрастанию стоимости проведения геологоразведочных работ и ввода залежи в промышленную разработку, активизации негативных техногенных процессов в геологической среде. Таким образом, освоение нефтегазоперспективных объектов, приуроченных к палеозойским отложениям Астраханского Прикаспия, может осуществляться исключительно крупными нефтегазовыми компаниями, обладающими потенциалом высвобождения больших финансовых, материально-технических и кадровых ресурсов, и возможностью функционировать в режиме реализации проектов с горизонтом окупаемости больше 7-10 лет.

Помимо палеозойских нефтегазоносных комплексов, значительными перспективами для поиска промышленных залежей углеводородов в пределах Астраханского Прикаспия, являются мезокайнозойские отложения.

К настоящему времени, в результате комплекса геологоразведочных работ открыто несколько мелких и средних по размерам запасов нефтяных и газовых месторождений: Бугринское, Шаджинское, Северо-Шаджинское, Пустынное, Совхозное Чапаевское, Верблюжье, Северо-Верблюжье, Юртовское и др. В большинстве случаев, данные залежи представляют собой структуры полного контура расположенными над сводами соляных диапиров, либо структуры примыкания к их склонам. Данные структурные ловушки осложнены большим количеством разноамплитудных тектонических нарушений, разбивающих их на многочисленные блоки, часть из которых может характеризоваться полным отсутствием углеводородов.

Глубина залегания кровли продуктивных отложений в залежах углеводородов приуроченных к мезокайнозойскому комплексу отложений варьирует от 600 – 700 до 3000 – 3500 метров. Учитывая их относительно небольшие размеры, сложное мелкоблоковое строение, низкий коэффициент успешности поиска (1:10), высокие затраты на проведение геологоразведочных работ, рентабельность освоения данных нефтегазоперспективных объектов весьма неопределенна.

Третья нефтегазоносная толща Астраханского Прикаспия приурочена к неоген-четвертичному комплексу отложений, и ассоциируется с песчано-алевритовыми коллекторами акчагыльского, апшеронского и бакинского регионов.

Газоперспективность неоген-четвертичного комплекса отложений была подтверждена ещё в 50-х годах XX века в период начала активных региональных и поисково-оценочных работ в пределах территории Астраханского Прикаспия [1]. Кроме того, большое количество газоперспективных объектов было выявлено на сопредельной территории западного Казахстана.

Наличие мелких по запасам залежей газа в неоген-четвертичных отложениях исследуемой территории неоднократно подтверждалось аварийными выбросами при бурении скважин различного назначения. Кроме того, в 70-х годах

было открыто и даже введено в опытно-промышленную эксплуатацию Кирикилинское газовое месторождение, приуроченное к апшеронским отложениям, с глубиной залегания кровли продуктивного пласта 206 – 212 метров. Коллектор представлен песчано-алевритовыми отложениями, пластовый флюид на 99,5% состоит из метана. Общий объем запасов многопластовой залежи составлял около 2 млрд.м³.

На территории западного Казахстана, также было опосредованно обнаружено несколько газовых залежей приуроченных к сводам соляных куполов. Данные залежи характеризовались дебитами газа от 2 до 25 тыс.м³ газа, приуроченностью к комплексам отложений апшеронского и бакинского ярусов, глубинам залегания продуктивных пластов от 25 до 500 метров. Залежи как правило многопластовые, с эффективной толщиной пластов от 1 до 10 метров. При этом запасы таких месторождений варьируют от 100 млн.м³ до 3 млрд.м³ (Аукетайчагыльское месторождение, месторождение Порт-Артур). В составе газа преобладает метан, более 90%.

Все обнаруженные залежи газа и газоперспективные объекты приурочены к сводам соляных куполов. Учитывая, что в пределах территории Астраханского Прикаспия выявлено более 100 соляных куполов, вероятность обнаружения газовых залежей весьма высокая [3]. Кроме того, при проведении структурного, поисково-оценочного, разведочного бурения при прохождении неоген-четвертичных отложений были получены газовые (газоводяные) выбросы и вне сводов соляных диапиров, что свидетельствует о наличии литологически ограниченных ловушек газа. Глубина залегания кровли перспективных бакинских, апшеронских и акчагыльских отложений составляет от 80-100 до 300-500 метров. Коллектор представлен слабосцементированными песчано-алевритовыми отложениями различной фациальной принадлежности, с пористостью до 20-25 %.

Основное преимущество вовлечения неоген-четвертичных отложений в поисково-оценочные работы является их высокая изученность как сейсмическими методами, так и бурением различного типа при незначительной глубине залегания. Соответственно материально-технические и финансовые затраты на постановку поисково-оценочных работ в их пределах на несколько порядков ниже, чем постановка аналогичных работ в пределах мезозойских и, тем более палеозойских нефтегазоносных комплексов.

Учитывая высокую степень геолого-геофизической изученности неоген-четвертичных отложений в пределах территории Астраханского Прикаспия вероятность выявления газоперспективных объектов можно многократно повысить путем комплексной переинтерпретации архивных геолого-геофизических материалов накопленных с 50-х годов прошлого века. При этом наиболее эффективной методикой проведения работ, направленных на выявление газоперспективных объектов в неоген-четвертичных отложениях, представляется нижеследующий комплекс геолого-геофизических исследований.

Во-первых, переобработка и переинтерпретация имеющихся сейсмических материалов с целью выявления структурных объектов над сводами соля-

ных куполов и отражающих сейсмических горизонтов в толще неоген-четвертичных отложений. В частности, в результате проведения подобных работ в северо-восточной части Астраханской области были достаточно успешно прокоррелированы следующие сейсмические горизонты в толще неоген-четвертичных отложений: N_{2ak2} (сейсмический горизонт в кровле акчагыльских отложений, соответствующий кровле глинистых отложений), Q_{eIap1} (сейсмический горизонт, предположительно соответствующий кровле отложений нижне-апшеронского яруса), Q_{eIap2} (сейсмический горизонт, предположительно соответствующий кровле отложений апшеронского яруса), Q_{Ibk} (сейсмический горизонт, предположительно соответствующий кровле бакинских отложений).

Во-вторых, палеореконструкция этапов роста соляных диапиров с целью оценки возможности формирования и сохранения ловушек в их сводах. Палеотектонические реконструкции этапов развития соляных куполов проведенные в пределах территории Астраханского свода показывают, что соляные диапиры на протяжении истории геологического развития неоднократно испытывают период интенсивного роста, и возможность формирования ловушки над их сводами, её заполнение и последующая консервация будет зависеть от периодов активности конкретного соляного купола.

В-третьих, литофациальные исследования по данным геофизических исследований скважин, пробуренных в пределах территории Астраханского Прикаспия в разное время (с 50-х годов XX века). Данные исследования позволят вовлечь в поисково-оценочный процесс неструктурные литологически ограниченные ловушки. С учётом высокой плотности структурного, поискового и разведочного бурения проведенного в 50-х – 80-х годах XX века, особенно на территории приуроченной к центральной части Астраханского свода, наиболее целесообразным представляется использование методики построения электрометрических моделей фаций [2] на основании данных электрического каротажа. В частности, проведение подобных исследований в пределах Тинакско-Кирикилинской площади позволили выявить несколько неструктурных газоперспективных объектов, приуроченных к аллювиально-дельтовым песчано-алевритовым отложениям [4].

Вышеприведенный комплекс работ не требует больших финансовых затрат и основан на детальном изучении и анализе уже имеющихся геолого-геофизических материалов. При его реализации возможно выявить наиболее перспективные объекты в пределах неоген-четвертичного комплекса отложений Астраханского Прикаспия, дальнейшее опосредованное опосредование которых потребует относительно небольшого объема полевых геологоразведочных работ. Таким образом, несмотря на относительно небольшие ресурсы УВ газоперспективных объектов приуроченных к неоген-четвертичному комплексу отложений, вовлечение их в поисковый процесс может быть весьма рентабельным, что связано с небольшими глубинами их залегания, малыми материально-техническими и финансовыми затратами на подготовку их к постановке поисково-оценочного бурения и незначительной стоимостью строительства скважин. Кроме того, в настоящее время имеются технологии переработки добытого газа непосред-

венно на промысле, а учитывая развитую инфраструктуру в пределах территории Астраханского Прикаспия, логистические издержки будут минимальными.

В итоге, постановка поисково-оценочных работ в пределах неоген-четвертичного комплекса отложений Астраханского Прикаспия может быть вполне доступна небольшим нефтегазовым компаниям.

Список использованных источников

1. Брюханов В.Н. О перспективах газоносности верхнеплиоценовых отложений Северного Прикаспия // Геология нефти и газа. - №5. - 1960. - С.14 - 20.
2. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел - литологических ловушек нефти и газа. - Ленинград: Недра, 1984. - 260 с.
3. Пыхалов В.В., Кудинов В.В., Гольчикова Н.Н. Четвертичный газоносный комплекс Астраханского Прикаспия // Известия ТулГУ. - Науки о Земле. - вып. 2. - 2016. - С. 39-44.
4. Кудинов В.В., Ксендик-Баклажова А.А., Кустова А.В. Фациальный анализ электрометрических данных при постановке поисково-оценочных работ на углеводороды в пределах апшеронских отложений Астраханского Прикаспия // VII Международная научно-практическая конференция: «Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа». - Астрахань: изд-во АГТУ, 2017. - с. 25 - 27.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАДИЦИОННОГО
НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ
ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЯЕМОГО БУРЕНИЯ**

Курячий А.Е., Калягин С.М.

Астраханский государственный технический университет (АГТУ), г. Астрахань,
kuryachiy.aleksandr@mail.ru, kalyagin-sergey@lenta.ru

Аннотация: Применение системы импульсного управляемого бурения в настоящее время довольно актуально, так как достойной альтернативы использования роторно-управляемой системы в наклонно-направленных скважинах с большим отходом от вертикали и с протяжёнными горизонтальными стволами нет.

Выполнение траектории ствола скважины с использованием винтового забойного двигателя с регулируемым углом перекоса возможно в скважинах с небольшим отходом от вертикали и при бурении горизонтальных стволов до 500 метров.

При бурении более сложных проектных профилей наклонно-направленных скважин с горизонтальными стволами буровые компании сталкиваются с проблемой доведения необходимой и плавной нагрузки на долото в режиме слайдирования. Это связано с возникновением эффекта баклинга, так как преодолеть силу трения при нахождении бурового инструмента в покое значительно сложнее, чем когда он вращается.

Система импульсного управляемого бурения позволяет производить корректировку траектории ствола скважины при бурении в роторном режиме с использованием винтового забойного двигателя с регулируемым углом перекоса.

Данная система служит как альтернатива использования роторно-управляемой системы со значительным экономическим преимуществом. Её включение в традиционную компоновку низа бурильной колонны для направленного бурения позволит повысить эффективность бурения более сложных проектных профилей скважин с применением винтовых забойных двигателей.

Ключевые слова: система импульсного управляемого бурения, роторно-управляемая система, эффект баклинга, слайдирование, традиционная компоновка низа бурильной колонны, корректировка траектории.

***INCREASING THE EFFICIENCY OF TRADITIONAL DIRECTIONAL
DRILLING AT THE EXPENSE OF THE USE A PULSE CONTROLLED
DRILLING SYSTEM***

Kuryachiy A.E., Kalyagin S.M.

*Astrakhan state technical university (ASTU), Astrakhan
kuryachiy.aleksandr@mail.ru, kalyagin-sergey@lenta.ru*

Abstract: *The use of a pulsed guided drilling system is currently quite relevant. Since, there is no worthy alternative to using a rotary-steerable systems in directional wells with a large departure from the vertical and with extended horizontal wellbore. The trajectory of the wellbore with the use of a screw downhole motor with an adjustable skew angle is possible in wells with a slight departure from the vertical and when drilling horizontal well-bore up to 500 meters. When drilling*

more complex project profiles of directional wells with horizontal bore, drilling companies face significant problems associated with bringing the required load on the bit in the slider mode, due to the emergence of the buckling effect. So how to overcome the force of friction when the drilling tool is at rest is much more difficult than when it rotates. The system of pulsed controlled drilling allows the adjustment of the trajectory of the wellbore when drilling in a rotary mode using a downhole screw motor with an adjustable skew angle.

This system serves as an alternative to the use of a rotary-steerable systems with a significant economic advantage. And its inclusion in the traditional layout of the bottom of the drill string for directional drilling will improve the efficiency of drilling more complex project profiles of wells using screw downhole motors.

Keywords: *impulse controlled drilling system, rotary-steerable systems, buckling effect, slide, traditional layout of the bottom of the drill string, trajectory correction.*

В настоящее время наклонно-направленное бурение скважин осуществляется в результате применения роторно-управляемой системы (РУС) и традиционного оборудования, включающего винтовой забойный двигатель с регулируемым углом перекоса (ВЗД). Каждый из способов имеет определённые преимущества.

Главным преимуществом РУС над ВЗД, является возможность направленного бурения в роторном режиме. Это позволяет снизить силу трения буровой колонны о стенки скважины за счёт её постоянного вращения. При использовании в компоновке низа буровой колонны (КНБК) роторно-управляемой системы полностью исключается направленное бурение в режиме слайдирования.

Главным преимуществом ВЗД над РУС, является его экономическая целесообразность. Ежедневная аренда ВЗД в десятки раз дешевле в сравнении с ежедневной арендой РУС. В результате сокращаются затраты на строительство скважин.

При использовании в компоновке низа буровой колонны ВЗД, процесс направленного бурения осуществляется за счёт слайдирования, когда компоновка низа буровой колонны находится без движения в стволе скважины. В этом случае, преодолеть силу трения в горизонтальных скважинах с большим отходом от вертикали значительно сложнее, чем при вращении. Возникает проблема доведения необходимой и плавной нагрузки на долота, происходят подвисания и срывы компоновки, также возрастает вероятность дифференциального прихвата в пластах склонных к поглощению промывочной жидкости. Решением данных проблем, является применение системы импульсного управляемого бурения.

Данная технология позволит повысить эффективность традиционного оборудования при бурении наклонно-направленных скважин с протяжёнными горизонтальными стволами, снизит экономические затраты [1].

В условиях бурения наклонно-направленных скважин с небольшим отходом от вертикали, а также скважин с горизонтальными стволами протяжённостью до 500 метров предпочтение для изменения параметров искривления отдаётся ВЗД. Это связано с тем, что ВЗД является более доступным с экономической точки зрения. Однако при бурении наклонно-направленной скважины со

сложным проектным профилем или скважины с горизонтальным стволом более 500 метров, использование ВЗД приведёт к ряду осложнений.

В первую очередь – это доведение необходимой и плавной нагрузки на долото из-за значительного коэффициента трения в режиме слайдирования и, как следствие, появление эффекта баклинга. Эффективность бурения значительно снижается, увеличиваются затраты времени на ориентирование, появляется необходимость в дополнительных проработках ствола скважины, проведении незапланированных спускоподъёмных операций. Поэтому для безаварийной проводки скважин со сложными проектными профилями и протяжёнными горизонтальными стволами длиной более 500 метров используют роторно-управляемую систему для возможности управлять траекторией при бурении в роторном режиме [2].

При бурении в роторном режиме разрушение горной породы происходит неравномерно, так как разбуриваемые пласты не всегда однородны и часто встречаются пропластки с более плотной породой. В результате долото и вся КНБК может отклоняться в различные стороны с внушительной пространственной интенсивностью. Исключение составляют лишь КНБК маятникового типа. Это объясняется тем, что долото движется в сторону меньшего сопротивления, в ту сторону, где легче выработать породу. Система импульсного управляемого бурения позволяет в роторном режиме выработать больше породы в той части, где необходимо, что даёт возможность управлять траекторией ствола скважин в роторном режиме при использовании ВЗД с регулируемым углом перекоса [3].

Основными целями использования импульсного управляемого бурения являются: управление траекторией во время роторного бурения, использование традиционного оборудования для наклонно-направленного бурения, сокращение времени бурения и повышение качества пробуренного ствола.

Подобная система импульсного управляемого бурения в 2010 году была разработана компанией Weatherford, которая провела успешные испытания в штатах Оклахома, Юта, Техас и Пенсильвания, где было пробурено с помощью этой системы более 45000 метров.

Система импульсного управляемого бурения использовалась в вертикальных скважинах для поддержания вертикальности, на участках стабилизации с целью удержания заданных параметров траектории и в интервалах искривления, где была получена пространственная интенсивность в $1^\circ/10$ метров [4].

В штате Оклахома была пробурена вертикальная скважина глубиной 2469 метров. Система импульсного управляемого бурения использовалась во втором рейсе в интервале 1125 – 2469 метров. Данный интервал в основном сложен песчаниками, он был пробурен за одну спуско-подъёмную операцию со средней скоростью 45 м/ч. В аналогичных разрезах КНБК с роторно управляемой системой показывает меньшую скорость проходки из-за разницы в количестве оборотов долота. Включив в КНБК систему импульсного управляемого бурения, заказчик смог добиться сокращения времени, затраченного на выставление отклонителя в нужном направлении, что позволило сократить расходы строительства скважины на \$200000.

КНБК состояла из следующих элементов (рис. 1):

1. Долото PDC 215.9 мм (длина калибрующей поверхности 152 мм);
2. Двигатель WF 675-QLE7850 (172 мм), угол перекоса 1,5°;
3. Регулируемый центратор AGS;
4. Пульсатор;
5. Телеметрия HEL (инклинометр, гамма-датчик);
6. СБТ, ТБТ, яс, ТБТ, СБТ.

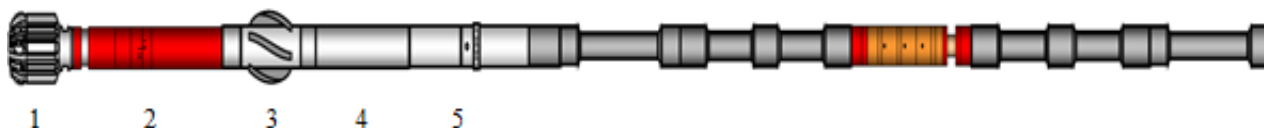


Рисунок 1 – Типовая схема КНБК

Основными преимуществами и особенностями применения системы импульсного управляемого бурения являются: автоматическое поддержание вертикали; уменьшение спиральных и осевых нагрузок, что обеспечивает возможность качественной проводки наклонно-направленного ствола; бурение участков набора угла и интервалов стабилизации за один рейс с применением одной КНБК; бурение роторным способом в осложнённых участках с поддержанием проектных параметров траектории; увеличение скорости проходки и улучшение качества ствола скважины за счёт уменьшения операций по слайдированию; уменьшения соотношения слайд/ротор до 4/96%; сокращение времени бурения; сокращение затрат по скважине [5].

В основе работы системы импульсного управляемого бурения лежит винтовой забойный двигатель с регулируемым углом перекоса, который работает по двум различным осевым линиям бурения (вращательной и ориентированной). Управляемое регулирование скорости вращения долота через двигатель способствует изменению траектории ствола скважины (рис. 2) [6].

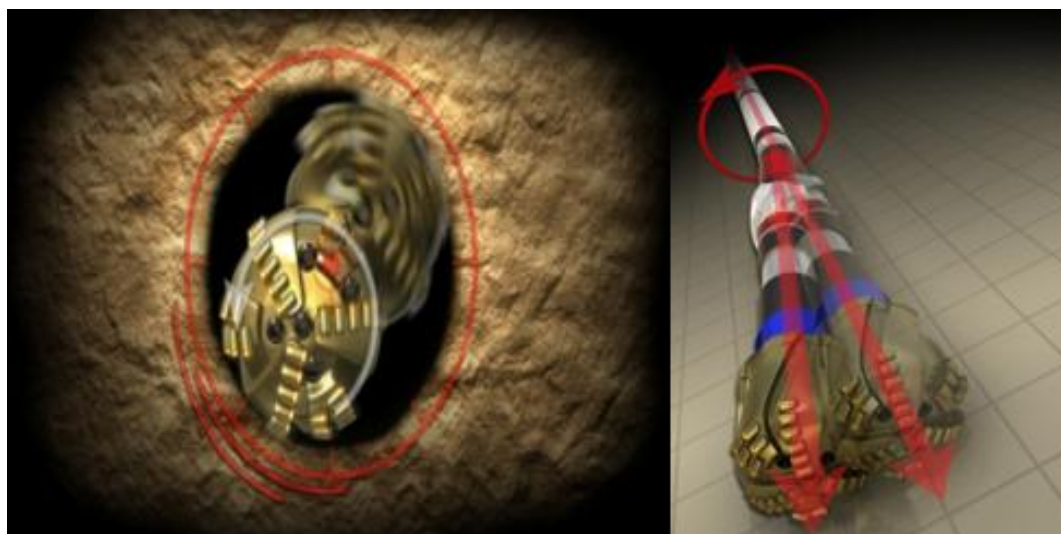


Рисунок 2 – Принцип работы винтового забойного двигателя с регулируемым углом перекоса



Рисунок 3 – Принцип действия пульсатора в открытом–закрытом состоянии

Скорость вращения долота при бурении с использованием ВЗД зависит от скорости проходящей через него промывочной жидкости. Пульсатор, установленный ниже телеметрической системы, контролирует скорость проходящего потока за счёт частичного перекрытия трубного пространства.

При закрытом пульсаторе происходит уменьшение скорости вращения долота и скорости проходки [7].

При открытом пульсаторе происходит увеличение скорости вращения долота и скорости проходки.

На эффективность технологии влияет каждый отдельный компонент – долото, гидравлический забойный двигатель, стабилизатор, инструмент MWD.

Возможно применение традиционных гидравлических забойных двигателей и инструментов MWD с надёжностью, подтверждённой испытаниями, при полном трёхмерном управлении направленным бурением. При необходимости можно остановить бурение и сориентировать компоновку для получения более высокой интенсивности набора угла, используя метод традиционного наклонно-направленного бурения [8].-

Существует два способа перепрограммирования пульсатора.

Путём отправки команды для изменения скорости вращения ротора и с помощью применения системы Down Link Commander с разницей изменения давления.

Если в процессе бурения ротором в динамике обнаруживается отклонение от траектории, на пульсатор отправляется команда с помощью разницы оборотов ротора, либо разницы давления для работы в нужном направлении. После чего, пульсатор начинает открываться в нужном секторе, увеличивая скорость проходящего через него потока промывочной жидкости тем самым увеличивая скорость вращения вала ВЗД, и закрываться, снижая скорость вращения в противоположной стороне [13].

Таким образом, применение данной технологии позволит повысить эффективность использования традиционного оборудования, включающего ВЗД для бурения наклонно-направленных скважин со сложными проектными профилями и протяжёнными горизонтальными стволами более 500 метров за счёт возможности управлять траекторией в роторном режиме.

Система импульсного управляемого бурения разрабатывается для альтернативы роторно-управляемой системы, так как её использование позволит значительно сократить расходы на строительство скважин со сложными геологическими условиями бурения.

Список использованных источников

1. Джалмуханова Р. И., Курячий А. Е. Применение современных технологических средств, для снижения коэффициента трения бурильной колонны при строительстве наклонно-направленных и горизонтальных стволов скважин в ООО «ЛУКОЙЛ-НИЖНЕВОЛЖСКНЕФТЬ» // Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа: материалы VII Международной научно-практической конференции. – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2016. – С. 40–44.
2. SHI Hongxiang, LI Hui, ZHENG Duoming, et al. Seismicguided drilling technique based on seismic while drilling (SWD): A case study of fracture-cave reservoirs of Halahatang block, Tarim Oilfield, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 2016, 43(4): 662–668.
3. Шевченко И. А. Развитие технологии управляемого роторного бурения при строительстве скважин с субгоризонтальным профилем // Технические науки в России и за рубежом: материалы III междунар. науч. конф. (г. Москва, июль 2014 г.). – М. Буки-Веди, 2014.
4. Кейн С. А. Современные технические средства управления траекторией наклонно направленных скважин: учебное пособие / С.А. Кейн – Ухта : УГТУ, 2014.
5. Mirzadzhanzade, A.H. et al. Drilling of horizontal wells with an electric down hole motor 1994.
6. Хузина Л. Б. Техника для снижения сил трения при бурении горизонтальных участков скважин / Л. Б. Хузина, С. В. Любимова, А. Ф. Шайхутдинова // Нефтепромысловое дело. – 2016. – № 9. – С. 38–42
7. Егорова Е. В. Оптимизация разработки шельфовых месторождений многоствольными скважинами / Е. В. Егорова, И. В. Языков // Геология, география и глобальная энергия. – 2014. – № 3 (54). – С. 210–213
8. Шайхутдинова А. Ф. Результаты промысловых испытаний компоновки низа бурильной колонны с долотом PDC / А. Ф. Шайхутдинова, Л. Б. Хузина // Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 79–83.
9. www.weatherford.com/ru/products-services/drilling-formation-evaluation/drilling-services.
10. Хузина Л. Б. Снижение трения при бурении / Л. Б. Хузина, С. В. Любимова, А. Ф. Сливченко // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2016. – № 3. – С. 38–41.
11. Хузина Л. Б. Особенности снижения прихватоопасности бурильной колонны / Л. Б. Хузина, С. В. Любимова // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. – 2013. – Т. 11, № 1. – С. 58–63.
12. LIU Xiushan, SU Yi'nao. A design method of borehole deviation control scheme. *Acta Petrolei Sinica*, 2015, 36(7): 890–896.
13. LIU Xiushan. *Geometry of wellbore trajectory*. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.
14. Попов А.Н. Спивак А.И. Технология бурения нефтяных и газовых скважин М.: Недра. 2001.

ВИБРАЦИОННОЕ ФИЛЬТРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОЧИСТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОДЫ

Мазко А.И., Босиков И.И.

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», Россия, г. Владикавказ
alexxxander.m@yandex.ru

Аннотация: В статье рассматривается возможность увеличения производительности процесса очистки технологической воды от механических включений за счет использования способа фильтрации, состоящего в применении вертикальных листовых фильтрующих элементов, совершающих вертикальные колебания. Такой способ дает возможность поддержания минимально возможной толщины слоя осадка с одновременным его удалением.

Ключевые слова: фильтрация, вибрация, толщина слоя осадка.

VIBRATION FILTERING AS A METHOD FOR INCREASING PRODUCTIVITY OF CLEANING TECHNOLOGICAL WATER

Mazko A.I., Bosikov I.I.

*North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University),
Russia, Vladikavkaz
alexxxander.m@yandex.ru*

Abstract: *The article considers the possibility of increasing the productivity of the process of purifying process water from mechanical impurities through the use of a filtering method consisting in the use of vertical sheet filter elements that perform vertical vibrations. This method makes it possible to maintain the minimum possible thickness of the sediment layer with its simultaneous removal.*

Keywords: *filtration, vibration, sediment layer thickness.*

Одной из проблем, возникающих при эксплуатации нефтяных месторождений является необходимость очистки сточных и оборотных вод от мелко- и грубодисперсных включений. Такие включения ухудшают извлечение нефти при использовании такой воды для создания пластового давления, создают предпосылки для абразивного износа оборудования, нарушают антикоррозионные покрытия.

Извлечение таких частиц производят различными методами, среди которых чаще всего применяют отстаивание в сгустителях и сепарацию в гидроциклонах. В некоторых случаях применяется флотация.

Недостатками гравитационных методов разделения (сгущение и гидрциклонирование) можно считать сравнительно низкую степень очистки воды. В основном это связано с тем, что мелкие частицы могут либо оставаться во

взвешенном состоянии, либо иметь слишком малую массу для осаждения под действием центробежных сил.

Кроме того, применение, например, сгустителей может быть затруднено в условиях низких температур.

Одним из способов очистки воды от мелкодисперсных частиц является фильтрование. К недостаткам традиционных фильтров можно отнести периодичность действия, сравнительно малую производительность и сложность установки в целом для фильтров непрерывного действия.

В случае фильтрования привлекательным является использование фильтров-сгустителей, в которых совмещается высокая производительность и высокая степень очистки.

Узким местом таких конструкций бывает периодичность действия и изменение производительности процесса фильтрования, связанные с периодическим наращиванием слоя осадка и его сбросом.

В работах [1,2] была рассмотрена возможность фильтрования, производимого с использованием вертикальных фильтрующих элементов листового типа, совершающих колебания в вертикальной плоскости.

Особенностью такого фильтрования является постоянное удаление внешнего слоя осадка под действием вибрации и малая толщина слоя осадка. Это позволяет производить фильтрование в постоянном режиме, не останавливая процесс для удаления слоя осадка.

Механизм вибрационного фильтрования следующий: на фильтрующей поверхности под действием разности давлений образуется слой осадка. На слой осадка помимо перепада давлений действуют силы инерции, направленные вдоль фильтрующей поверхности.

В результате совместного действия этих двух сил происходит формирование слоя осадка постоянной толщины. При этом слой осадка можно разделить на две зоны – неподвижную, непосредственно прилегающую к фильтрующей поверхности и движущуюся.

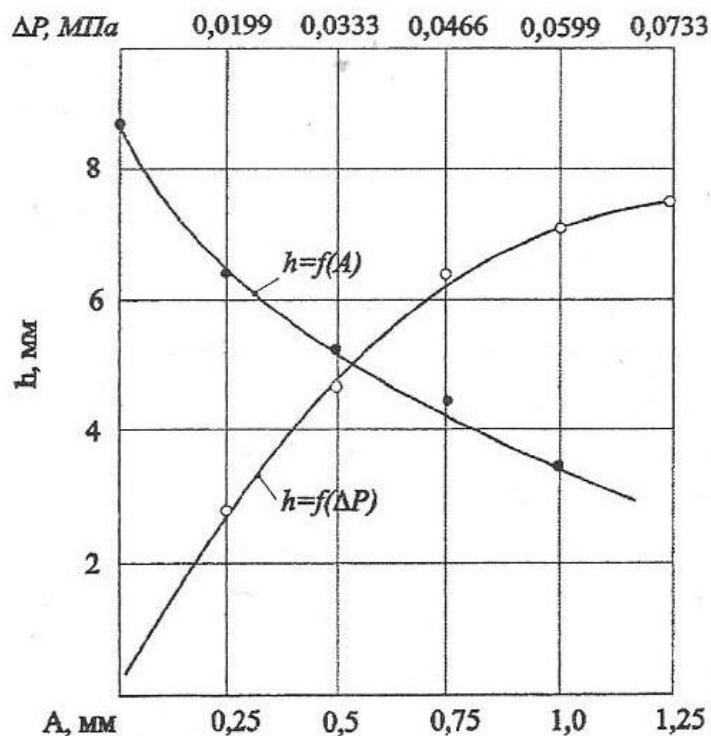
Толщины этих частей непостоянны и изменяются в зависимости от фазы колебания. Перемещение осевших частиц производится в подвижной части.

Факторами, влияющими на толщину слоя осадка, являются параметры вибрационных воздействий, величина перепада давлений и характеристики самого осадка (размер частиц, вязкость и упругость осадка).

Проведенные эксперименты позволяют утверждать, что при росте амплитуды колебаний толщина осадка на поверхности фильтрующего элемента будет уменьшаться (по сравнению с фильтрованием на статическом элементе). Это явление дает возможность проводить фильтрование под действием более высокого перепада давлений, что дает возможность значительно увеличить производительность процесса [1-5].

Общая толщина такого слоя осадка будет весьма малой по сравнению со слоем осадка на традиционных фильтрах при постоянном режиме работы (рис. 1), что дает возможность увеличивать величину перепада давлений для достижения высокой производительности по фильтрату.

Преимуществами данного способа фильтрования являются высокая производительность процесса, компактность и простота фильтровальных установок.



Зависимость толщины слоя осадка h от значений амплитуды колебаний A и перепада давлений ΔP (экспериментальные данные)

Заключение.

Приложение вибрационных воздействий к фильтрующему элементу позволяет уменьшить толщину слоя осадка на фильтрующей поверхности. При этом становится возможным увеличение перепада давлений, что приводит к увеличению производительности очистки технологической воды.

Список использованных источников

1. Определение скорости вибрационного перемещения слоя осадка на вертикальной фильтровальной перегородке. Максимов Р.Н., Мазко А.И., "Перспектива-2009". Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - 2009. - Том IV. - С.68-72, Нальчик: Каб.-Балк. ун-т.
2. Теоретические основы расчета пропускной способности по жидкой фазе фильтрующего элемента вибрационного фильтра-сгустителя // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002, №2. С. 198-200.
3. Гаврина О.А., Босиков И.И., Берко И.А. Разработка методов по улучшению использования электрооборудования природно-промышленной системы горно-перерабатывающего комплекса // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 2 (82). С. 12-19.
4. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A. Development of mathematical model for specific power consumption of resistance furnaces at non-ferrous metallurgy enterprises // В сборнике: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) electronic edition. 2018. С. 8501831.
5. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch. System analysis of power consumption by nonferrous metallurgy enterprises on the basis of rank modeling of individual technocenosis castes // В сборнике: MATEC Web of Conferences 2018. С. 04018.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СЕПАРАЦИИ ГАЗА НА БОВАНЕНКОВСКОМ НГКМ

Чебан Е.В., Чебан С.Е., Леонтьев С.А.

Тюменский индустриальный университет (ТИУ), г. Тюмень

chebanse@tyuiu.ru

Аннотация: В работе проанализированы системы осушки газа в условиях Бованенковского месторождения и представлены выводы и рекомендации.

Ключевые слова: газ, газоконденсат, магистральный газопровод, низкотемпературная сепарация

Cheban E.V., Cheban S.E., Leontiev S.A.

IndustrialUniversityofTyumen, Tyumen

chebanse@tyuiu.ru

Abstract: *The article deals with gas dewatering at the Bovanenkovo field, with appropriate conclusions and recommendations.*

Keywords: *gas, condensates of natural gas, motorway gas pipeline, low-temperature separation*

Анализ подготовки газа

Технология подготовки газа должна обеспечить выполнение следующих требований, каждое из которых является приоритетным для отдельных участков газотранспортной системы (рисунок):

1. Обеспечение требований 089-2010 для северной и умеренной климатических зон. Для района с холодным климатом точка росы по воде не должна превышать минус 20°C, а по углеводородам – минус 10°C (в зимний период) [2].

2. Обеспечение требуемой температуры газа на входе в магистральный газопровод (МГ). Температура газа на входе в головной участок МГ должна составлять минус 2°C круглогодично (в соответствии с проектом «Система магистральных газопроводов Бованенково-Ухта», выполненными ОАО «ВНИПИ-газдобыча» в 2007г.).

3. Однофазный транспорт газа по всей протяженности МГ, включая наиболее холодный – головной участок МГ от каждого ГП месторождения до КС «Байдарацкая».

Давление на входе в головной участок МГ составляет 11,8 Мпа. На стадии обоснования инвестиций в обустройство Бованенковского месторождения были рассмотрены следующие варианты технологий промышленной подготовки газа [1]:

1. Вариант – низкотемпературная сепарация газа с турбодетандерным агрегатом (НТС с ТДА);

2. Вариант – адсорбционная осушка газа с последующим охлаждением на станции охлаждения газа (адсорбция + СОГ);

Все сравниваемые технологии способны обеспечить «сухой» транспорт газа по магистральному газопроводу, но характеризуются различными технологическими показателями.

ДКС с давлением нагнетания 11,2 МПа вводится в конце 4-го года, когда давление входного газа снизится до 11 МПа. На 15-ом году, когда давление входного газа снизится до 4,2 МПа, а степень сжатия возрастет до 2,67, вводится вторая ступень ДКС. Максимальная мощность компримирования приходится на 29-й год и составит 168 МВт.

Выводы:

1. **Технология НТС с ТДА** неизбежно будет использоваться на Бованенковском, Харасавэйском и других месторождениях п-ва Ямал при разработке газоконденсатных залежей, поскольку других технологий для целей глубокого извлечения тяжёлых углеводородов (C_3+) из таких газов не имеется (температура сепарации до минус $60^{\circ}C$). Учитывая это обстоятельство, при выборе технологии промышленной подготовки сеноман-аптского газа следует руководствоваться принципом унификации технологий и оборудования для газов различного состава. С этой точки зрения для месторождений п-ва Ямал предпочтительней технология НТС с ТДА. В сравнении с технологией «адсорбция + СОГ» технологии НТС с ТДА для газов различного состава позволяют:

- Сократить количество типов производственных цехов для газовых и газоконденсатных залежей с трёх до одного; при этом из обустройства месторождения исключаются самые сложные с повышенной степенью пожаровзрывоопасности – цех адсорбции и СОГ. Для УКПГ газовых и газоконденсатных залежей остаётся относительно простой однотипный цех НТС с ТДА.

- Сократить на 25% численность производственного персонала самой высокой квалификации, предназначенного для обслуживания цехов адсорбции и СОГ.

- Сократить и упростить службу планово-предупредительных ремонтов технологического оборудования в связи с тем, что количество самого сложного оборудования уменьшится почти в два раза.

- Сократить количество типов реагентов с трёх до одного: исключается завоз, хранение и утилизация адсорбента (до 3000 тонн каждые 3 года на три УКПГ БНГКМ); исключается производство и хранение пропан-бутановой фракции (до 1000 тонн в год на три УКПГ БНГКМ).

2. **Адсорбционная технология** весьма чувствительна к составу пластового газа по тяжёлым углеводородам: если в ходе опытной эксплуатации месторождения выявится, что в пластовом газе конденсатный фактор больше принятого в настоящем проекте ($KФ=2,5 \text{ г/м}^3$), то придётся либо сокращать объём добычи, либо увеличивать количество адсорберов. Возможно, при этом возникнет необходимость изменить (ужесточить) температурный режим регенерации адсорбента, чтобы обеспечить удовлетворительный уровень регенерации тяжёлых углеводородов и за счет этого предотвратить "засорение" адсорбента и преждевременный (до планового срока) выход его из работоспособного состояния. Возможны другие осложнения, предсказать которые затруднительно.

3. **Опыт промышленного использования сравниваемых технологий: адсорбционные технологии** на базе силикагеля марки КС-Трокенперлен кор-

порации Энгельхард (ENGELHARD) используются более чем на 200-х промышленных установках осушки газа, а также на установках совместной осушки и "отбензинивания" природного газа. Все установки работают по схеме с 4 адсорберами (2 - в адсорбции; 1 - в регенерации; 1 - в охлаждении). Во всех случаях применяется внутренняя теплоизоляция адсорберов. Из рекламных материалов корпорации Энгельхард известно только пять установок производительностью 1,2...92,0 млн. м³/сут, которые работают в режиме совместной осушки и "отбензинивания" газа на газохранилищах (ПХГ). Составы газов этих ПХГ неизвестны. Несомненно, что эти газы содержат значительно меньше тяжелых углеводородов, чем газы **аптских** залежей Бованенковского месторождения (КФ=2,5 г/м³). Состав тяжелых углеводородов (C₅₊ ...C₁₇₊) **аптских** газов может меняться непредсказуемо, а, следовательно, непредсказуемо может изменяться динамическая активность (работоспособность) силикагеля. Из этого следует, что **до принятия решения** об использовании адсорбционной технологии на базе силикагеля марки КС-Тропенперлен для совместной осушки и "отбензинивания" **аптского** газа Бованенковского месторождения необходимо провести опытно-промышленные испытания полномасштабной установки.

Список использованных источников

1. Давлетов К.М., Глазунов В. Ю., Эльберт И.П., Хафизов А.Р. Анализ пиковых режимов установок комплексной подготовки газа (УКПГ) Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2013
2. Хадзиев М.К., Малюков В.П. Влияние многолетнемерзлых пород на разработку и обустройство Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения на Ямале. В сборнике: Современные проблемы механики, энергоэффективность сооружений и ресурсосберегающие технологии.

МОБИЛЬНОЕ ЗАЩИТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ В МЕСТАХ ВОЗМОЖНОГО КАМНЕПАДА

Урумов А.С., Хатагова Л.С., Пантелеева С. В.
ПАО «ГАЗПРОМ» ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»

Аннотация. В статье рассматривается конструкция которая поможет минимизировать возможные человеческие травмы, а также предотвратить несчастные случаи во время производства работ в горных условиях и сохранить оборудование в целостности. Это перспективное мобильное устройство, которое должно быть применено на конкретных участках МГ для обеспечения безопасности работников.

Ключевые слова: конструкция, мобильность, процесс принятия решений, магистральный газопровод.

MOBILE PROTECTIVE DEVICE FOR SAFE WORKS IN POSSIBLE STONE

Urumov A.S., Khatagova L.S., Panteleeva S.V.
GAZPROM PJSC Gazprom Transgaz Stavropol

Abstract. The article discusses a design that will help minimize possible human injuries, as well as prevent accidents during work in the mountains and keep the equipment in integrity. This is a promising mobile device that should be used in specific areas of the MG to ensure the safety of workers.

Keywords: design, mobility, decision-making process, main gas pipeline.

Введение. Магистральный газопровод «Дзуарикау-Цхинвал» является уникальным в своем роде (рис.1). Максимальная высота пролегания газопровода - 3148 метров над уровнем моря и это абсолютный мировой рекорд.



Рисунок 1 - Магистральный газопровод «Дзуарикау-Цхинвал»

Многие иностранные инженеры-проектировщики весьма скептически относились к постройке данной магистрали, но, как доказала практика, расчеты не всегда бывают верны и именно Российские инженеры доказали обратное, сделав почти невозможное, проложили путь сквозь горы. Газопровод проходит через 5 горных хребтов, 29 водных преград, проложено 15 тоннелей общей длиной 1848 метров и множество переходов, общая длина магистрали 175 км, 75 км проходит по территории Южной Осетии.

Это не просто самый высокогорный газопровод в мире, это яркий показатель потенциала страны (России) и ее отношения к дружественным республикам, и, как следствие, безграничным возможностям Газпрома [1-5].

Газопровод является своего рода надеждой для многих угасающих населенных пунктов, которые лежат на пути прохождения газа. Именно этот газопровод вдохнул новую жизнь в сельскую местность, так как ранее из-за отсутствия газоснабжения (то есть сложных условий жизни) люди стали покидать горные районы Республик северная и южная Осетия.

Опасность эксплуатации МГ

Поскольку лавинная долча МГ проходит в горной местности, эксплуатация его становится максимально опасным для жизни и здоровья работников, даже при простом объезде поднимаясь и спускаясь с крутого склона, могут возникнуть непредвиденные ситуации.

Неоднократно бывало, что перед машиной на полку газопровода падал камень или, возвращаясь обратно, на полке, где еще пару часов назад был свободный проезд, лежат камни.

Периодически возникает необходимость проводить газоопасные и огневые работы в опасной зоне с постоянным риском для жизни и здоровья. Работники Моздокского ЛПУМГ и УАВР не понаслышке знают, какую угрозу несут с собой падающие со скалы камни (рис.2).

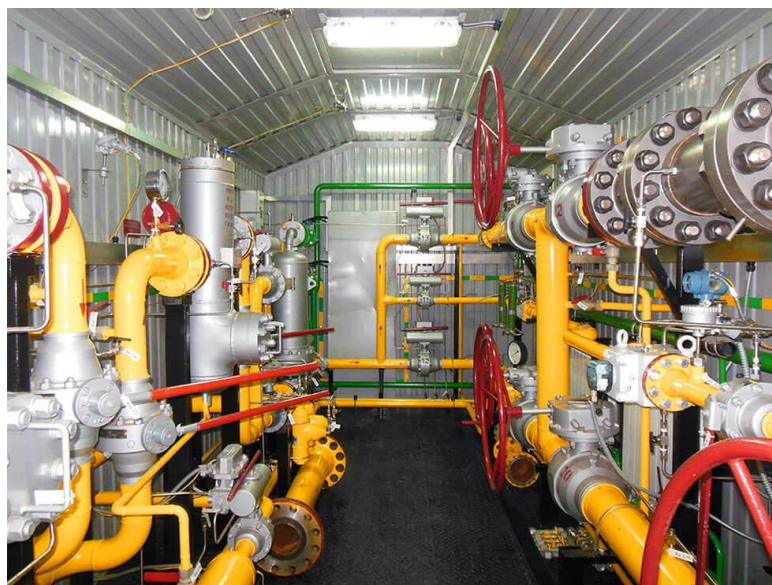


Рисунок 2 - Моздокский ЛПУМГ и УАВР

На текущий момент, за время эксплуатации газопровода, у работников Моздокского ЛПУМГ при работах в горной местности не было ни одной производственной травмы. Но это не дает нам права пренебрегать возможными внештатными ситуациями, такими как камнепады, оползни и прочие опасные факторы горной местности.

Во время строительства газопровода в подрядной организации погибло 3 человека 2-ое из них стали жертвами именно камнепада. И это невосполнимая потеря. Мы не можем и не должны допустить даже малейшей травмы работников [5-11]. В связи с этим необходимы дополнительные меры и приемы по охране труда, дополнительные защитные устройства.

Описание мобильного защитного устройства

Авторами предложено мобильное защитное устройство, которое сможет остановить слетевший со скалы камень диаметром до 200мм. Учитывая стоимость и простоту данного устройства это довольно-таки не плохой показатель. Ведь даже камень диаметром в 30мм может травмировать человека. А жизнь и здоровье работника бесценно. И наша общая задача сделать условия по охране труда максимально безопасными. Мобильное защитное устройство представляет собой складной щит состоящий из двух частей с телескопическими амортизирующими опорами [1-5].

Щит состоит из металлического каркаса сделанной из профильной трубы размерами 40 на 20мм и толщиной стенки в 2мм, покрытие щита состоит из металлической плетеной сетки с ячейкой в два три см, это примерно как кроватная сетка а поверх сетки установлена фанера толщиной 8мм .

На самом щите и опорах устанавливаются фиксирующие устройства, позволяющие надежно зафиксировать данный щит практически в любом месте. С обеих сторон щита есть петли позволяющие скрепить между собой несколько щитов в зависимости от протяженности рабочей зоны. На верхней и нижней части щита тоже установлены петли для установки фиксирующих устройств (в нижней части щита) и фиксации опор к верхним петлям, при необходимости к верхним петлям возможна установка дополнительного аналогичного щита играющую роль защитного козырька. В разложенном виде размеры данной конструкции составляют 2 на 2 метра, в сложенном виде метр на два.

За счет легкости и простоты защитного щита его установка возможна бригадой из двух-трех человек. А перевозка возможна на грузопассажирском автомобиле УАЗ.

Телескопическая опора состоит из двух металлических труб разного диаметра 50 и 40мм позволяющее хождение одной трубы в другой и длиной два метра. На нижней трубе через каждые 15см просверлены отверстия что дает нам возможность телескопии и ровной установки на склонах, между верхней и нижней частями опоры устанавливается пружина для дополнительного гашения инерции упавшего камня. При необходимости есть возможность удлинить опоры дополнительными фрагментами.

Стоимость материалов данной конструкции не превышает 15 тысяч рублей.

Заключение. Предложенная конструкция поможет минимизировать возможные человеческие травмы, а также предотвратить несчастные случаи во время производства работ в горных условиях и сохранить оборудование в целостности. Это перспективное мобильное устройство, которое должно быть применено на конкретных участках МГ для обеспечения безопасности работников.

Плюсы предложенной конструкции[1-9]:

1. *Мобильность.*
2. *Легкость возведения конструкции.*
3. *Относительно не дорогая стоимость.*
4. *Простота и надежность.*

Данный щит является разработкой авторов, и на сегодняшний день ему нет аналогов. Это первый шаг для мобильных защитных щитов.

Список использованной литературы

1. Жила А.В.- « Газовые сети и установки» Изд.Академия, 2005г.
2. Брюханов О.Н. -Основы эксплуатации оборудования и систем газоснабжения: Учебник- М.:ИНФРА-М, 2005 - 256с.
3. Техническая эксплуатация газораспределительных систем. Основные положения ОСТ 153-39.-051-2003, Санкт- Петербург 2005.
4. Кязимов К.Г. -Устройство и эксплуатация газового хозяйства, издательский центр «Академия», 2004.
5. Гордюхин А. И. Газовые сети и установки. М.: Стройиздат, 1983.
6. СНиП 42-01-2002 Газораспределительные системы : ГОССТРОЙ РОССИИ. Москва, 2004 .
7. СНиП 2.04.08-87. Газоснабжение / ГОСТРОЙ СССР. – М.: ЦИТП, 1988.
8. СП 42-102-2004 Проектирования и строительства газопроводов из металлических труб.
9. СП 42-101-2003 Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем и металлических полиэтиленовых труб.
10. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch. System analysis of power consumption by nonferrous metallurgy enterprises on the basis of rank modeling of individual technocenosis castes // В сборнике: MATEC Web of Conferences 2018. С. 04018.
11. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Dzeranov B.V., Tekiev M.V. Study of the object of the natural-technical system and determination of the static characteristics of ventilation // MATEC Web Conf. Volume 226, 2018. XIV International Scientific-Technical Conference “Dynamic of Technical Systems” (DTS-2018) Article Number: 04020 Number of page(s): 7. Published online: 07 November 2018 MATEC Web of Conferences 226, 04020 (2018).

**ИНТЕРАКТИВНАЯ СХЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОГО ПОТОКА
НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА
«ДЗУАРИКАУ-ЦХИНВАЛ»**

Пантелеева С. В., Хатагова Л.С.

ПАО «ГАЗПРОМ» ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»

Аннотация. В статье рассматривается интерактивная схема, которая ускоряет процесс принятия решений связанных с работами на объектах газопровода. Проведен анализ справочной информации, мобильность программы в целом и доступность на современных устройствах, что способствует более эффективной работе службы инженера.

Ключевые слова: интерактивная схема, служба инженера, мобильность, процесс принятия решений, трубопровод, газ.

***INTERACTIVE GAS FLOW DISTRIBUTION CIRCUIT BASED
ON THE EXAMPLE OF THE DZUARIKAU-TSKHINVAL
GAS PIPELINE SECTION***

Panteleeva S.V., Khatagova L.S.

GAZPROM PJSC Gazprom Transgaz Stavropol

Abstract. The article discusses an interactive scheme that speeds up the decision-making process associated with work on gas pipeline facilities. The analysis of reference information, the mobility of the program as a whole and the availability on modern devices have been carried out, which contributes to a more efficient work of the engineer service.

Keywords: interactive scheme, engineer service, mobility, decision-making process, pipeline, gas.

Введение

Хотелось бы для начала определиться с такими понятиями как МГ, ГРС, технологическая схема для наилучшего понимания содержания данного доклада (статьи).

МГ – трубопровод, предназначенный для транспортировки природного газа от места добычи к пунктам потребления. МГ – один из основных элементов газотранспортных систем и главное составное звено единой системы газоснабжения.

ГРС – совокупность установок и технического оборудования, измерительных и вспомогательных систем, предназначенных для подачи газа населенным пунктам и предприятиям. Служит для понижения давления газа из МГ до уровня, необходимого по условиям его безопасного потребления. Давление на входе ГРС (высокое) – 12 кг/м^3 (1, 2 МПа) до среднего на выходе - 0,3-0,5 МПа ($3-5 \text{ кг/м}^3$) в зависимости заявленного давления на потребителя (минимальное $1, 5 \text{ кг/м}^3$).

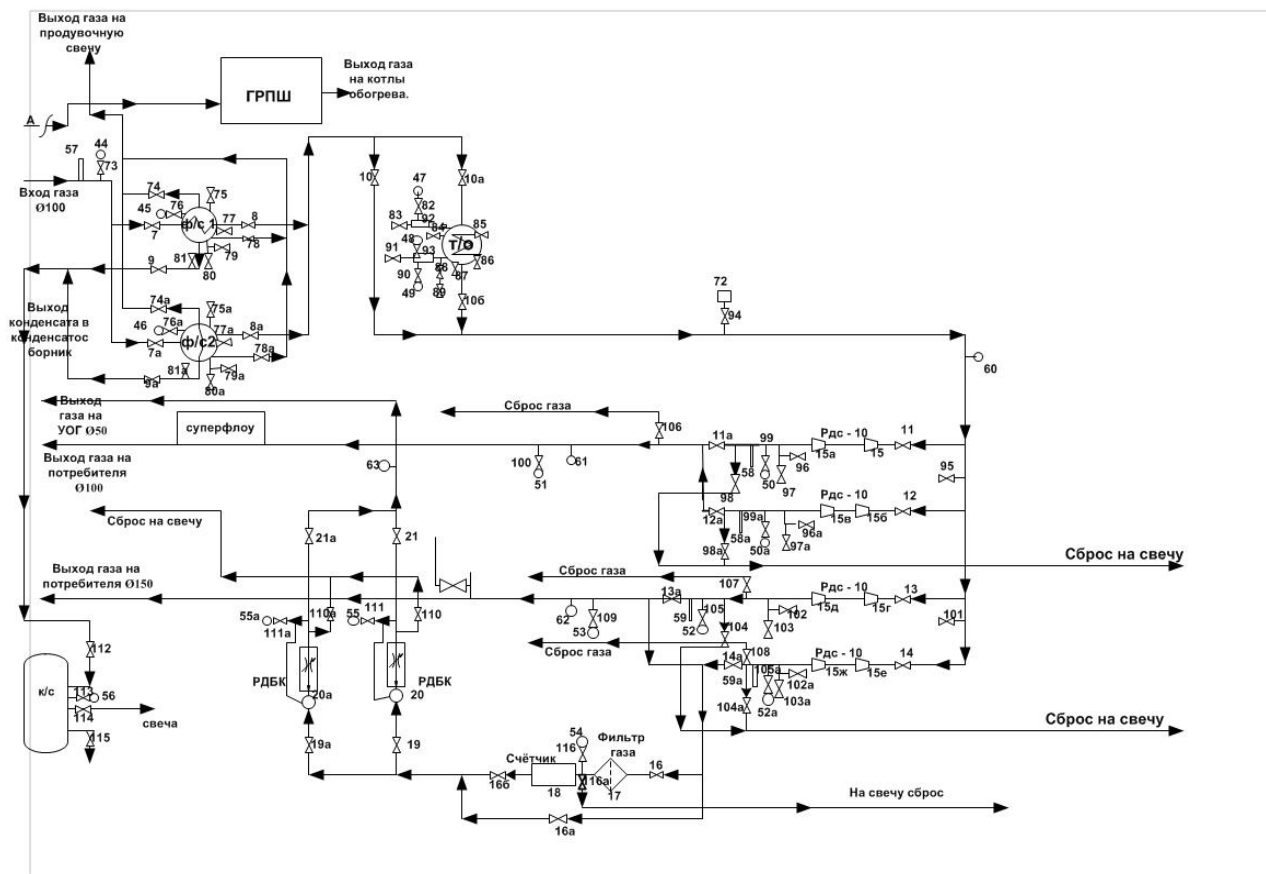


Рисунок 1 - Схема газового оборудования и коммуникаций

Технологическая схема – это схема газового оборудования и коммуникаций, находящихся на газовых объектах (рис.1). Служит для отображения технологических процессов, происходящих на объекте, с указанием диаметров трубопроводов, расположение переходов, отводов, запорно-регулирующей арматуры и прочих узлов [1-3].

Техническая часть

При проведении работ на объектах МГ возникает необходимость решение ряда вопросов, связанных с распределением газового потока и определением порядка, хода работ.

На данный момент при составлении плана производства работ инженер опирается на технологическую схему разработанную инженером службы, что влечет за собой ряд неудобств и трудностей, особенно часто встречающихся при наличии разветвленной сети МГ, а также многониточном газопроводе с большим количеством перемычек [4-6].

При планировании на подобных сложных объектах возникает ряд сложностей, - это и временные затраты, неудобство, возможность возникновения ошибки человеческого фактора. В связи со всем вышеуказанным была разработана интерактивная схема, которая рассчитывает возможные пути прохождения газа в той или иной, заданной инженером службы, ситуации на основе существующих печатных носителей схем.

Интерактивная схема создана на основе черно-белых, печатных вариантов (рис. 2).

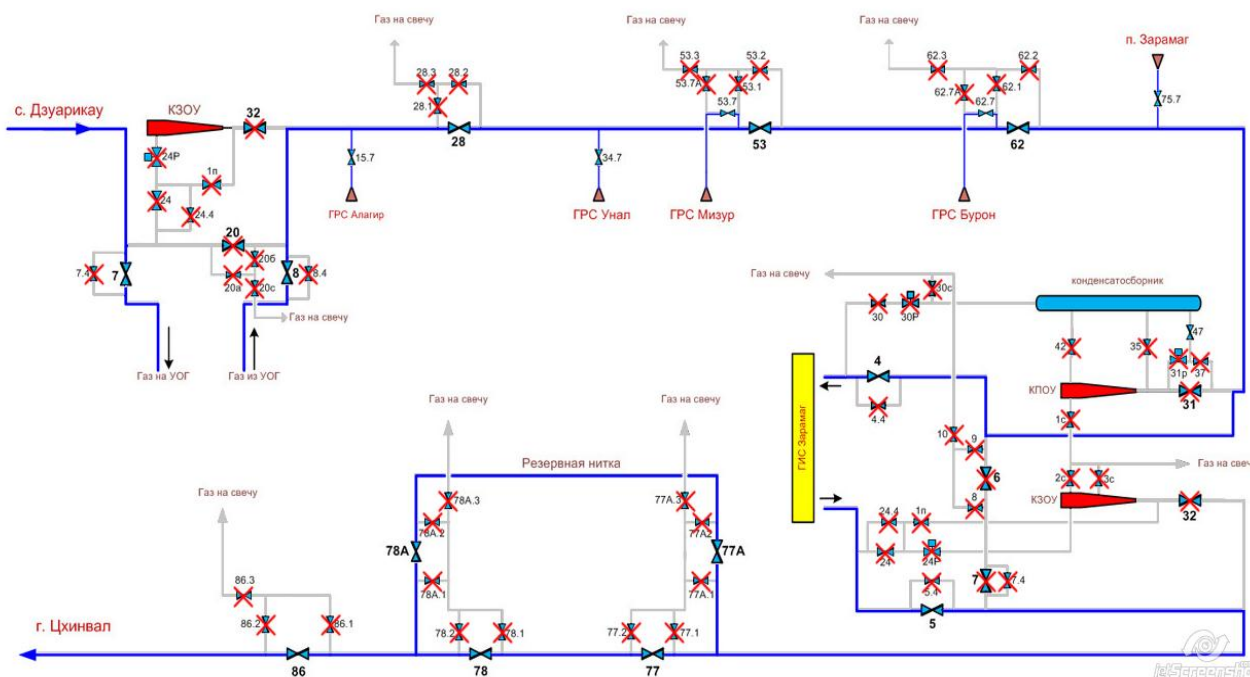


Рисунок 2 - Интерактивная схема

Составленная схема облегчает понимание сложившейся ситуации и упрощает процесс принятия решения. Особенно актуально на многониточном газопроводе с большим количеством перемычек, филиалов с разветвленной сетью МГ. Также данная программа может быть детализирована до уровня отдельных ГРС, ГИС, компрессорных станций (КС).

Схема рассчитывает ход, направление газа, содержит справочную информацию о кранах, трубах, их местоположении, диаметре и прочие необходимые характеристики (рис.3).



Рисунок 3 - Справочная информация об объектах МГ

Данная интерактивная схема сокращает временные затраты необходимые для принятия решения, исключает возникновение ошибки человеческого фактора, удобно в пользовании и имеет интуитивно понятный интерфейс (внешний вид). Также инженер службы может смоделировать различные сценарии производства работ [3-8].

Одним из главных преимуществ данной интерактивной схемы является ее мобильность и совместимость с любыми современными устройствами.

Заключение

Данная интерактивная схема поможет ускорить процесс принятия решений связанных с работами на объектах газопровода.

Наличие справочной информации, мобильность программы в целом и доступность на современных устройствах может способствовать более эффективной работе инженера службы.

Список использованных источников

1. Стаскевич Н.П. - Справочник по газоснабжению и использованию газа.
2. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.- М.: Госстрой России, 2005-70г.
3. СНиП 42-01-2002 Газораспределительные системы.: М.: Госстрой России, 2004 .
4. СНиП 2.04.08-87. Газоснабжение /Госстрой СССР/. М.: ЦИТП 1988.
5. СП 42-102-2004 Проектирования и строительства газопроводов из металлических труб.
6. СП 42-101-2003 Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем и металлических полиэтиленовых труб.
7. Ключев Р.В., Босиков И.И., Юн Р.Б. Анализ функционирования природно-промышленной системы горно-металлургического комплекса с помощью показателя сложности геологического строения месторождения // Устойчивое развитие горных территорий. 2016. Т.8. №3 (31). С. 222-230.
8. Klyuev, R.V., Bosikov, I.I. Research of water-power parameters of small hydropower plants in conditions of mountain territories // 2016. 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 - Proceedings 7911420. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911420.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ СХЕМА ВЫДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ НА МНОГОПЛАСТОВЫХ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Саранча А.В., Майер А.В., Левитина Е.Е.
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Аннотация: в статье представлена схема выделения эксплуатационных объектов на многопластовом нефтегазоконденсатном месторождении, которая заключается в поэтапном анализе по каждому из представленных в статье критериев на предмет возможности объединения пластов в единые объекты разработки. Решения по выделению эксплуатационных объектов по предложенному алгоритму апробированы и вошли в проектные работы по разработке данного месторождения. Предлагаемые решения должны позволить не только достичь высоких показателей извлечения углеводородного сырья, но и избежать снижения экономической эффективности на поздних этапах разработки месторождения, вызванного необходимостью бурения дополнительного фонда скважин при разобщении ошибочно объединенных на начальной стадии пластов.

Цель исследований. Разработать универсальную блок-схему выделения эксплуатационных объектов на многопластовых нефтегазоконденсатных месторождениях.

Задачи исследований. Для достижения цели необходимо решение следующих задач:

- проанализировать результаты выделения эксплуатационных объектов на многопластовых нефтегазоконденсатных месторождениях ЯНАО;
- сформировать универсальный алгоритм выделения эксплуатационных объектов для многопластовых нефтегазоконденсатных месторождений;
- провести апробацию разработанной блок-схемы на реальных месторождениях.

Результаты исследований. Предложенный алгоритм по выделению эксплуатационных объектов, реализованный на Южно-Русском месторождении, позволит не только достичь высоких показателей извлечения углеводородного сырья, но и избежать снижения экономической эффективности на поздних этапах разработки месторождения, вызванного необходимостью бурения дополнительного фонда скважин при разобщении ошибочно объединенных на начальной стадии пластов.

Ключевые слова: выделение, анализ, алгоритм, эксплуатационные объекты, многопластовые нефтегазоконденсатные месторождения.

SEQUENTIAL ALLOCATION SCHEME OPERATING FACILITIES ON MULTILAYER OIL AND GAS CONDENSATE FIELDS

Sarancha A.V., Mayer A.V., Levitina E.E.
Tyumen Industrial University

Abstract: The article presents the scheme of selection of production facilities on multilayer oil and gas condensate field, which lies in a piecemeal analysis of each of the proposed criteria for the possibility of combining layers into a single development targets. Decisions on the allocation of operational facilities by the proposed algorithm are tested and included in the feasibility study of oil recovery factor on the specified field. The proposed solution allows not only to achieve high rates of extraction of hydrocarbon raw materials, but also to avoid reducing economic efficiency in the later stages of field development, caused by the necessity of drilling additional wells in dividing erroneously merged at the initial stage of formation.

The purpose of research. Develop a universal block diagram of the allocation of production facilities in multi-layer oil and gas condensate fields.

Tasks of research. To achieve the goal it is necessary to solve the following tasks:

– to analyze the results of the allocation of production facilities in the multi-layer oil and gas condensate fields of the Yamal-Nenets Autonomous district;

– to form a universal algorithm for the allocation of production facilities for multi-layer oil and gas condensate fields;

– to conduct testing of the developed block-scheme in real fields.

Research result. The proposed algorithm for the allocation of production facilities, implemented at the South-Russian field, will not only achieve high rates of extraction of hydrocarbons, but also to avoid reducing the economic efficiency at the later stages of field development, caused by the need to drill additional wells in the separation of mistakenly combined at the initial stage of the layers.

Keywords: assessment, oil production, well, efficiency, geological and technical measures.

Введение

Разработка многопластовых месторождений, содержащих различные виды углеводородных флюидов (нефть, газ, газоконденсат и вода), является сложной оптимизационной задачей от грамотного решения которой, зависит на сколько эффективно и рационально будут эксплуатироваться недра. Определяющую роль при решении данного вопроса играет степень изученности месторождения. А именно наличие достоверной информации относительно конфигурации залежей, геолого-физических характеристик продуктивных пластов, их природных режимов, физико-химических свойств и компонентного состава углеводородного сырья [1-4].

Высокая степень изученности позволяет максимально снизить риск ошибки при выборе эксплуатационных объектов, сформировав наиболее рациональную схему их выделения. В то же время, очевидно, что высокая степень изученности характерна для разбуренных месторождений, здесь решения относительно выделения эксплуатационных объектов уже сформированы и возможна лишь их корректировка.

Таким образом, наиболее актуален вопрос выделение объектов эксплуатации именно на начальном этапе разработки. Как правило, объем исходной информации для проектирования на данной стадии весьма ограничен. В этой связи выбор оптимального количества объектов является задачей неоднозначной. По мере появления новой информации их число может, как значительно возрасти, так и существенно уменьшиться. Подобные изменения, могут существенным образом отразиться как на технологической, так и на экономической эффективности проекта [5-10].

Анализ методов исследований

В этой связи целесообразно обратиться к практике разработки многопластовых месторождений Западной Сибири. Накопленный опыт свидетельствует, что объединение значительного числа пластов в единый эксплуатационный

объект, приводит к недостаточно полной выработке отдельных продуктивных интервалов. В качестве примера можно привести Самотлорское, Усть-Балыкское и другие месторождения. Изначально объединенные многопластовые горизонты в последствие были разукрупнены. Причинами этого явилось в первую очередь несоответствие применяемой технологии разработки геолого-физическим характеристикам отдельных пластов. Причем в ряде случаев ошибочное объединение в единые объекты разработки разнопродуктивных пластов нанесло необратимый ущерб недрам. И даже бурение значительного числа дополнительных скважин не в полной мере способствовало исправлению сложившейся неблагоприятной ситуации с выработкой запасов. Поэтому, на начальных этапах разработки месторождения, более критичный подход при объединении пластов в единые эксплуатационные объекты, по мнению авторов является наиболее оправданным, в первую очередь с позиции достижения высоких коэффициентов извлечения [10-20].

Проблема выделения эксплуатационных объектов тесно связана с зарождением и развитием нефтяной промышленности, в разное время ею занимались многие отечественные и зарубежные исследователи: Акульшин А.И., Бадьянов Ю.Е., Ефремов Е.П., Быков Н.Е., Бойко В.С., Дияшев Р.Н., Еремин Н.А., Каналин В.Г., Лысенко В.Д., Максимов М.И., Маскет М., Мищенко И.Т., Муравьев И.М., Нестеров И.И., Салманов Ф.К., Шпильман К.А., Пермяков И.Г. и многие другие [14-20].

Результаты исследований

Опираясь на работы перечисленных исследователей, а также на собственный опыт авторов статьи, был сформирован алгоритм выделения эксплуатационных объектов для многопластовых нефтегазоконденсатных месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа, который имеет следующую последовательность:

1. На первом этапе в самостоятельные объекты разработки относят пласты, принадлежащие к одной группе пластов (ПК, БТ, АТ или Ю), данное ограничение в первую очередь связано с технологическими возможностями успешной эксплуатации скважин;

2. Вторым этапом является рассмотрение залежей углеводородов на предмет их залегания друг под другом, т.е. совмещение залежей в плане;

3. Далее все залежи дифференцируются по типу насыщения, выделены три основные группы: газовые (включая газоконденсатные) нефтяные и нефтегазовые. Объединение в объекты эксплуатации рассматривалось только в пределах групп, при этом при наличии существенных запасов газа в чисто газовых залежах, таковые выделяются в самостоятельные объекты разработки, например залежи Сенманского или Туронского яруса;

4. На четвертом этапе предварительно объединённые залежи, совпадающие в плане, рассматриваются на предмет залегания друг под другом одинаковых зон насыщения, т.е. чистонефтяные зоны (ЧНЗ) могут разрабатываться

единым фильтром только с чистонефтяными зонами. Известно, что одновременная эксплуатация различных зон насыщения залежей может негативно отразиться на показателях разработки и степени выработки запасов нефти и газа, ввиду существенных отличий процессов и характеристик вытеснения. Поэтому на данном этапе рассматривается возможность одновременной эксплуатации, предварительно выделенных в один объект залежей, несовпадающих в плане по условиям залегания зон насыщения.

Например, не рекомендуется одновременная эксплуатация чистонефтяной и водонефтяной зон (ВНЗ), так как образование конуса воды и преждевременное обводнение в водонефтяных зонах, при одновременной эксплуатации, неизбежно отрицательно повлияет на нефтеотдачу залежи с чистонефтяной зоной [1-10];

5. На пятом этапе подробно рассматриваются показатели расчлененности залежей и их эффективные толщины.

Высокие показатели расчлененности позволяют эксплуатировать залежи массивного типа, запасы которых отнесены к контактными, совместно с чисто нефтяными и чисто газовыми залежами.

Естественные глинистые барьеры препятствуют образованию конусов воды и нефти, что благоприятно отражается на выработке запасов нефти и газа, позволяя достигать приемлемые значения коэффициентов извлечения.

Таким образом, выделенные на четвертом этапе чисто нефтяные или чисто газовые залежи и пласты с контактными запасами в отдельные объекты, на данном этапе, в принципе могут быть объединены в единый эксплуатационный объект, при условии высоких показателей расчлененности.

Также важным критерием, рассматриваемым на данном этапе, является эффективные толщины, которые должны быть близкими по значениям для предотвращения разноскоростной выработки, что особенно важно при эксплуатации контактных запасов;

6. Одним из определяющих параметров при объединении пластов в единые объекты, являются фильтрационные свойства залежей, которые рассматриваются на шестом этапе.

Близкие значения проницаемости позволяют обеспечить равномерную выработку запасов нефти и газа;

7. Успешная совместная эксплуатация двух и более пластов единым фильтром во многом зависит и от сопоставимости физико-химических свойств пластовых флюидов, которые анализируются на седьмом этапе;

8. На завершающей стадии выделения эксплуатационных объектов проводится детальный геолого-промысловый анализ. Для чего привлекаются данные каротажных диаграмм, результаты испытания скважин, практика разработки месторождений аналогов, а также созданные геолого-гидродинамические модели.

Естественно, что значительное число критериев существенно увеличивает количество самостоятельных эксплуатационных объектов, однако столь кри-

тичный подход к их выбору может быть наиболее оправданным в условиях начальной стадии изученности месторождения [4-10].

Вводимые в разработку многопластовые месторождения Ямала являются полигоном для применения накопленного опыта разработки прошлых лет. Для апробации вышеописанного подхода по выделению эксплуатационных объектов, подходящим являются Южно-Русское нефтегазоконденсатное месторождение, расположенное недалеко от г. Новый Уренгой.

Данное месторождение многопластовое, характеризуются значительным этажом нефтегазоносности, порядка 2000 метров.

По величине извлекаемых запасов газа месторождение относится к уникальным и входит в десятку самых крупных месторождений ЯНАО находящихся в промышленной эксплуатации [7].

На начало 2011 года промышленная нефтегазоносность месторождения установлена в терригенных отложениях туронского (пласты T_{1-2}) и апт-альб-сеноманского ярусов (пласты $ПК_1$, $ПК_6$, $ПК_9$, $ПК_{10}$, $ПК_{12}$, $ПК_{13}^1$, $ПК_{13}^2$, $ПК_{14}$, $ПК_{15}$, $ПК_{16}^1$, $ПК_{16}^2$, $ПК_{17}^1$, $ПК_{17}^2$, $ПК_{18}$, $ПК_{19}$, $ПК_{20}^1$, $ПК_{20}^2$ и $ПК_{21-22}$), отложениях неокома (пласты BT_4^0 , BT_4 , BT_{12} , AT_6 и AT_{11}), в верхнеюрских отложениях сивговской (пласты $Ю_1^1$, $Ю_1^2$, $Ю_1^3$, $Ю_1^{4-1}$ и $Ю_1^{4-2}$) и среднеюрских отложениях тюменской свит (пласт $Ю_2^1$ и $Ю_2^2$).

В целом по месторождению выделен 31 продуктивный пласт, представленный 70 залежами, в их числе: 8 – газовых, 45 – газоконденсатных, 12 – нефтегазоконденсатных и 5 нефтяных.

Газовые залежи пластов T_{1-2} и $ПК_1$, содержащие основные запасы газа уже были выделены в качестве самостоятельных эксплуатационных объектов. Проектный фонд по ним практически полностью реализован. В этой связи далее в статье о них упоминаться не будет.

На этапе совмещения контуров залежей в пределах групп пластов, рассмотренных на втором этапе, можно выделить 15 эксплуатационных объектов разработки.

Соблюдение дальнейших критериев, существенно увеличило их число, доведя на седьмом этапе до 31.

Детальный геолого-промысловый анализ, а также результаты трехмерного гидродинамического моделирование однозначно показали необходимость выделения нефтегазовых залежей в самостоятельные эксплуатационные объекты. Так как обеспечить устойчивую работу системы разработки при условии вскрытия скважиной двух и более нефтегазовых пластов не представляется возможным.

Кроме того, для разработки подобных залежей преимущественно предлагается использование горизонтальных скважин.

Таким образом, на последнем этапе число эксплуатационных объектов достигло 34 ед., в их числе 18 газовых, 4 нефтяных и 12 нефтегазовых [4-15]. Хронология выделения эксплуатационных объектов на различных этапах представлена в таблице 1.

Таблица 1

Хронология выделения эксплуатационных объектов

Этапы выделения / Stages of selection	Количество эксплуатационных объектов выделенных на определенных этапах / The number of operational facilities allocated at certain stages														
	ПК			АТ			БТ			Ю			Месторождение в целом / Field as a whole		
	Н/О	НГК/ОГС	Г/Г	Н/О	НГК/ОГС	Г/Г	Н/О	НГК/ОГС	Г/Г	Н/О	НГК/ОГС	Г/Г	Н/О	НГК/ОГС	Г/Г
Совмещение в плане / Combination in the plan	4			5			3			3			15		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Характер насыщения / Nature of saturation	7			5			3			6			21		
	2	1	4	-	1	4	-	-	3	2	1	3	4	3	14
Условия залегания / Occurrence conditions	12			5			4			6			27		
	2	1	9	-	1	4	-	-	4	2	1	3	4	3	20
Коэффициент расчлененности / Dismemberment ratio	16			5			3			6			30		
	2	6	8	-	1	4	-	-	3	2	1	3	4	8	18
Эффективная толщина / Effective thickness	16			5			3			6			30		
	2	6	8	-	1	4	-	-	3	2	1	3	4	8	18
Фильтрационные свойства / Filtration properties	20			5			3			6			34		
	2	10	8	-	1	4	-	-	3	2	1	3	4	12	18
Свойства пластовых флюидов / Properties formation fluids	20			5			3			6			34		
	2	10	8	-	1	4	-	-	3	2	1	3	4	12	18

Заключение

Выделение столь существенного количества эксплуатационных объектов обусловлено в первую очередь, сложным геологическим строением и значительной разницей свойств залежей. В этой связи представленная концепция применительно к многопластовым нефтегазоконденсатным месторождениям видится вполне оправданной, а в основе ее формирования в первую очередь заложены принципы рационального недропользования. Предложенный алгоритм по выделению эксплуатационных объектов, реализованный на Южно-Русском месторождении, позволит не только достичь высоких показателей извлечения углеводородного сырья, но и избежать снижения экономической эффективности на поздних этапах разработки месторождения, вызванного необходимостью бурения дополнительного фонда скважин при разобщении ошибочно объединенных на начальной стадии пластов.

Список использованных источников

1. Базив В.Ф. Экспертно-аналитическая оценка эффективности систем разработки нефтяных месторождений с заводнением. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2007. – 396 с.
2. Гайсин Ф.Ф., Михеев П.С., Исбир Ф.А. Совершенствование проектных решений по разработке Губкинского нефтегазоконденсатного месторождения путем оптимизации выделения эксплуатационных объектов и повышения эффективности использования проектного фонда скважин // Научно-технический вестник ОАО "НК "Роснефть". 2012. № 4. С. 21-25.
3. Гераськин В.И., Изюмченко Д.В., Семенякин В.С., Сиговатов Л.А. Выделение эксплуатационных объектов в сложно построенных газоконденсатных месторождениях // Газовая промышленность. 2006. № 9. С. 69-70.
4. Дияшев Р.Н. Некоторые причины негативных последствий совместной разработки многопластовых месторождений и учет их при формировании эксплуатационных объектов (часть 1) // Нефтяное хозяйство. – 2005. - №6. – С.92-96.
5. Иванов А.В., Марченко А.В., Лапердин А.Н., Мулявин С.Ф. Проблемы разработки уникальных газовых месторождений ЯНАО и пути их решения // Горные ведомости. – 2010. - №1. – С.36-41.
6. Каналин В.Г. Особенности разведки многопластовых нефтяных месторождений в связи с выделением эксплуатационных объектов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2006. № 5. С. 7-11.
7. Кильдешев С.Н., Кубасов Д.А., Дорофеев А.А., Саранча А.В. Концепция выделения эксплуатационных объектов на Южно-Русском многопластовом нефтегазоконденсатном месторождении // Горные ведомости. – 2011. - №7 (86). – С.52-59.
8. Кильдышев С.Н., Кубасов Д.А., Дорофеев А.А., Саранча А.В. Выделение объектов эксплуатации на многопластовом Южно-Русском нефтегазоконденсатном месторождении // Территория Нефтегаз. – 2011. № 6. – С. 42-47.
9. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. – М.: Недра, 2007. 467 с.
10. Шпильман В.И., Цзинь Чжи Цзюнь. Закон распределения выявленных и невыявленных залежей нефти и газа по величине запасов//Геология нефти и газа № 11.– 1993.. С. 177– 180
11. Егорова Е. В., Ключев Р.В., Босиков И.И., Цидаев Б.С. Evaluation of use of effective technologies for increasing sustainable development of natural and technical system of oil and gas complex // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т.10. №3 (37). С. 392-403.

12. Bosikov I. I., Klyuev R. V, Revazov V. Ch., Performance evaluation of functioning of natural-industrial system of mining-processing complex with help of analytical and mathematical models // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 327 022013.
13. Макарова О.М., Коробова Н.И. Латеральная изменчивость баженовской свиты на северо-востоке Сургутского свода. В сборнике Новые идеи в геологии нефти и газа - 2015. Издательство Московского университета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, тезисы, С. 299-301
14. Санникова И.А., Кирюхина Т.А. Моделирование процессов образования углеводородов в Коротаихинской впадине Тимано-Печорского бассейна в сборнике Новые идеи в геологии нефти и газа - 2015. Издательство Московского университета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, тезисы, С. 268-272
15. Галкин В.И., Кочнева О.Е. Геология и геохимия нефти и газа. Издание:Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, - 2017 , С.181
16. Бембель С.Р. Геология и картирование особенностей строения месторождений нефти и газа Западной Сибири. Издание:ТИУ, Тюмень, - 2016 , С. 215.
17. Норман, Дж. Хайн Геология, разведка, бурение и добыча нефти / Норман Дж. Хайн. - М.: Олимп-Бизнес, 2008. - 752 с.
18. Tang G.-Q. & Morrow, N.R. Influence of brine composition and fines migration on crude oil/brine/rock interactions and oil recovery. Journal of Petroleum Science and Engineering, 1999, 111.–no. 24, p. 99
19. Morrow N., Buckley J. Improved oil recovery by Low-Salinity Waterflooding. SPE 129421.
20. Wilcox R., Fisk J. Test show shale behavior, aid well planning. Oil and gas J., 1983, 12/IX, v. 81, no. 37.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ГТМ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ХМАО-ЮГРЫ

Саранча А.В., Майер А.В.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Аннотация: Добыча нефти в Югре ведется уже пять десятилетий. Открыто более 470 месторождений нефти и газа, из которых более 260 находятся в разработке. Нефтедобывающие компании ежегодно проводят порядка 20 тысяч различных геолого-технических мероприятий (ГТМ) для повышения добычи нефти и интенсификации притока скважин. В 2018 году нисходящий тренд по добычи нефти был сломлен и во многом благодаря масштабной работе и проведении различных геолого-технических мероприятий на эксплуатационном фонде скважин.

Цель исследований. Исследование направленно на оценку эффективности проведения геолого-технических мероприятий в скважинах на месторождениях ХМАО-Югры.

Задачи исследований. Для достижения цели необходимо решение следующих задач:

- обработка и систематизация данных по добыче нефти на месторождениях ХМАО-Югры;
- анализ причин роста и падения добычи нефти в округе;
- сбор и анализ данных по проведению геолого-технических мероприятий в скважинах.

Результаты исследований. Традиционные технологии разработки, включающие в себя стандартный набор ГТМ, смогли в некоторой степени остановить нисходящую тенденцию в добыче нефти, но эффект может быть не долгим и поэтому, необходимость в создании новых технологий нефтедобычи, базирующихся на более глубоких фундаментальных исследованиях.

Ключевые слова: оценка, добыча нефти, скважина, эффективность, проведение геолого-технических мероприятий.

THE EFFICIENCY OF GEOLOGICAL AND TECHNICAL MEASURES IN THE OILFIELDS OF KHMAO-YUGRA

Sarancha A.V., Mayer A.V.

Tyumen Industrial University

Abstract: Oil production in Ugra has been conducted for five decades. More than 470 oil and gas fields have been discovered, of which more than 260 are in development. Oil companies annually carry out about 20 thousand different geological and technical measures to increase oil production and intensify the inflow of wells. In 2018, the downward trend in oil production was broken and largely due to the large-scale work and various geological and technical measures at the operational well Fund.

Purpose of research. The study is aimed at assessing the effectiveness of geological and technical measures in wells in the fields of KHMAO-Yugra.

Tasks of research. To achieve the goal it is necessary to solve the following tasks:

- processing and systematization of data on oil production in the fields of KHMAO-Yugra.;
- analysis of the causes of growth and decline in oil production in the district;
- collection and analysis of data on geological and technical measures in wells.

Research result. Traditional development technologies, which include a standard set of geological and technical measures, were able to stop the downward trend in oil production to some

extent, but the effect may not be long and therefore the need for new oil production technologies based on deeper fundamental research.

Keywords: *assessment, oil production, well, efficiency, geological and technical measures.*

Введение

Добыча нефти в ХМАО-Югре ведется уже пять десятилетий. На территории округа открыто более 470 месторождений углеводородного сырья, из которых более 260 находятся в разработке. На начало 2019 года в Ханты-Мансийском автономном округе добыто порядка 11 миллиардов 700 миллионов тонн нефти [1-5].

ХМАО вносит значительный вклад в Российскую нефтедобычу, по округу добывается порядка половины российской и 6 % мировой добычи нефти, надо отметить, что это больше чем добывает любая страна Мира за исключением Саудовской Аравии и США. Стоит отметить, что данный регион обеспечивает более половины годовой добычи нефти в стране уже порядка трех десятилетий. В 2012 году из недр округа была добыта 10 миллиардная тонна нефти, а в 2016 году добыча перешагнула отметку 11 миллиардов. В мировой накопленной добычи – это составляет порядка 5 % [7-12].

Таким образом накопленная добыча нефти составила 11,7 млрд.тонн, для чего потребовалось пробурить 370 млн.метров горных пород, построить и ввести 160 тыс. скважин, извлечь из недр более 45 млрд.тонн жидкости и закачать более 55 млрд.м.куб. воды. Средний текущий КИН по разрабатываемым месторождениям составляет 0,23 д.ед. Выработка запасов ABC_1+C_2 составляет порядка 50 %, то есть в недрах остается столько же сколько уже было добыто. Также важным необходимо отметить, что кратность остаточных извлекаемых запасов (ABC_1+C_2) при текущих темпах отбора составляет всего 40 лет, но с учетом снижения добычи в будущем, лет на сто конечно еще хватит, однако сможет ли это удовлетворять растущие потребности человечества [6-12].

Результаты исследований

В 2018 году добыча нефти в ХМАО составила 236,5 млн. тонн, что на 1,2 млн. тонн больше чем в 2017 году. Важно отметить, что за последние 10 лет, это первый год с восходящей добычей по отношению к предыдущему году. Падение добычи нефти по округу продолжалось десять лет подряд. Падение добычи нефти с 2009 по 2012 год замедлялось с 7 млн.т. (2009 г.) до 2,6 млн.т (2012 г.), что давало повод для оптимизма и перелома нисходящего тренда, но 2013 и 2014 году падение усилилось до 4,8 и 4,7 млн.т., соответственно, что конечно же вызывало большую озабоченность о перспективах добычи нефти в Югре. В 2016 и 2017 годах падение добычи составляло 3,9 млн.т по отношению к предыдущему году. 2018 год является переломным, показавший прирост в добыче [6-8].

Для поддержания добычи нефти на достигнутых уровнях, необходимо постоянное проведение все большего и большего количества ГТМ. На приведенной динамике прироста добычи от ГТМ в период 2008-2013 годы, можно увидеть нисходящую тенденцию, как по суммарному приросту добычи нефти, так и по удельному на одну скважинно-операцию. И хотя прирост добычи нефти в 2013 году составил больше чем за предыдущие два года, но если рассматривать этот показатель удельно, то становится понятно, что эффективность проводимых на месторождениях мероприятий неуклонно снижается. Снижение удельного прироста добычи прослеживается по таким технологиям как бурение горизонтальных скважин, боковых стволов, гидроразрыва пласта и новым скважинам обычного профиля [10-12].

Рассматривая прирост добычи нефти по отдельным мероприятиям, необходимо отметить, что наибольший вклад осуществляется от гидроразрыва пласта, но удельная эффективность данной технологии ниже, чем бурение горизонтальных или боковых стволов/ Опираясь на удельные показатели можно сделать вывод, что бурение бокового ствола в три раза эффективнее, чем гидроразрыв пласта, а горизонтального ствола в пять раз[4-12].

Заключение

Опираясь на выше представленный материал можно сделать вывод, что новые технологии разработки нефтяных месторождений, включающие в себя эффективный набор ГТМ, смогли в некоторой степени остановить нисходящую тенденцию в добыче нефти, но эффект может быть не долгим и поэтому, необходимость в создании новых технологий нефтедобычи, базирующихся на более глубоких фундаментальных исследованиях, является крайне актуальной.

Список использованных источников

1. Саранча А.В. Кубасов Д.А. Анализ разработки месторождений ХМАО-Югры с позиции их стадийности // Горные ведомости. 2012. №2. С.66-69.
2. Саранча А.В., Саранча И.С. Анализ разработки месторождений ХМАО-Югры с позиции их стадийности // Академический журнал Западной Сибири. 2014. №1. С.126-128.
3. Толстолыткин И.П. Разработка трудноизвлекаемых запасов нефти в Ханты-Мансийском Автономном округе // Вестник ЦКР Роснедра. 2008. №2. С.15-19.
4. Толстолыткин И.П., Мухарлямова Н.В. Использование запасов нефти на месторождении ХМАО-ЮГРЫ // Наука и ТЭК. 2012. №4. С. 26-28.
5. Апасов Т.К., Апасов Г.Т., Саранча А.В. Технология и составы для проведения в скважинах водоизоляционных работ на основе карбамидоформальдегидной смолы // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2014. - № 6. – С. 277-291.
6. Бойко В.С. Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1998. – 365 с.
7. Кильдышев С.Н., Кубасов Д.А., Дорофеев А.А., Саранча А.В. Концепция выделения эксплуатационных объектов на Южно-Русском нефтегазоконденсатном месторождении // Горные ведомости. – 2011. - №7. – С.52-59.
8. Муслимов Р.Х. Методы повышения эффективности разработки нефтяных месторождений в поздней стадии // ВЕСТНИК ЦКР РОСНЕДРА. – 2008. - №1. – С.12-18.

9. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья.– М.: Недра, 2007. 467 с.
10. Шпильман В.И., Цзинь Чжи Цзюнь. Закон распределения выявленных и невыявленных залежей нефти и газа по величине запасов//Геология нефти и газа № 11.– 1993.. С. 177– 180
11. Егорова Е. В., Ключев Р.В., Босиков И.И., Цидаев Б.С. Evaluation of use of effective technologies for increasing sustainable development of natural and technical system of oil and gas complex // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т.10. №3 (37). С. 392-403.
12. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Revazov V. Ch., Performance evaluation of functioning of natural-industrial system of mining-processing complex with help of analytical and mathematical models // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 327 022013.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОПАРАФИНИСТЫХ НЕФТЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Иванова Л.Н., Иванов А., Ильмамедов Д.Х., Косиненко Е., Кочетов С.С.
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» Институт нефти и
газа, кафедра «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», г. Астрахань,
timur.guseynov_93@mail.ru

Аннотация. В статье проведен анализ пространственных и временных изменений физико-химических свойств пластовой нефти с высоким содержанием парафинов. Изучены особенности изменения содержания парафинов в нефти в зависимости от глубины залегания. Отмечено, что по физико-химическим свойствам парафинистые нефти в среднем являются малосернистыми, смолистыми, малоасфальтенистыми и имеют среднюю плотность.

Ключевые слова: физико-химические свойства нефти, парафинистые нефти, изменение содержания парафина в пластовой нефти, классификация парафинистых нефтей.

ANALYSIS OF THE CONDITION OF HIGHLY PARAFFINIC OILS DURING THE DEVELOPMENT OF DEPOSITS

Ivanova L.N., Ivanov A., Ilmamedov D.Kh., Kosinenko E., Kochetov S.S.
*"Astrakhan state technical university" Institute of oil and gas, "Development and Operation of Oil
and Gas Fields" department, Astrakhan*
timur.guseynov_93@mail.ru

Abstract. The article analyzes the spatial and temporal changes in the physicochemical properties of reservoir oil with a high paraffin content. The features of changes in the content of paraffins in oil depending on the depth of occurrence were studied. It is noted that, according to their physicochemical properties, paraffinic oils are, on average, low-sulfur, resinous, low-asphalten, and have an average density.

Keywords: physical and chemical properties of oil, paraffinic oils, change in the content of paraffin in reservoir oil, classification of paraffinic oils.

Вследствие пространственного характера информации о свойствах нефтей исследования закономерностей распределения парафинистых нефтей (ПН) и изменения их свойств проводились с использованием геостатистического подхода, основанного на сочетании методов статистического и пространственного анализов. Пространственный анализ требует применения картографических материалов и на современном уровне осуществляется с использованием средств геоинформационных систем и ГИС-технологий. При этом картографические материалы используются как для проведения пространственного анализа данных, так и для картографического отображения результатов анализа.

Для проведения исследований необходима классификация ПН. Существуют различные классификации нефтей по содержанию парафинов. В [1] предлагается разделять нефти по содержанию парафинов на три класса: малопарафинистые (содержание парафинов менее 1,5 %), среднепарафинистые (от 1,5 %

до 6 %) и парафинистые (более 6 %). Здесь пороговые значения определены с учетом отраслевого стандарта ОСТ 38.01197-80. В соответствии с ГОСТ Р 51858-2002 далее будем считать нефти парафинистыми, если содержание парафинов в них более 6 %.

На рис. 1 приведена карта-схема распределения основных нефтегазоносных бассейнов на указанных континентах.

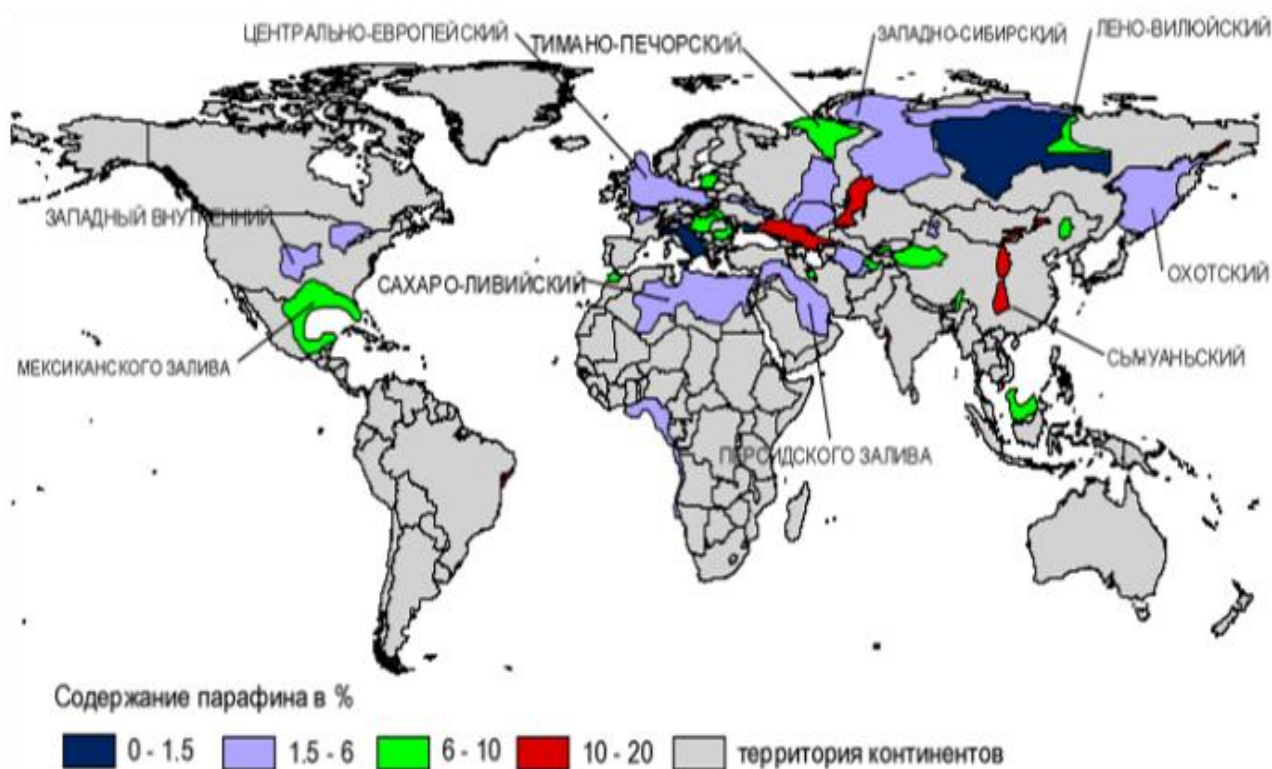


Рисунок 1 - Карта-схема распределения основных нефтегазоносных бассейнов по содержанию парафинов в нефти

Здесь изображены зоны размещения бассейнов со среднебассейновыми значениями содержания парафинов, попадающими в следующие интервалы: 1-ый – от 0 до 1,5 %; 2-ой – от 1,5 % до 6%; 3-ий – от 6 % до 10 %; 4-ый - от 10 % до 20 %.

Рассмотрим распределение российских ПН по нефтегазоносным бассейнам. Нефти Лено-Виллюйского, Тимано-Печорского и Северо-Кавказско-Мангышлакского бассейнов, в которых средне-бассейновое содержание парафинов превышает 6 %, являются в среднем парафинистыми.

В среднем ПН нефти согласно классификации, представленной в монографии [1], малосернистые, смолистые, малоасфальтенистые и имеют среднюю плотность ($0,84 \div 0,88 \text{ г/см}^3$) и среднее содержание фракции н.к. 200°C .

Рассмотрим далее зависимость содержания парафинов в нефтях от глубины залегания. Из рис. 2 следует, что на глубинах от 3 до 5 км среднее содержание парафинов в российских ПН доходит до 12-18 % - это высокопарафинистые нефти. Установлено, что на всех исследованных глубинах среднее содержание

парафинов в парафинистых нефтях мира и России превышает более 8 % [2, 3].

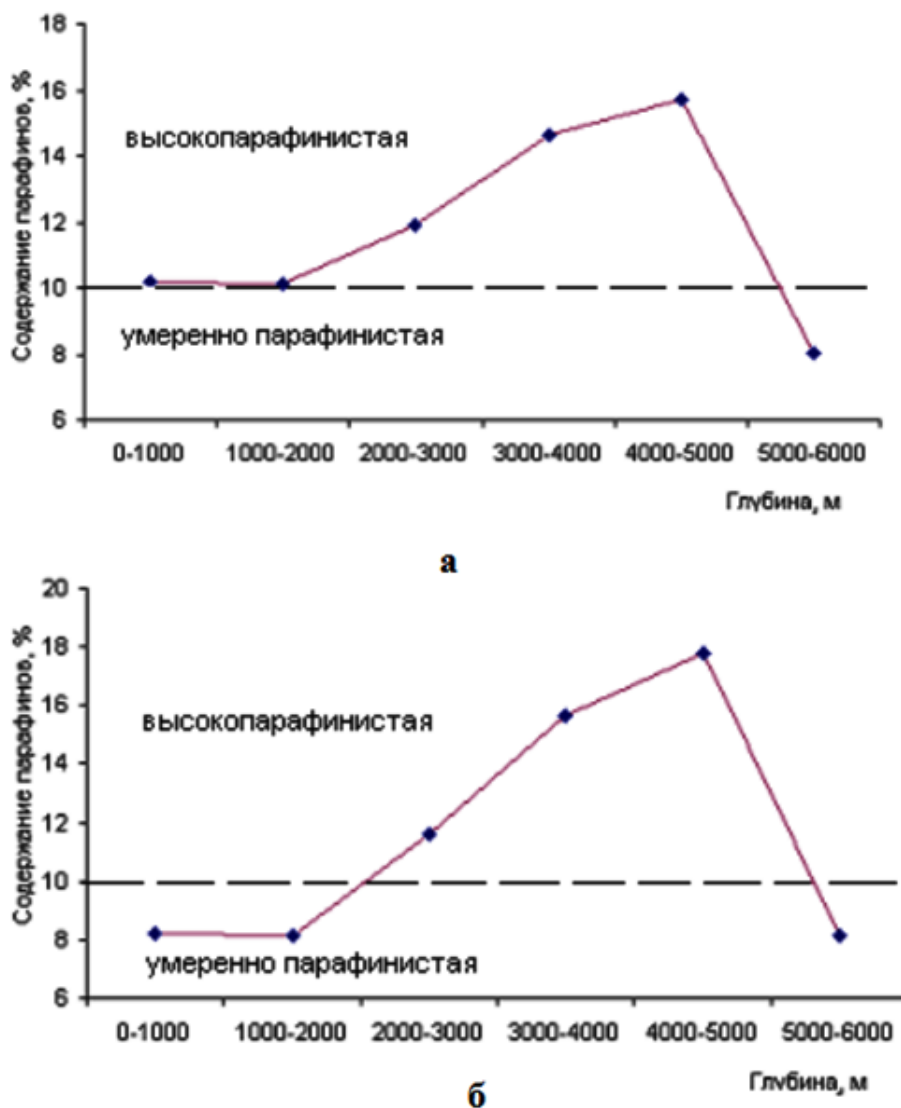


Рисунок 2 - Зависимость содержания парафинов от глубины залегания в парафинистых нефтях мира (а) и России (б)

Анализ изменений содержания парафинов в нефтях от геологического возраста нефтевещающих пород основывался на исследовании 1705 образцов с известным возрастом.

Из анализа следует, что наиболее обширный материал относится к мезозою (764 образца ПН, что составляет около 45 % от общего количества образцов ПН). Примерно равное количество ПН залегает в отложениях палеозоя и кайнозоя (28 % и 27 % соответственно), а в протерозойских отложениях их менее 1 % [4-6].

Большинство образцов ПН относится к следующим эпохам: нижнему каменноугольному отделу, средней юре, верхней юре и нижнему мелу. В кайнозое практически во всех стратиграфических периодах содержание парафина не превышает 10 % и нефти относятся к подклассу умеренно парафинистых, за исключением нефтей верхнего неогена.

Список использованных источников

1. Полищук Ю.М., Ященко И.Г. Физико-химические свойства нефтей: статистический анализ пространственных и временных изменений. -Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. – 109 с.
2. Ильин А.Н., Полищук Ю.М., Ященко И.Г. Высокопарафинистые нефти: закономерности пространственных и временных изменений их свойств // НТЖ «Нефтегазовое дело». – 2007.- №2.
3. Коваль А.А., Егорова Е.В. Возможности метода прогнозирования парфинизации нефтедобывающих скважин/ Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа Материалы VII Международной научно-практической конференции, 2016 год/ Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань : 2016. С. 27-30.
4. Коваль А.А., Егорова Е.В. Современные взгляды на состояние проблемы асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) в нефтепромысловом оборудовании и возможные методы ее решения // Международная научная конференция научно-педагогических работников Астраханского государственного технического университета, посвящённая 85-летию со дня основания вуза (59 НПР) материалы. ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» - Астрахань : 2015. С. 56-57.
5. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Босиков И.И., Гудиев Т.Т. Анализ потерь электроэнергии в распределительных сетях 6 кВ предприятия нефтегазовой отрасли // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли». Том III (Альметьевск, 14-17 ноября 2018 г.). - Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2018. С. 407-410.
6. Ключев Р.В., Босиков И.И., Кисиев Д.Б. Геолого-геофизическая оценка палеогеновых и миоценовых отложений районов Восточного Предкавказья // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли». Том III (Альметьевск, 14-17 ноября 2018 г.). - Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2018. С. 123-126.

ГЕОНАВИГАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ БУРЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕКЦИЙ СКВАЖИН В РОССИЙСКОМ СЕКТОРЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Егорова Е.В., Бяков А.П.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» Институт нефти и газа,
кафедра «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»,
г. Астрахань

Аннотация: В статье приведена технология проводки сверхпротяженных горизонтальных секций эксплуатационных скважин на месторождениях акватории Северного Каспия с применением современных геонавигационных комплексов. Описаны сейсмические модели для учета неопределенности геологического строения, которые позволяют на начальном этапе строительства скважины оценить риски связанные с изменением структурной поверхности, наличием тектонических нарушений и возможной литологической изменчивостью. Что позволяет разработать оптимальную траекторию скважины для максимальной эффективности эксплуатации продуктивного горизонта.

Ключевые слова: месторождения акватории Каспийского моря, сверхпротяженные горизонтальные участки скважин, геонавигация, геофизические исследования, траектория скважины.

GEONAVIGATION TECHNOLOGIES IN DRILLING HORIZONTAL WELL SECTIONS IN THE RUSSIAN SECTOR OF THE CASPIAN SEA

Egorova E.V., Byakov A.P.

"Astrakhan state technical university" Institute of oil and gas, "Development and Operation of Oil and Gas Fields" department, Astrakhan

Annotation: *in article the technology of wiring over-stretched horizontal sections of production wells in the fields of the Northern Caspian Sea using modern geosteering systems is presented. Seismic models are described to take into account the uncertainty of the geological structure, which at the initial stage of well construction can be used to assess the risks associated with changes in the structural surface, the presence of tectonic disturbances and possible lithological variability. This allows us to develop an optimal well trajectory for maximum efficiency of exploitation of the productive horizon.*

Keywords: *fields of the Caspian Sea, over-stretched horizontal sections of wells, geosteering, geophysical surveys, well trajectory.*

Технологии наклонно-направленного и горизонтального бурения с большим отходом от вертикали, на сегодняшний день, стали неотъемлемой частью эффективной разработки углеводородных залежей во всем мире. Наиболее актуальным вопросом проводки таких скважин, зачастую со сложным профилем, стала их навигация. Процесс геонавигации заключается в корректировке траектории скважины, непосредственно в процессе ее проводки, на основе анализа данных (геолого-геофизических свойств вскрытых пород), полученных в про-

цессе бурения. Главной целью геонавигации является оптимизация траектории скважины для достижения ее максимальной продуктивности.

При проводке горизонтального участка скважины крайне важно своевременно определять расстояния до границ водонефтяного и нефтегазового контакта, прослой флюидоупорных пород в продуктивном коллекторе. Данные геонавигационных приборов позволяют своевременно корректировать направление бурильной колонны, и тем самым, максимально эффективно осуществить проводку скважины внутри продуктивного горизонта [1].

В российском секторе Каспийского моря нефтяной компанией «ЛУКОЙЛ» открыт ряд крупных месторождений нефти и газа, характеризующихся разнообразием геолого-физических характеристик. Освоение и ввод в разработку месторождений данного региона было начато в 2009 году с месторождения имени Ю.Корчагина путем бурения наклонно-направленных скважин с протяженным горизонтальным окончанием.

На месторождении им. Ю.К выявлено шесть залежей содержания УВ в палеогеновых, альбских, аптских, неокомских, волжских и келловейских отложениях. Действующим проектным документом предусмотрена разработка газоконденсатонефтяных залежей неокомского надъяруса и волжского регионаруса [1-3].

На месторождении пробурено и эксплуатируется 27 добывающих и 6 нагнетательных скважин (рис. 1).

На всех этапах строительство скважин сопровождается геофизическими и геолого-техническими исследованиями, которые позволяют достичь основных целей при бурении скважин, таких как безопасность производства работ, высокая скорость проходки и максимальное расположение горизонтальной части скважины в породах коллекторах, что в свою очередь является основным показателем дебита скважины.

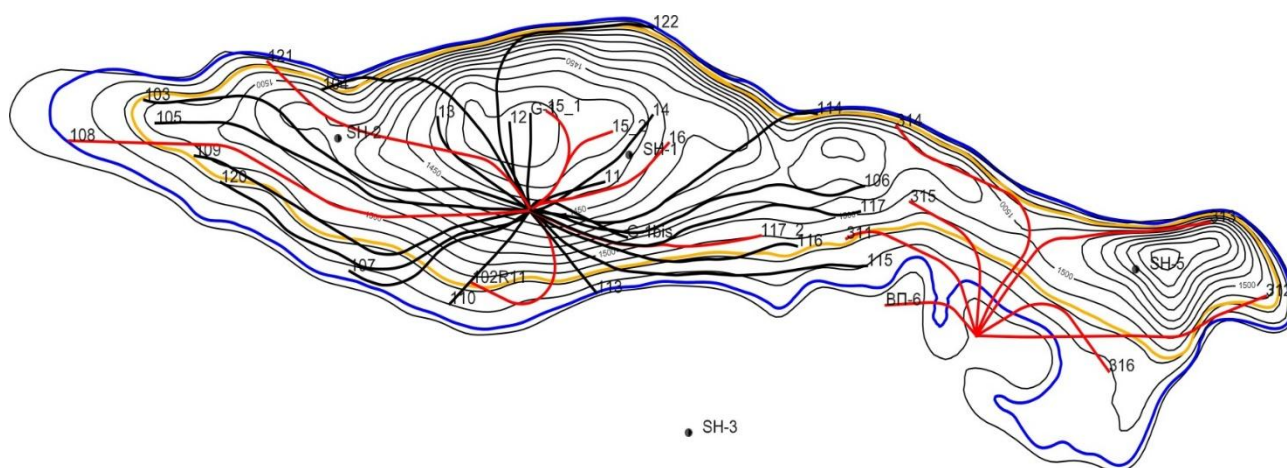


Рисунок 1 - Структурная карта по кровле неокомского надъяруса с расположением фактических и проектных скважин

Учитывая высокую латеральную и вертикальную неоднородность терригенных отложений неокома, а также вертикальное ограничение коридора бурения расстоянием от ГНК и ВНК, эффективная проводка скважин с большим от-

ходом невозможна без данных ГИС-бурения (LWD). Ни одна эксплуатационная скважина не бурится без коррекции проектной траектории в реальном времени. Данные ГИС-бурения используются для корректировки сейсмических и эксплуатационных моделей [2-5].

К настоящему времени накоплен определенный опыт использования приборов ГИС-бурения (LWD) в реальном времени, который позволил оптимизировать комплекс геофизических исследований и определить их сильные и слабые стороны. В процессе строительства скважин выработанный комплекс LWD (ГК, ГК_{пл}, ННК, ИГН, ЭК, Каверномерия, ГК-наклонометрия (image)) позволяет довольно успешно определять петрофизические параметры коллекторов, так же определенной мере с помощью многозондового азимутального прибора индукционного каротажа компании Шлюмберже PeriScore проводить скважины в маломощных пластах коллекторов[1].

Технология каротажа в реальном времени при бурении горизонтальных секций скважин на месторождении им. Ю. Корчагина в компании Шлюмберже осуществляется с помощью приборов LWD, которые включаются в бурильную компоновку на некотором удалении от долота (рис.2).

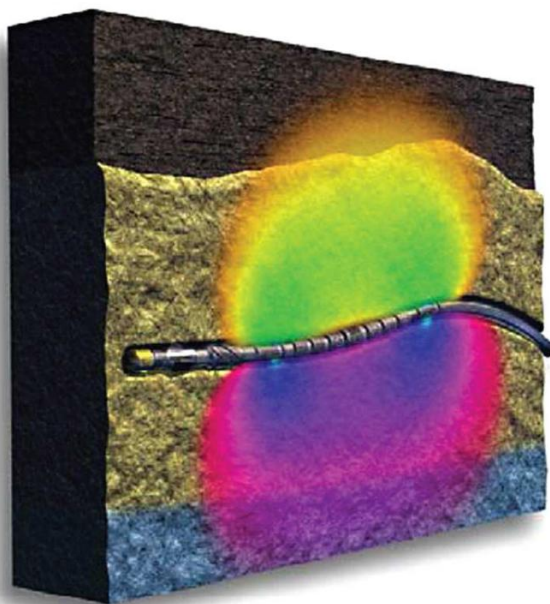


Рисунок 2 - Расположение приборов LWD в бурильной компоновке при бурении

Данные приборы, в зависимости от поставленных задач, регистрируют те или иные параметры в реальном времени, которые в цифровом виде передаются по каналам связи на поверхность.

На поверхности эти данные обрабатываются и используются в специализированных программных продуктах (Rohar, Paradigm и т.д.) для визуализации, моделирования, принятия оперативных решений и т.д.

Для учета неопределенности геологического строения ведётся 3 сейсмические модели, которые позволяют на начальном этапе строительства оценить

риски связанные с изменением структурной поверхности, наличием тектонических нарушений и возможной литологической изменчивостью. Это позволяет разработать оптимальную траекторию с возможностью реакции на данные риски [1-3].

Успешность проводки сверхпротяженных горизонтальных скважин в маломощных пластах коллекторов достигнута за счет тщательной предварительной подготовки, геологического и геомеханического моделирования, детальных расчетов траекторий планируемых к бурению скважин на модели, выработки детального технического проекта на строительство и выполнения оптимального для данных геологических условий комплекса каротажа во время бурения.

Для решения поставленных задач при бурении скважин на месторождении им. Ю. Корчагина на данный момент используется комплекс приборов LWDEcoScore + PeriScope (рис. 3).

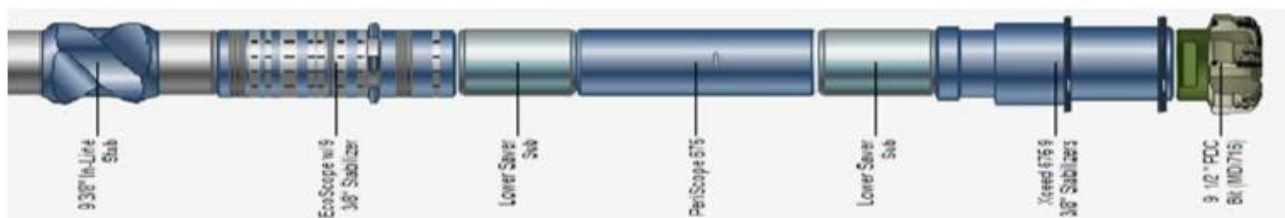


Рисунок 3 - EcoScore+PeriScope в составе компоновки

Вместе эти приборы позволяет регистрировать такие параметры, как:

- нейтронная пористость
- сигма
- спектроскопия
- удельное электрическое сопротивление
- ультразвуковой каверномер
- азимутально-ориентированная плотность
- фотоэлектрический фактор
- затрубное давление в процессе бурения
- азимутально-ориентированный гамма каротаж
- наддолотное измерение зенитного угла
- многоосевое измерение шоков
- имиджи плотности.
- симметризованные глубокие направленные измерения (100кГц, 400кГц, и 2МГц)

Которые дают достаточный объем информации о петрофизических свойствах и структурных элементах залегания (углах падения) пластов во время бурения маломощных пластов коллекторов на максимально приближенной к долоту дистанции, что подтверждено строительством скважин №120 (ГС 3696м-82% по коллектору) и №103(ГС 4520м-75% по коллектору).

Эти параметры в графическом интерфейсе выглядят так (рис. 4).

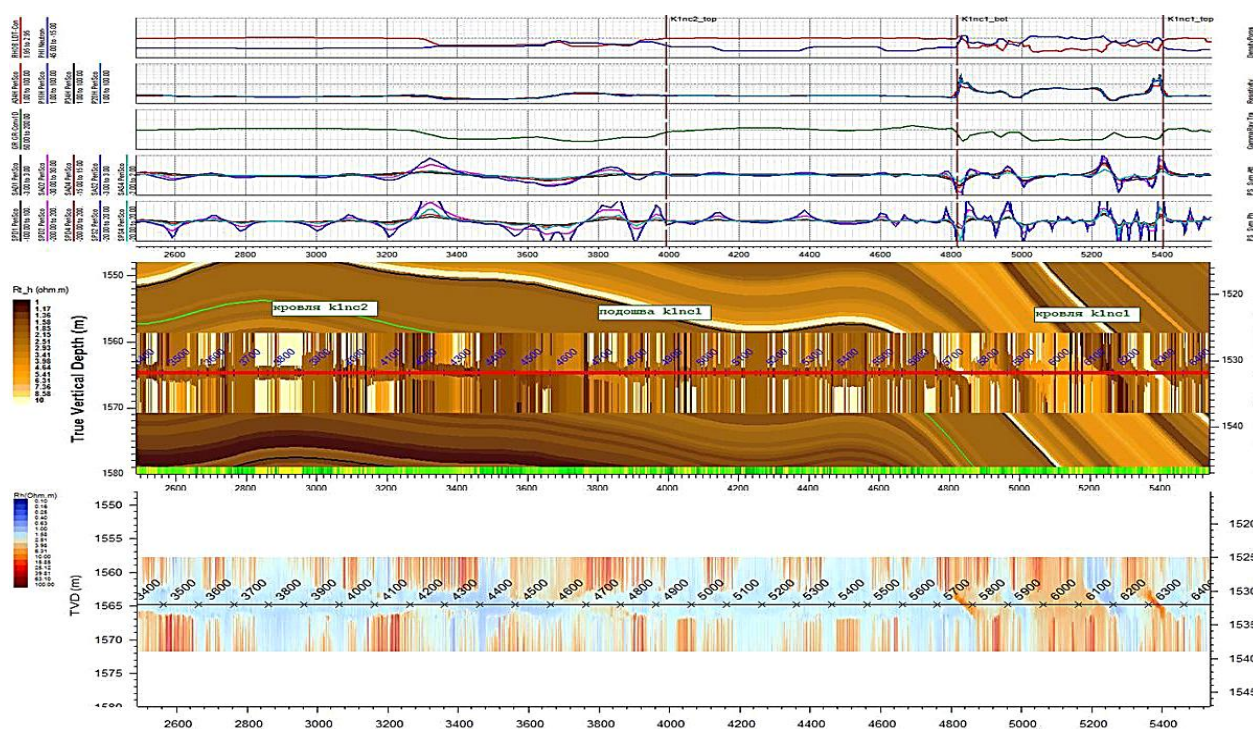


Рисунок 4 - Визуализация данных измеряемых EcoScope+Periscope

Таким образом, применение современных технологий геонавигации при проводке протяженных горизонтальных участков эксплуатационных скважин на шельфе Каспийского моря, позволяет получить оптимальную траекторию ствола, позволяющую максимально эксплуатировать продуктивный пласт [1-5].

Заключение. Основными преимуществами применения технологии GeoSphere являются:

- увеличение потенциала добычи коэффициента извлечения,
- доступ к новым или ранее нерентабельным запасам,
- снижение обводненности продукта,
- избежание осложнений при бурении,
- уточнение оценки запасов,
- сокращение количества пилотных стволов,
- устранение необходимости бурения боковых стволов,
- уточнение интерпретации данных сейсмической разведки.

Список использованных источников

1. Онегова Е.В., Эпов М.И. Трехмерное моделирование нестационарного электромагнитного поля для задач геонавигации горизонтальных скважин // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (7), с. 925—930.
2. Гусейнов Т.Н., Егорова Е.В. Технология сверхглубокого картирования разреза при бурении // Новейшие техн. осв. месторожд. углеводородного сырья и обесп. безопасности экосистем Касп. шельфа. - Астрахань: АГТУ, 2018. - С. 35-37.
3. Голенкин М.Ю., Штунь А.С., Халиуллов И.Р., ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», Садыков Л.А., Захаров И.А., Шлюмберже Комплексирование методов прогноза и выделения разломов и зон трещиноватости с целью снижения рисков при пересечении в процессе про-

водки скважин со сверх протяжёнными горизонтальными секциями (6000м) на месторождении им.Ю.Корчагина, SPE-171320171320-RU

4. Youn, R.B., Klyuev, R.V., Bosikov, I.I., Dzeranov, B.V. The petroleum potential estimation of the North Caucasus and Kazakhstan territories with the help of the structural geodynamic prerequisites // 2017. Sustainable Development of Mountain Territories 9(2), pp. 172-178 .

5. Bosikov, I.I., Klyuev, R.V., Kelekhsaev, V.B. Method for determining of the ventilation object transfer function according to normal operation (by the example of mining and processing complex) // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings 8076113.

БОРЬБА С АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ БЫСТРИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Даудов С.Д., Егорова Д.А., Калмыков П.А., Кумаров А.А., Мирзоян Д.Ф.
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» Институт нефти и
газа, кафедра «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», г. Астрахань,
sdaudov@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены методы борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями для применяемых на месторождении способов добычи нефти. Представленный в работе анализ методов борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями на Быстринском месторождении показал эффективность применения установок подогрева нефти.

Ключевые слова: молодое месторождение, асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО), методы борьбы с АСПО, установка подогрева нефти (УПН).

STRUGGLE AGAINST ASPHALT-MOSMOPARAPHIN SEDIMENTS IN THE CONDITIONS OF THE BYSTRINSKAYA DEPOSIT

Daudov S.D., Egorova D.A., Kalmykov P.A., Kumarov A.A., Mirzoyan D.F.
*"Astrakhan state technical university" Institute of oil and gas,
"Development and Operation of Oil and Gas Fields" department, Astrakhan*

Abstract: *the article discusses methods for dealing with asphalt-resin-paraffin deposits for oil production methods used at the field. The analysis of methods for controlling asphalt-resin-paraffin deposits at the Bystrinskoe field, presented in the paper, showed the effectiveness of oil heating installations.*

Keywords: *young field, asphalt-resin-paraffin deposits (ARP), methods for controlling ARP, installation of oil heating (OTF).*

Быстринское месторождение является относительно молодым месторождением. Добыча нефти ведется фонтанным и механизированным способами с помощью установок электроцентробежных насосов.

Основными видами осложнений при добыче нефти являются образование и скопление асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), которые приводят к снижению производительности системы, уменьшению межремонтного периода эксплуатации скважин и эффективности работы насосных установок.

Основными методами борьбы с АСПО являются:

- тепловые: горячая нефть или вода в качестве теплоносителя, острый пар, электропечи, индукционные подогреватели, реагенты, при взаимодействии с которыми протекают экзотермические реакции;
- механические: скребки, скребки–центраторы;
- химические: растворители.

Применяемые методы борьбы с АСПО подбираются с учетом индивидуальных геолого-физических особенностей каждого месторождения.

Существует два принципиальных подхода к борьбе с этим нежелательным явлением: предотвращение отложений парафина (превентивный подход) и различные методы удаления отлагающегося парафина [1].

Методы удаления АСПО, образующихся на НКТ и погружном оборудовании, классифицируются на две группы: механические и тепловые.

Механические методы предполагают удаление уже образовавшихся АСПО на насосно-компрессорных трубах, для чего разработан ряд скребков различных конструкций.

Тепловые методы удаления АСПО состоят из таких операций, как промывка горячей нефтью, электропрогрев путём спуска греющего кабеля.

Технология применения теплоносителя предусматривает нагрев жидкости в специальных нагревателях –котельных установках передвижного типа —и подачу ее в скважину способом прямой или обратной промывки [2].

Одним из методов удаления глубинных парафинообразований служит тепловая депарафинизация скважин, в её основе лежит процесс плавления парафинов.

Под плавлением понимают явление перехода твердого кристаллического вещества в жидкую фазу, при этом происходит поглощение тепла.

При постоянном давлении процесс плавления вещества происходит при определенной температуре – температуре плавления [3].

Возможно также применение установок подогрева нефти (УПН).

УПН состоит из нагревательного кабеля, станции управления нагревом (в дальнейшем – станция управления) и высоковольтного трансформатора марки ТМПН (трансформатор не поставляется) или без трансформатора.

УПН предназначена для управления нагревом и защиты нагревательного кабеля, расположенного в лифтовых трубах нефтяных и газовых скважин.

Принцип работы УПН заключается в нагреве внутреннего пространства НКТ и поддержания температуры по стволу НКТ выше температуры образования парафиновых отложений (температуры кристаллизации парафина) с помощью специального изолированного нагревательного кабеля, помещенного внутрь НКТ, длиной равной интервалу максимального парафиноотложения.

Технология применения нагревательного кабеля сводится к следующим простым операциям: спуск кабеля в НКТ, подключение к станции управления и подача необходимой электрической мощности для поддержания температуры по стволу скважины выше температуры выпадения парафинов и гидратов.

Принципиальная схема УПН представлена на рисунке 1.

УПН прошла опытно-промышленные испытания в ряде нефтяных компаний страны (НК «ЛУКОЙЛ», НК «РОСНЕФТЬ», «ТНК-ВР») и, получив должную оценку своей эффективности, успешно применяется подразделениями данных компаний для депарафинизации скважин, оборудованных электроцентробежными насосами, на фонтанирующих, газлифтных скважинах многих нефтедобывающих компаний.

Установка эксплуатируется во всех климатических зонах, от юга до Крайнего Севера, решая задачу долговременной бесперебойной работы скважин, показав свою высокую экономическую эффективность [4-6].

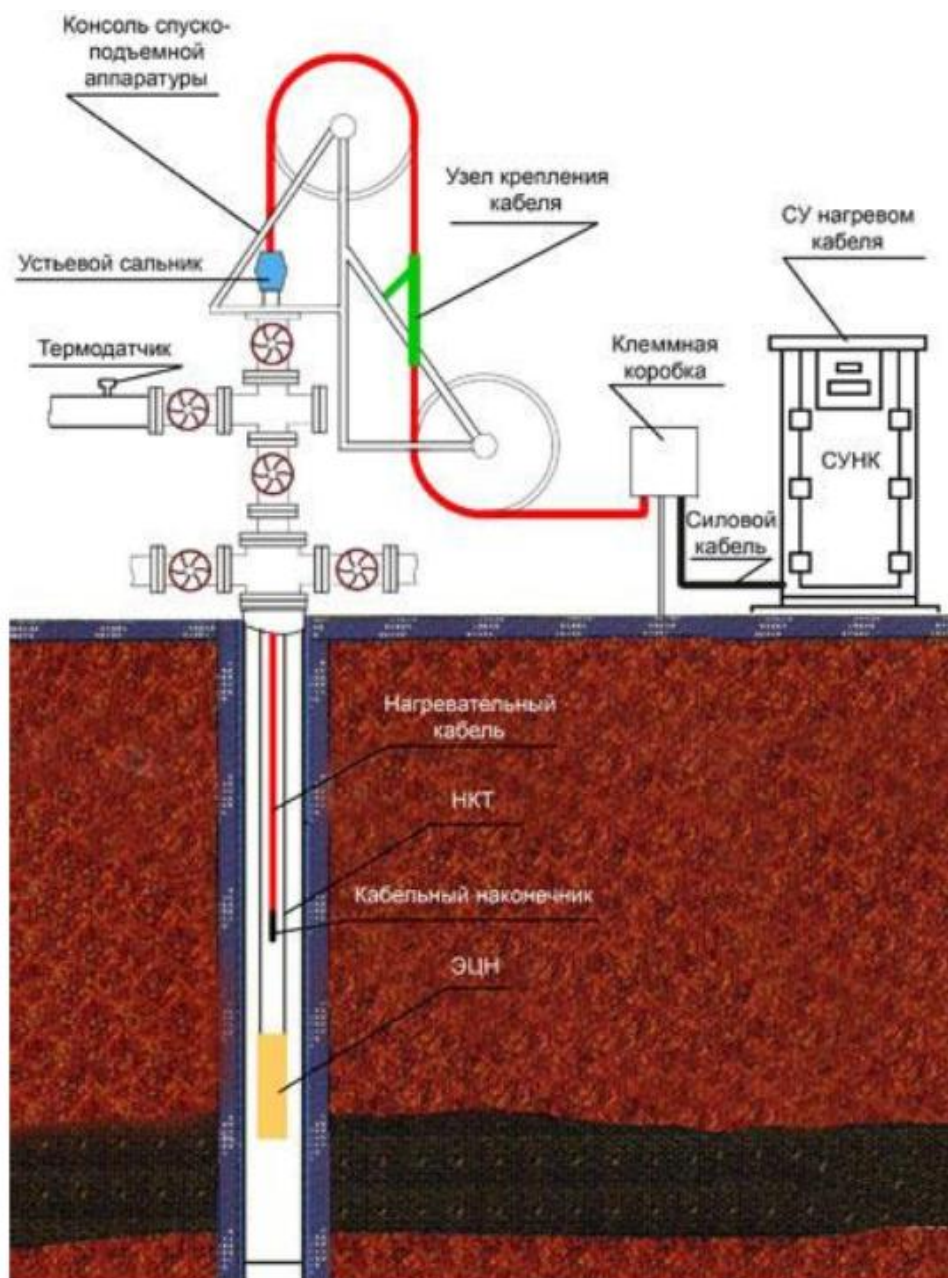


Рисунок. 1 - Принципиальная схема устройства подогрева скважин

Одним из самых больших преимуществ данного метода предотвращения отложений парафина и образования парафиногидратных пробок является его полная экологическая безопасность. Использование надежных сальниковых устройств позволяет полностью исключить загрязнение окружающей среды на все время работы установки на скважине.

Практическое применение УПН при добыче нефти показало, что срок полной окупаемости установок (для скважин с дебитом 25...35 м³/сут при непрерывной работе кабеля мощностью до 50 кВт) не превышает 60 суток.

На более мощных скважинах этот срок сокращается в два раза, что позволяет снизить затраты на добычу нефти и уменьшить себестоимость добываемой нефти.

Список использованных источников

1. Баймухаметов К.С., Викторов П.Ф., Гайнуллин К.Х., Сыртланов А.Ш. Геологическое строение и разработка нефтяных и газовых месторождений Башкортостана : учебн. пособие. Уфа: РИЦ АНК «Башнефть», 1997. 424 с.
2. Коваль А.А., Егорова Е.В. Возможности метода прогнозирования парфинизации нефтедобывающих скважин/ Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа Материалы VII Международной научно-практической конференции, 2016 год/ Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань : 2016. С. 27-30.
3. Галлямов М.Н., Рахимкулов Р.Ш. Повышение эффективности эксплуатации нефтяных скважин на поздней стадии разработки месторождения: учебник. М.: Недра, 1978. 201 с.
4. Коваль А.А., Егорова Е.В. Современные взгляды на состояние проблемы асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) в нефтепромысловом оборудовании и возможные методы ее решения // Международная научная конференция научно-педагогических работников Астраханского государственного технического университета, посвящённая 85-летию со дня основания вуза (59 НПП) материалы. ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» - Астрахань :2015. С. 56-57.
5. Bosikov, I.I., Klyuev, R.V., Kelekhsaev, V.B. Development of indicators for performance functioning natural-industrial system evaluation at the mining and processing complex using the analytical hierarchy method // 2017. 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings 8076114.
6. Kozhiev, H.H., Klyuev, R.V., Bosikov, I.I., Youn, R.B. Analysis of management of mine ventilation networks using simulation models // 2017. Sustainable Development of Mountain Territories 9(4), pp. 414-418.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ГАЗА НА ВЕРХНЕ-ПУРПЕЙСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Абаев А.Д., Мурзагалиев Ю.В., Буланов Д.О., Нежинский А.В., Малиев А.Г.
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» Институт нефти и
газа, кафедре «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», г. Астрахань

Аннотация: приведен опыт оптимизации технико-экономических показателей добычи углеводородов на газоконденсатном месторождении. Рассмотрен основной способ предварительной подготовки газа применяемый на Верхне-Пурпейском месторождении. Приведена технологическая схема установки предварительной подготовки газа Верхне-Пурпейского месторождения.

Ключевые слова: газоконденсатное месторождение, установка предварительной подготовки газа (УППГ), установка комплексной подготовки газа (УКПГ), газовые сепараторы.

EXPERIENCE OF OPERATION OF INSTALLATION OF THE PRELIMINARY PREPARATION OF GAS AT THE TOP-PURPEYAN DEPOSIT

Abaev A.D., Murzagaliev Yu.V., Bulanov D.O., Nezhinsky A.V., Maliev A.G.
"Astrakhan state technical university" Institute of oil and gas,
"Development and Operation of Oil and Gas Fields" department, Astrakhan

Abstract: the experience of optimizing the technical and economic indicators of hydrocarbon production in a gas condensate field is presented. The main method of pretreatment of gas used in the Upper Purpeyskoye field is considered. A flowchart of a gas pretreatment unit for the Upper Purpeiskoye field is presented.

Keywords: gas condensate field, gas pretreatment installation (UPPG), integrated gas treatment installation (GPP), gas separators.

Верхне-Пурпейское газоконденсатное месторождение в административном отношении расположено в Пуровском районе Тюменской области, в Ямало-Ненецком автономном округе.

По состоянию на 2018 г. на месторождении пробурено 33 скважины, три скважины в собственности государства. Суммарный дебит скважин Верхне-Пурпейского месторождений по состоянию на 2018 год оценивается в 978,6 млн. $\text{нм}^3/\text{год}$ по газу и 75,95 тыс. т/год по стабильному конденсату. Месторождение относится к распределённому фонду недр, а по объемам запасов к классу крупных.

В настоящее время, извлеченная пластовая смесь подается под собственным давлением по индивидуальным шлейфам от площадок скважин на установку предварительной подготовки газа (УППГ).

Одной из самых важных проблем, от конструктивного и технологического решения которой зависят оптимальные технико-экономические показатели добычи и дальнейшего транспорта газа, является подготовка газа на промысле.

- технологическую линию по предварительной подготовке газа производительностью 2,8 млн ст. м³/сутки;
- газосепаратор С-2 (для дополнительной очистки топливного газа);
- аварийную емкость для опорожнения оборудования Е-2;
- дренажную емкость Е-1;
- свечи рассеивания;
- факельное хозяйство в составе:
- факел высокого давления ФУ-1,
- сепаратор факельный СФ,
- насосная конденсата;
- метанольное хозяйство.

Основным способ предварительной подготовки газа на УППГ Верхне-Пурпейского месторождения является сепарация. Сепарация – процесс разделения (отделения, разъединения) твёрдой, жидкой и газовой (паровой) фаз потока природного газа с последующим извлечением из него твёрдой и жидкой фаз [2-5].

Сепарация газа предназначена для предохранения от попадания влаги и твёрдых частиц в промысловые газосборные сети и технологического оборудование газовых и газоконденсатных месторождений. Недостаточный уровень сепарации газа приводит к низкой гидравлической эффективности промысловых газопроводов, существенному перерасходу энергии, затрачиваемой на компримирование газа, росту эксплуатационных затрат, возможности образования газогидратных пробок в промысловых системах сбора и транспорта газа, снижению эффективности работы технологического оборудования промыслов [3,4].

Сепарация газа может быть основана:

- на изменении термодинамического равновесия газового потока вследствие снижения температуры и давления;
- на способе гравитационного разделения фаз потока, происходящего за счёт разности плотностей газа, капельной жидкости и твёрдых механических примесей;
- на инерционном разделении фаз газового потока за счёт действия центробежной.

В конструкциях сепараторов отделение газа от жидких и твёрдых примесей основано на выпадении частиц при малых скоростях движения газового потока в результате действия сил тяжести или инерционных сил.

В газовых сепараторах УППГ предусмотрена коагуляционная секция (экстрактор тумана), которая предназначена для удержания мелких капель жидкости, не выпавших в осадок под действием гравитационных или инерционных сил. Для коагуляции и улавливания мелких капель жидкости употребляются жалюзийные насадки различного типа. Коагуляция и улавливание мелких капель жидкости в жалюзийных насадках осуществляется за счёт действия инерционных сил и большой поверхности контакта с сепарируемой средой. Капли жидкости весьма малых размеров (диаметры менее 10⁻⁵ м) уносятся из жалюзийных насадок и улавливаются в экстракторе тумана (наборе проволочных сеток). При размерах капель до 10⁻⁸ м преобладает броуновская коагуляция, при каплях размером 10⁻⁷ – 10⁻⁶ м - турбулентная коагуляция.

Оборудование технологического модуля сепарации рассчитано на производительность 2,8 млн ст. м³/сутки (8400 часов/год).

Для технологического модуля использовано оборудование, разработанное ЦКБН.

Опыт эксплуатации различных типов газосепараторов показал, что при номинальных расходах газа эффективность его сепарации не превышает:

- 60% для вертикальных сепараторов гравитационного принципа действия;
- 80% для горизонтальных сепараторов гравитационного принципа действия;
- 95% для жалюзийных сепараторов инерционного принципа действия.

Эффективность работы сепаратора определяется коэффициентом сепарации (отношение массы, уловленной в сепараторе твёрдой или жидкой фазы, к массе этой же фазы, поступившей в сепаратор).

Коэффициент сепарации зависит от:

- содержания жидкой или твёрдой фазы во входящем потоке;
- свойств разделяющихся фаз;
- скорости движения газа в разделительной и отбойной секциях;
- времени пребывания разделяющихся фаз в разделительной и осадительной секциях;
- места установки редуционного клапана;
- конструктивных особенностей и характера действующих сил.

Эксплуатационная характеристика газовых сепараторов зависит от пропускной способности сепаратора, коэффициента сепарации, расхода металла на единицу пропускной способности, удельных затрат пластического давления на единицу обрабатываемого газа или отделяемого конденсата.

Список использованных источников

1. Гриценко А.И. Сбор и промысловая подготовка газа на северных месторождениях России. — М.: Недра, 1999. - 473 с.
2. Гуревич Г.Р., Карлинский Е.Д. Сепарация природного газа на газоконденсатных месторождениях. М.: Недра, 1982. - 197 с.
3. Егорова Е.В., Ключев Р.В., Босиков И.И., Цидаев Б.С. Оценка использования эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы нефтегазового комплекса // Устойчивое развитие горных территорий. - 2018. - №Т. 10. № 3 (37). - С. 392-403.
4. Егорова Е.В., Босиков И.И., Гиоев С.Э. Оценка энергоэффективности в нефтегазовой отрасли // Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития". Под общ. ред. Р.В. Ключева; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)». 2018. С. 72-76.
5. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Revazov V. Ch., Pilieva D. E. Performance evaluation of functioning of natural-industrial system of mining-processing complex with help of analytical and mathematical models // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 327 022013.

ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН В МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ С ТЕЧЕНИЕМ ВРЕМЕНИ

Басиев К.Д., Алборов А.Д., Босиков И.И., Дзутцев Т.М.

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», г. Владикавказ

Аннотация: В результате проведенных исследований выявлено, что взаимодействие коллинеарных и параллельных трещин при стресс-коррозионном повреждении поверхности газопровода приводит к образованию системы крупных трещин, которые затем образуют магистральную трещину. При достижении критических размеров магистральная трещина приводит к разрушению газопровода. Полученные результаты позволяют прогнозировать степень опасности трещин и определяют запас прочности дефектной трубы.

Ключевые слова: газопровод, коррозионное растрескивание под напряжением, механика разрушения, коллинеарные трещины, параллельные трещины.

THE ORIGIN AND DEVELOPMENT OF STRESS-CORROSION CRACKS IN MAIN GAS PIPELINES WITH TIME

Basiev K.D., Alborov A.D., Bosikov I.I., Dzutsev T.M.

North-Caucasian Institute of mining and metallurgy (State Technological University)

Abstract: *as a result of the conducted researches it was revealed that the interaction of collinear and parallel cracks in stress-corrosion damage of the gas pipeline surface to the formation of a system of large cracks, which then form a main crack. When critical dimensions are reached, the main crack leads to the destruction of the gas pipeline. The obtained results allow to predict the degree of danger of cracks and determine the safety margin of the defective pipe.*

Keywords: *gas pipeline, stress corrosion cracking, fracture mechanics, collinear cracks, parallel cracks.*

Наиболее опасным коррозионным повреждением магистральных газо- и нефтепроводов является стресс-коррозия. Коррозионное растрескивание металла труб МГ под напряжением (стресс-коррозия) - специфический вид разрушения металла, представляющий собой образование на внешней поверхности металла труб сети трещин, развивающихся со временем и приводящих к аварии на трубопроводе, выбросам газа и возгоранию.[1]

В 2002 году аварийность по причине КРН составляла 10% всех аварий, и фиксировалось лишь на северных участках газотранспортной системы РФ. К 2010-м годам аварийность возросла до 38%. География распространения КРН охватывала северные, центральные и южные регионы газотранспортной системы, а также в зоне распространения многолетнемерзлых пород.

Несмотря на активное внедрение средств внутритрубной диагностики после 2000-х годов и ремонта выявленных предаварийных участков, долгое время не удавалось уменьшить рост аварийности газопроводов, и приостановить

распространение на новые регионы, на фоне ежегодного увеличения протяженности газотранспортной системы (рис. 1).

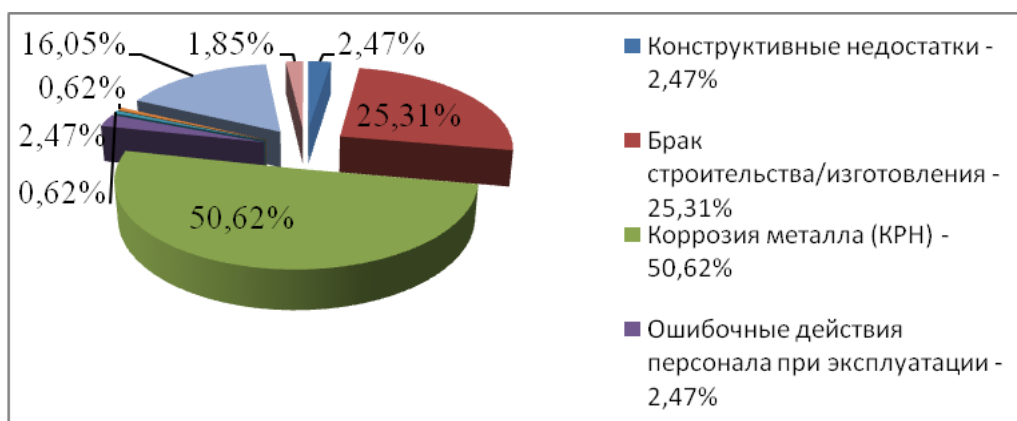


Рисунок 1 - Причины аварий МГ ПАО «Газпром» с 2005 по 2014 гг.

Исследования характера зарождения и распространения микротрещин на микроскопическом уровне велись на образцах, вырезанных из трубы диаметром 1420×18,7мм из стали X70. Микротрещины, длиной от 0,5 до 2,5 мм и раскрытием 5-7 мкм, направленные перпендикулярно действию растягивающих напряжений, распространяются от поры к поре. Тонкие, извилистые микротрещины соседствуют с другими, более широкими и глубокими. Внешние признаки таких микротрещин позволяют сделать предположение, что коррозионные процессы начинают развиваться на локальных, перенапряженных участках, как на источниках электрохимической неоднородности (рис. 2).



Рисунок 2 - Характер зарождения и развития коррозионного растрескивания стали X70

Трещина КРН развиваются от поверхностной локальной коррозии в коррозионно-активных средах при определенном уровне приложенных напряжений. Уровень коэффициента интенсивности напряжений в вершине развивающейся трещины, при достижении порогового значения K_{Isc} , способствует нача-

лу коррозионно-механического роста трещины. Расположение зародышевых концентраторов напряжений определяет зону поверхностного растрескивания (рис. 3).

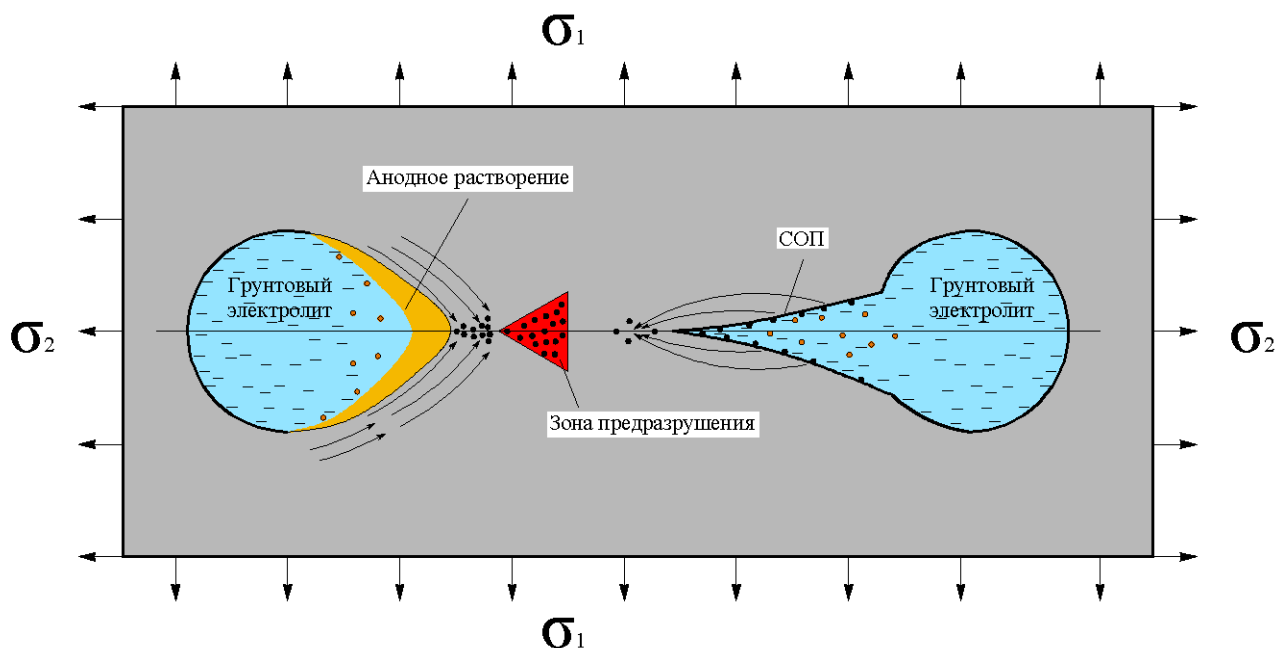


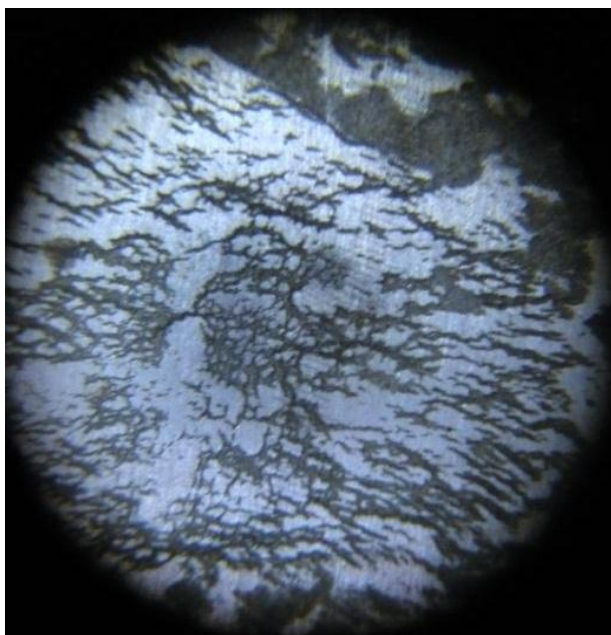
Рисунок 3 - Стадии объединения двух близлежащих питтингов в коррозионной среде при действии растягивающих напряжений

Ориентация роста трещины КРН определяется действием максимальных растягивающих напряжений. В магистральных газопроводах, под действием внутреннего давления, максимальные растягивающие напряжения действуют в окружном направлении σ_θ , а развивающиеся трещины направлены в продольном направлении трубы.

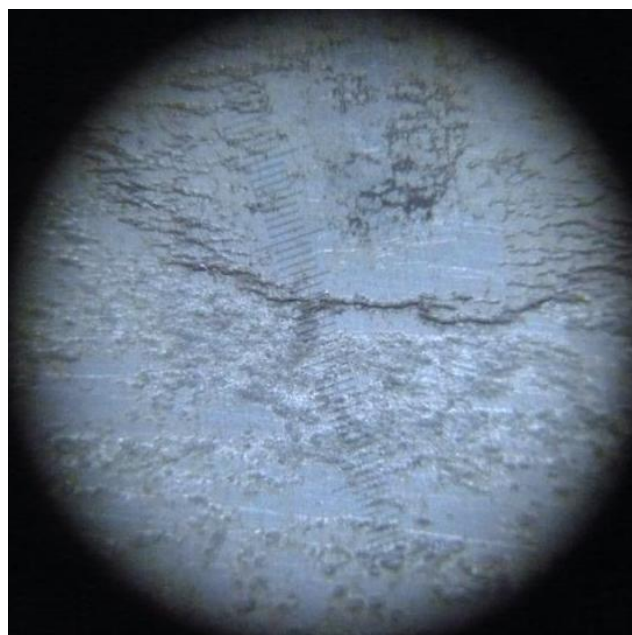
Образование концентраторов напряжений вследствие локальной коррозии, зарождение трещин КРН и объединение близко расположенных трещин в процессе их роста способствует развитию трещины.

В лабораторных условиях были получены стресс-коррозионные трещины на стали X70 (рис. 4), которые свидетельствуют о сложной природе их образования и о многостадийном процессе, происходящем в течение длительного времени при контакте напряженного металла трубы с околотрубной агрессивной средой.

Образцы подвергались нагружению таким образом, чтобы в рабочей части напряжения соответствовали $0,9\sigma_T$, $0,8\sigma_T$ и $0,7\sigma_T$. С помощью изменения параметров нагружающей системы, образцам были приданы различные запасы упругой энергии (ЗУЭ), при равных напряжениях в рабочей зоне. На рабочую зону образцов устанавливались коррозионная ячейка с раствором, имитирующим грунтовый электролит. Было установлено, что характер коррозионных повреждений зависит от ЗУЭ и является лабораторным аналогом системы труба – перекачиваемый продукт. В образцах с невысоким ЗУЭ коррозионные дефекты имели характер язвенной коррозии круглой и овальной формы. В стали X70 коррозии подвергались места неметаллических включений.



а) зародившиеся стресс-коррозионные трещины



б) образовавшаяся трещина-лидер

Рисунок 4 - Стресс-коррозионные трещины на стали X70

Объединение дефектов, рассеянных на поверхности – критическое событие, лимитирующее ресурс газопровода. Для хрупких материалов при объединении рассеянных трещин образуется очаг быстро распространяющегося разрушения [2]. Для квазихрупких и пластичных материалов объединение малоразмерных дефектов – ведущий механизм зарождения макротрещин [3, 4].

Геометрия колонии трещин играет важную роль в процессе объединения и роста трещин до разрушения. Трещины могут находиться в непосредственной близости друг к другу или обособленно. Таким образом, их можно рассматривать как «разбросанные» или «плотные». Выделяют два подхода к моделированию объединения дефектов: геометрический и силовой [5-8]. Исходя из первого подхода, ключевое значение имеют факторы взаимного расположения дефектов, когда рядом расположенные дефекты можно считать объединенными без учета взаимодействия между ними [6].

Согласно второму подходу, процесс объединения описывается с учетом напряженно-деформированного взаимодействия между трещинами, т. е. понятие взаимодействия трещин означает существование взаимного влияния полей напряжений, деформаций и смещений, для трещин, размеры которых сопоставимы с расстоянием между ними.

Важно понимать, что проблема взаимодействия трещин в системе очень сложна [7].

Принципиальный интерес представляют следующие конфигурации систем взаимодействующих трещин: коллинеарные, параллельные и их различные комбинации.

Развитие двух коллинеарных трещин, растущих навстречу друг другу, зависит от параметра $\lambda = \frac{2l}{L}$, где $2l$ – длина трещины, L – расстояние между центрами трещин. При $\lambda = \frac{2l}{L} < 1$ две коллинеарные трещины объединяются в одну трещину удвоенной длины.

В работе проведены исследования образцов из ст.Х70 с одной и двумя трещинами при циклическом нагружении при $\sigma_{\max} = 0,8\sigma_m$, $R = 0,6$; $f = 330$ цик/мин. на установке МУП-50.

Экспериментально полученные результаты (рис.5) свидетельствует о том, что максимальные размеры трещины $a = 18$ мм, $l = 27$ мм достигаются для одной трещины достигаются при $260 \cdot 10^3$ циклов, а для двух наведенных трещин – при $170 \cdot 10^3$ циклов. Значительный рост двух трещин происходит в результате их взаимного влияния и уменьшения расстояния между вершинами растущих трещин с последующим их объединением в одну трещину.

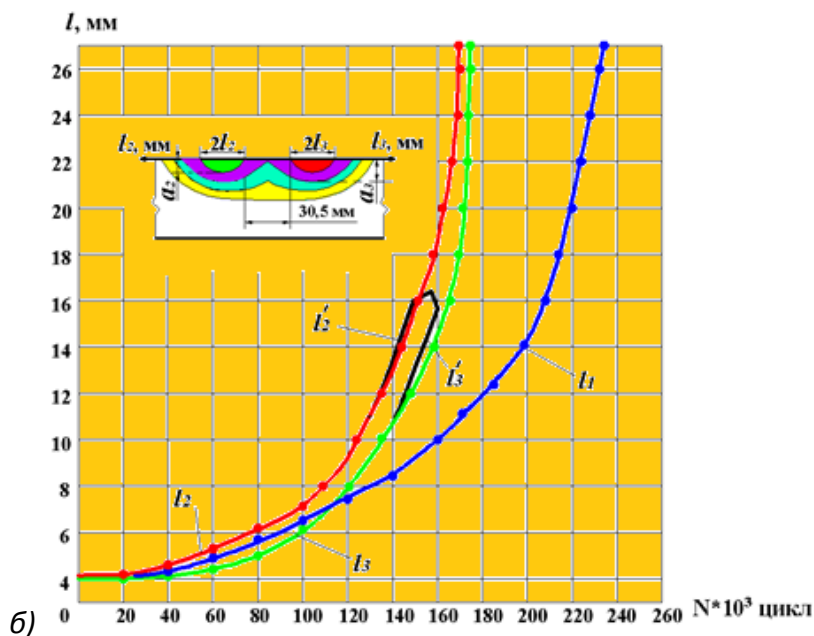
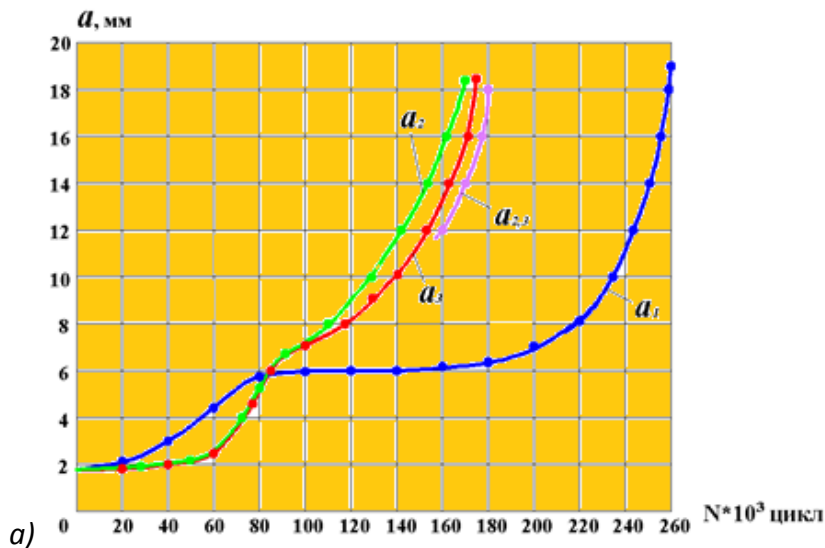
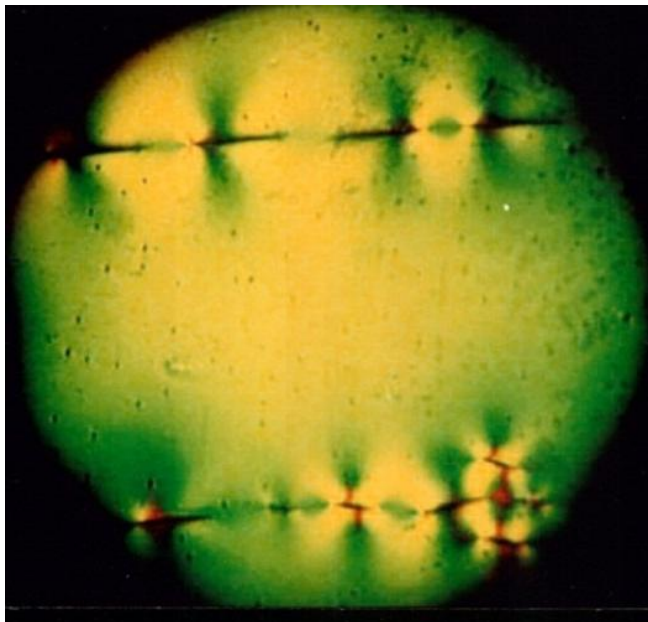
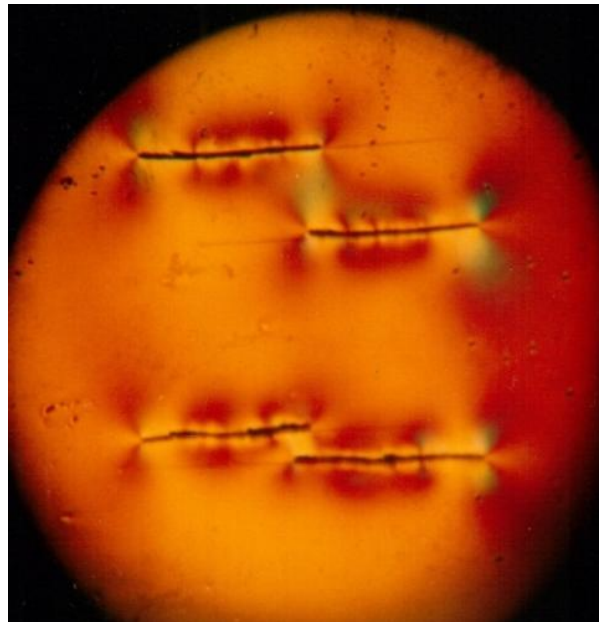


Рисунок 5.а, б. Развитие одиночной (1) и двух (2, 3) наведенных трещин эллиптической формы на образцах из трубной ст. Х70, $\varnothing 1420$ мм, $\delta = 18,5$ мм, по толщине (а) и поверхности (б) при циклическом нагружении $\sigma_{\max} = 0,8\sigma_T$, $R = 0,6$

Степень влияния трещиноподобных дефектов исследовалась также на оптически чувствительном материале в условиях двухосного напряженного состояния $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 2$, что также подтверждает зависимость роста дефектов от расстояния между ними и приведена на рис. 6.



коллинеарные трещины



параллельные трещины

Рисунок 6 - Взаимное влияние трещиноподобных дефектов на оптически чувствительном материале

Расчетными и экспериментальными методами исследовалось также взаимное влияние и развитие двух и более параллельных трещин.

При анализе взаимодействия параллельных дефектов типа трещина используется понятие «относительного размера» дефекта λ , равного отношению размеров дефектов к расстоянию между ними.

$$\lambda = \frac{2l}{L} \quad (1)$$

Взаимодействующими считаются дефекты при $\lambda=0,2 - 0,5$, а объединенными – при $\lambda=0,5 - 0,9$. [8-11].

Проведенные исследования посвящены моделированию процессов развития поверхностных параллельных трещин в нефтегазопроводах.

Разработанная модель дает объяснение эффекту закрытия и прекращения роста одной из двух трещин.

Развития параллельных трещин при нагрузке можно представить в виде системы трех взаимодействующих пружин, как показано на рис.7.

Элемент «3» представляет собой модель Максвелла.

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \cdot \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} \quad (2)$$

Уравнение (2) описывает тело Максвелла (рис. 7).

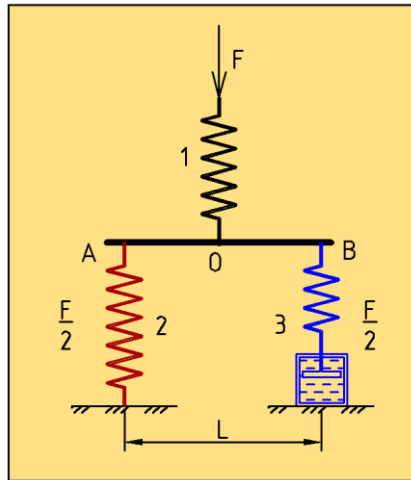


Рисунок 7 - Система пружин, имитирующая взаимодействие параллельных дефектов

Интегрируя при постоянной деформации, получим процесс релаксации напряжений в элементе «3» с одновременным нарастанием нагрузки в элементе «2»:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{tE}{\eta}} \quad (3)$$

где σ_0 – начальное напряжение в момент времени $t=0$,
 E – модуль упругости,
 η – коэффициент вязкости, принимаемый $3 \cdot 10^3$ МПа·год.

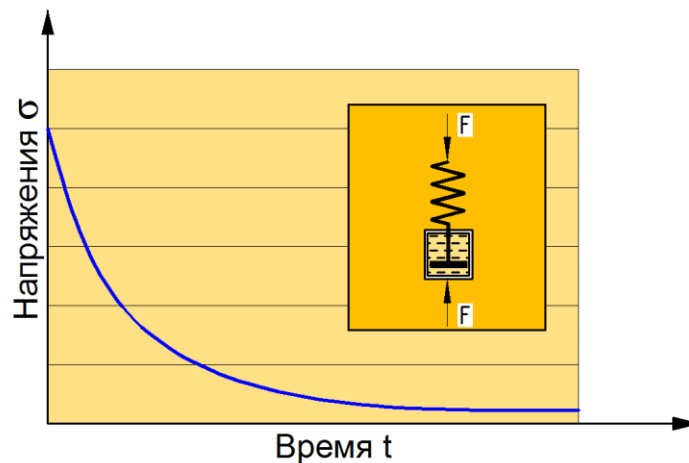


Рисунок 8 - Кривая релаксации напряжений в модели Максвелла

В начальный момент времени $t = 0$ (при параллельном перемещении), очевидно, что энергия газа, то есть энергия пружины «1» равномерно распределяется между элементами «2» и «3» и они будут развиваться одинаково как по глубине, так и по длине.

Вычислим суммарный момент действующих упругих сил на элемент АВ:

$$M(\varphi) = -k \cdot (y_0 + y - \Delta y) \cdot \frac{L}{2} + k \cdot e^{-\frac{tE}{\eta}} \cdot (y_0 + y + \Delta y) \cdot \frac{L}{2}, \quad (4)$$

где y_0 – величина первоначального сжатия элементов «2» и «3»;
 Δy – дополнительное бесконечно малое сжатие элемента «2» и растяжение элемента «3» от поворота связи АВ;
 Y – бесконечно малое сжатие элементов «2» и «3» от переносного движения связи АВ;
 L – расстояние между элементами «2» и «3» (расстояние между геометрическими центрами трещин).

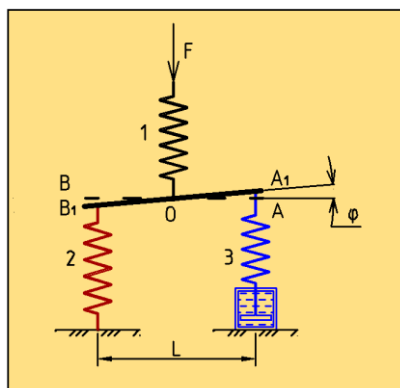


Рисунок 9 - Система пружин, имитирующая взаимодействие параллельных дефектов

В стационарном состоянии ($y=0$, $\Delta y=0$) жесткость всех трех элементов и их сжатия будут взаимосвязаны следующим уравнением:

$$y_0 = \frac{k_0 x_0}{2k} \quad (5)$$

где x_0 – сжатие пружины «1».

Очевидно, что $k_0 x_0$ – характеризует величину газо-гидростатической силы, действующей на трещины, и способствует ее развитию.

$$\left. \begin{aligned} k \cdot (y_0 + y + \Delta y) &= k \cdot e^{-\frac{tE}{\eta}} \cdot (y_0 + y - \Delta y) \\ F &= k \cdot (y_0 + y + \Delta y) + k \cdot e^{-\frac{tE}{\eta}} \cdot (y_0 + y - \Delta y) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Анализ системы (6) свидетельствует о том, что исходное равновесное состояние переходит в другое равновесное состояние, элемент «2» догружается, а в элементе «3» усилия стремятся к нулю, согласно модели Максвелла, где $\sum y = y_0 + y + \Delta y$ - изменение деформации в элементе 2, а $\sum y = y_0 + y - \Delta y$ - изменение деформации в элементе 3 (рис. 10).

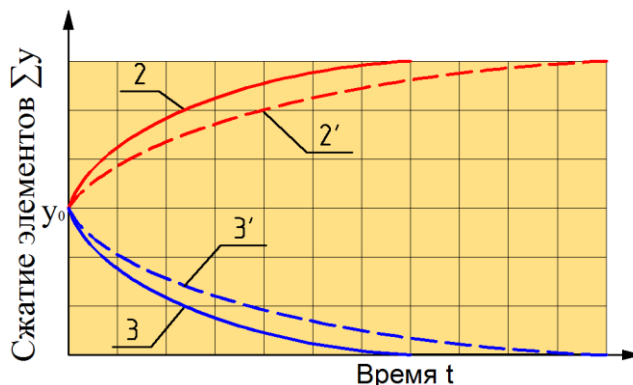


Рисунок 10 - Изменение деформаций в элементах «2» и «3» при расстоянии между элементами равном L , и $2'$ и $3'$ при расстоянии равном $2L$

Экспериментальное исследование модели развития параллельных трещин проводилось на образцах из стали X70.

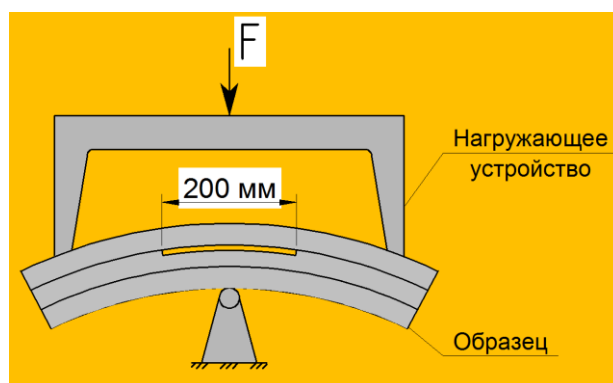


Рисунок 11 - Образец и схема нагружения

На рис. 11 показан образец и схема нагружения. Образец состоит из металла трубы и жесткой вставки. Для обеспечения равномерных растягивающих напряжений по толщине в сегменте испытуемого металла трубы, в центральной части образца в жесткой вставке выполнена проточка, длиной 200 мм. Проточка способствует выравниванию напряжений по толщине испытуемого металла трубы и соответствует напряжениям в стенке трубы под действием давления перекачиваемого газа.

Развитие поверхностных трещин проводилось при циклических испытаниях на установке МУП-50.

Для проведения испытаний были изготовлены 6 образцов. Геометрические и прочностные характеристики образцов идентичны.

В центральной части образца в поперечном направлении наносились два (три) полуэллиптических надреза. Раскрытие берегов надрезов определялись с помощью микроскопа KS-isDigiScopeIv3.

Была выявлена закономерность развития параллельных полуэллиптических трещин (рис. 12 а, б).

При развитии полуэллиптических трещин наблюдалась следующая закономерность: трещина 1 после нагружения до $140 \cdot 10^3$ циклов нагружения приостанавливается и раскрытие берегов трещины уменьшилось до начальных размеров, в то время как трещина 2 интенсивно развивается (рис.12а), что подтверждается моделью развития параллельных трещин (рис. 7).

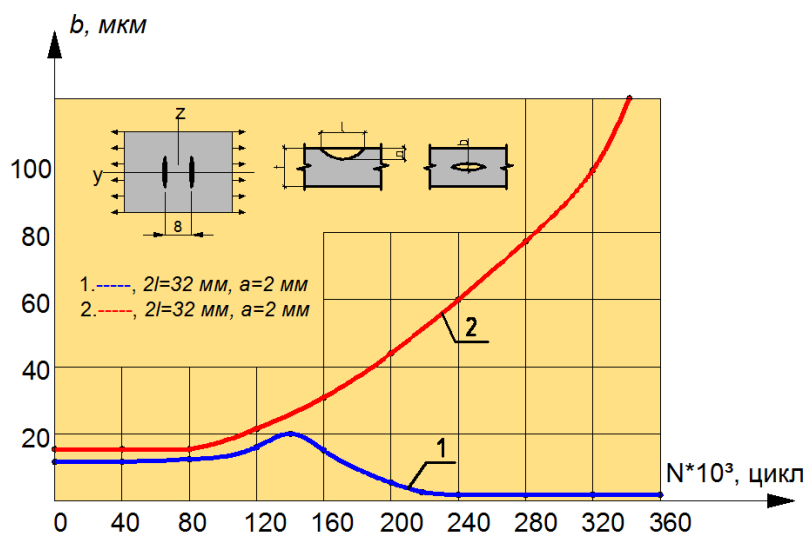


Рисунок 12а - Зависимость раскрытия трещин от количества циклов испытания

Аналогично развивались три полуэллиптические трещины (рис. 12б).

Поэтапно замедлялся рост трещин 1 и 2, а трещина 3 – интенсивно развивалась до разрушения.

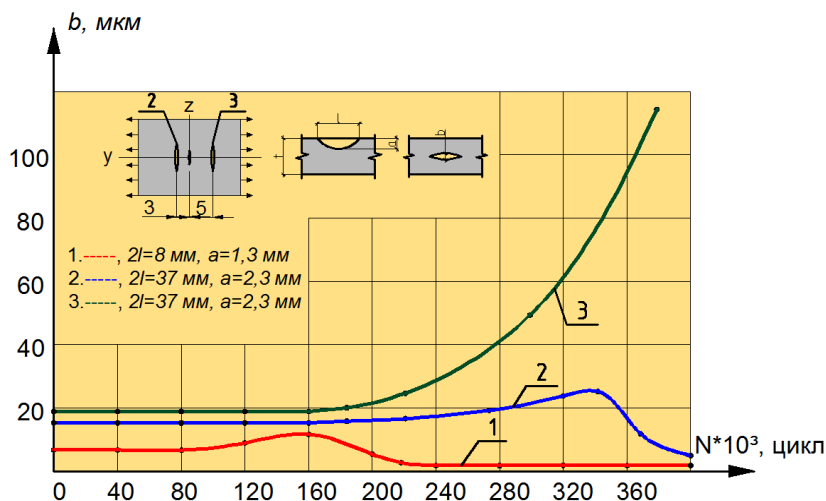


Рисунок 12б - Зависимость раскрытия трещин от количества циклов испытания

Выводы

1. Показано, что при развитии коллинеарных трещин, растущих навстречу друг другу, их слияние образует трещину большей длины с увеличением скорости ее роста.

2. Предложенная модель взаимодействия параллельных трещин свидетельствует о том, что в процессе их развития энергия, приходящаяся на одну из трещин, уменьшается с течением времени, согласно модели Максвелла, и передается соседней трещине, которая характеризуется ускоренным ростом как по длине, так и по глубине.

3. Развитие двух коллинеарных трещин зависит от расстояния между трещинами, при $L > 5l_{\max}$ взаимное влияние не проявляется, где L – расстояние между центрами трещин, l_{\max} – максимальная длина одной из трещин по поверхности. Взаимное влияние параллельных трещин также зависит от расстояния между ними и при $L > 0,2l_{\max}$ отсутствует.

4. В результате проведенных исследований выявлено, что взаимодействие коллинеарных и параллельных трещин при стресс-коррозионном повреждении поверхности газопровода ведет к образованию системы крупных трещин с течением времени, которые затем образуют магистральную трещину. При достижении критических размеров магистральная трещина приводит к разрушению газопровода.

Список использованных источников

1. Стеклов О.И., Дзиев К.М., Басиев К.Д., Музаев И.Д. «Коррозионные и стресс-коррозионные повреждения магистральных газопроводов с учетом влияния упругой энергии перекачиваемого газа» ТЕРРИТОРИЯ НЕФТЕГАЗ №10, 2013 г. Стр.:50-57.
2. Панасюк В.В., Саврук М.П., Дацишин А.П. «Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках». – Киев: Наук. Думка. 1976 г. – 448 с.
3. Ботвина Л.Р., Беренблат Г.И. «Автомодельность накопления повреждаемости // Проблемы прочности, 1985 г., № 12 с. 17-24.
4. Березин А.В. «Влияние повреждений на деформационные и прочностные характеристики твердых тел». – М.: Наука, 1990. – 136.
5. Игнатович С.Р., Кучер А.Г., Якушенко А.С., Башта А.В. «Моделирование объединения рассеянных поверхностных трещин. Проблемы прочности, 2004 г., №2
6. Lindborg U. A. Statistical model for the linking of microcraks // Acta Met/ - 1969. – 17. – P. 521-526.
7. Черепанов Г.П. «Механика хрупкого разрушения», изд. Наука, Москва 1974 г. 640 с.
8. Минченков О.С., Костенко Н.А., Попов Ю.И., «О взаимном влиянии трещиноподобных дефектов, расположенных в объемных телах», Проблемы прочности, 1990 г., №7.
9. Ключев Р.В., Босиков И.И. Методы системного анализа природно-промышленной системы горно-металлургического комплекса // Монография / И.И. Босиков, Р.В. Ключев. ФГБОУ ВПО «Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова; ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)» - Владикавказ: ИПЦ ИП Цопанова А.Ю., 2015. – 124 с.

10. Ключев Р.В., Босиков И.И., Юн Р.Б. Анализ функционирования природно-промышленной системы горно-металлургического комплекса с помощью показателя сложности геологического строения месторождения // Устойчивое развитие горных территорий. 2016. Т.8. №3 (31). С. 222-230.

11. Klyuev, R.V., Bosikov, I.I. Research of water-power parameters of small hydropower plants in conditions of mountain territories // 2016. 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 - Proceedings 7911420. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911420.

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ СЖАТОГО ГАЗА НА РАЗВИТИЕ КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН В МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ

Басиев К.Д., Алборов А.Д., Босиков И.И., Дзуцев Т.М.

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», г. Владикавказ

Аннотация. Разработана методика оценки склонности трубных сталей и сварных соединений к зарождению и развитию коррозионных и стресс-коррозионных трещин. Предложена модель роста поверхностных трещин в зависимости от запаса упругой энергии сжатого газа. Полученные результаты позволяют прогнозировать степень опасности трещин и определить запас прочности дефектной трубы.

Ключевые слова: коррозия, стресс-коррозия, магистральные газопроводы, напряженное состояние, упругая энергия, поверхностные трещины.

INFLUENCE OF COMPRESSED GAS ENERGY ON DEVELOPMENT OF CORROSION CRACKS IN MAIN GAS PIPELINES

Basiev K.D., Alborov A.D., Bosikov I.I., Dzutsev T.M.

North-Caucasian Institute of mining and metallurgy (State Technological University)

Abstract. *A methodology has been developed for assessing the tendency of pipe steels and welded joints to nucleate and develop corrosion and stress-corrosion cracks. A model is proposed for the growth of surface cracks depending on the stock of elastic energy of compressed gas. The results obtained make it possible to predict the degree of danger of cracks and determine the margin of safety of a defective pipe.*

Keywords: *corrosion, stress corrosion, main gas pipelines, stress state, elastic energy, surface cracks.*

Наиболее опасным дефектом магистральных газо- и нефтепроводов является коррозионные и стресс-коррозионные повреждения. Они эксплуатируются в сложных природно-климатических условиях, испытывают воздействие двухосного напряженного состояния, циклических

Роль этих факторов в обеспечении работоспособности конструкции различна и может существенным образом меняться в зависимости от конкретных условий эксплуатации, в частности от состава транспортируемого продукта, температуры окружающей среды, характера нагружения и влиянием их на прочность и долговечность.

Использование для газопроводов большого диаметра стали повышенной прочности позволило увеличить давление перекачиваемого газа. Газопроводы диаметром 1420 и 1220 мм аккумулируют большое количество упругой энергии перекачиваемого продукта, а также энергии упругой деформации стенки трубопровода и представляют большую опасность вследствие коррозионного и стресс-коррозионного разрушения.

Для изучения и анализа условий коррозионных и стресс-коррозионного разрушения трубопроводов наряду с напряженным состоянием металла трубы,

воздействием коррозионно-активных сред необходимо рассмотреть влияние запаса упругой энергии газа в газопроводе.

Запас удельной потенциальной энергии в газопроводе зависит от диаметра трубы и величины рабочего давления:

$$U_2 = \pi \frac{d^2}{4} P_{(2)} \ln \frac{P_{(2)}}{P_a} \quad (1)$$

где P_2 – давление газа, P_a – атмосферное давление.

На рис. 1. представлены графики зависимости упругой энергии сжатого газа от безразмерной величины $\frac{P_2}{P_a}$ при разных диаметрах трубы.

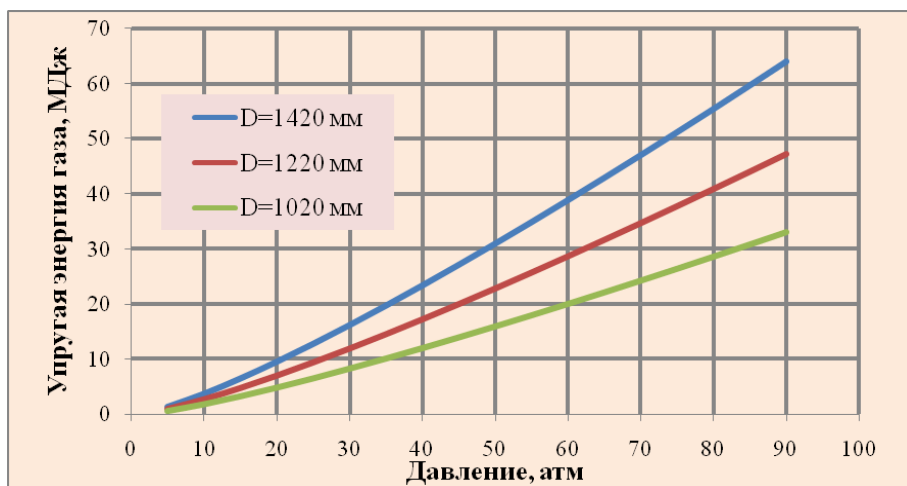


Рисунок 1 - Зависимость упругой энергии сжатого газа от давления, при разных диаметрах трубопровода

Приведенный график хорошо коррелируется с данными зависимостей стресс-коррозионных повреждений труб от диаметров инспектируемых газопроводов [1] (рис. 2).

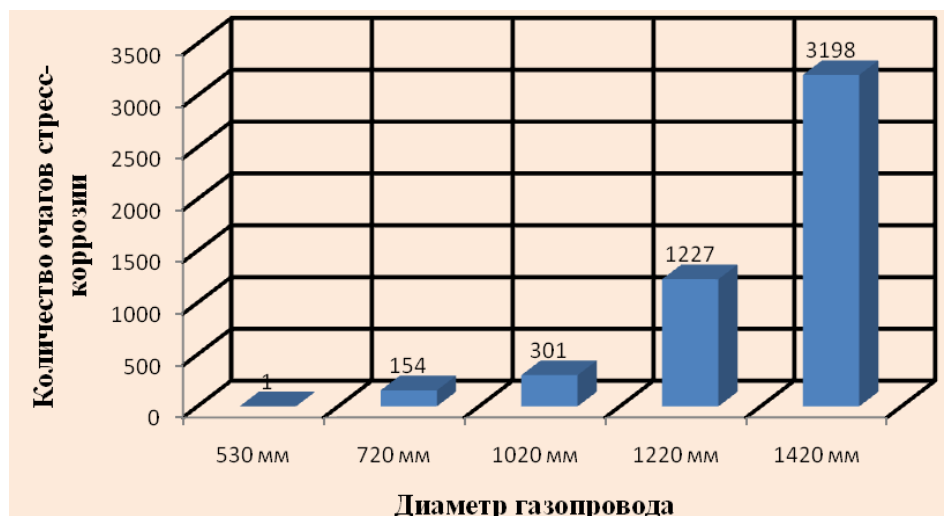


Рисунок 2 - Распределение дефектов стресс-коррозии по диаметрам труб с 2000 по 2010 гг.

Анализ результатов (рис. 2) свидетельствует о том, что трубы диаметром 1220 и 1420 мм в большей степени склонны к стресс-коррозии. Возможно это связано с большой накопленной энергией сжатого газа.

Энергия в нефтепроводе состоит из двух частей. Одна часть определяется упругими свойствами нефти, вторая – гидростатическим давлением:

$$U_n = \frac{\pi d^2}{8E} P_n^2. \quad (2)$$

где P_n – давление нефти, $E = 1,35 \cdot 10^9$ н/м² [1]

Энергия в нефтепроводе, обусловленная гидростатическим давлением, равна:

$$U_n = \frac{\pi d^2}{4} P_n \quad (3)$$

На рисунке 3 представлена зависимость отношений удельных упругих энергий газа и нефти от давления при диаметре 1420 мм.

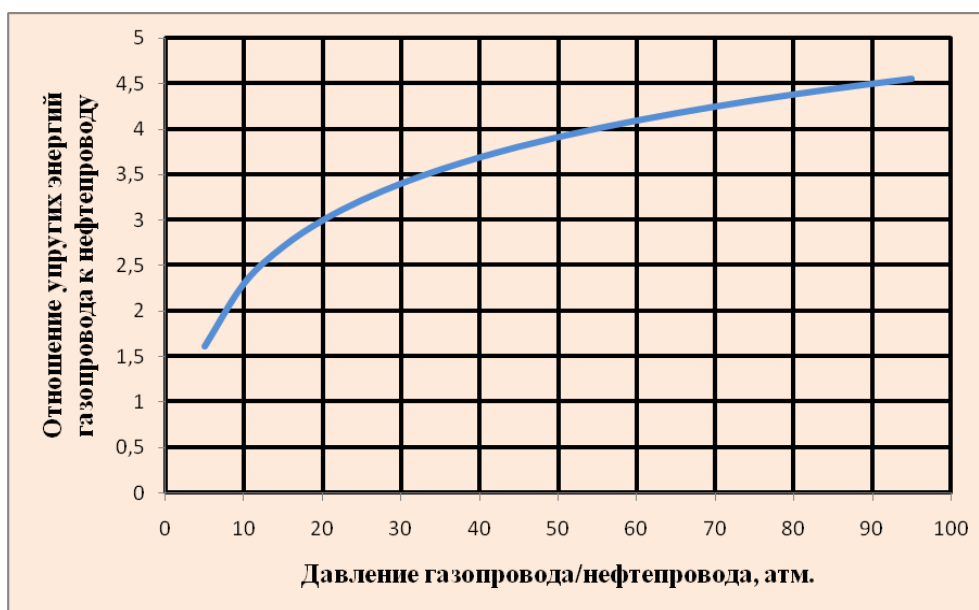


Рисунок 3 - Зависимость отношения удельных упругих энергий газа и нефти от относительного давления в трубопроводах

Из приведенного рисунка видно, что при давлении 70 Атм. удельная энергия газопровода в 4,25 раза больше, чем в нефтепроводе.

Проведенные исследования посвящены моделированию процессов зарождения и развития поверхностных трещин в стенках газопроводов и позволяют получить расчетные формулы для определения критических размеров развивающейся трещины.

Процесс развития поверхностной трещины представим в виде модели, состоящей из двух последовательно соединенных пружинок (рис.4).



Рисунок 4 - Модель влияния запаса упругой энергии сжатого газа на развитие повреждений в стенке газопровода

Пружина «А» имитирует упругие свойства сжатого газа, а пружина «В» – упругие свойства стенки трубопровода.

В месте контакта этих пружин сосредоточим фиктивную массу m . Колебательное движение массы m описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + \mu \frac{dx_1}{dt} + (k_1 + k_0)x_1 = k_1 x_0, \quad (4)$$

где $x_1(t)$ – перемещение массы m ;

μ – коэффициент внутреннего (вязкого) сопротивления;

k_1 – жесткость пружины «А»;

k_0 – жесткость пружины «В»;

x_0 – величина сжатия пружины «А».

$$(x_1 \ll x_0).$$

Решение дифференциального уравнения (4) с нулевыми начальными условиями имеет следующий вид

$$x_1(t) = -e^{-\frac{\mu}{2m}t} \left(\frac{\mu}{2m\lambda} \frac{k_1 x_0}{k_1 + k_0} \sin \lambda t + \frac{k_1 x_0}{k_1 + k_0} \cos \lambda t \right) + \frac{k_1 x_0}{k_1 + k_0}, \quad (5)$$

где

$$\lambda = \sqrt{\left(\frac{k_1 + k_0}{m} \right)^2 - \frac{\mu^2}{4m^2}}. \quad (6)$$

При $t \rightarrow \infty$ формула (5) асимптотически приближается к следующей формуле:

$$x_1 = \frac{k_1 x_0}{k_1 + k_0}. \quad (7)$$

Численное значение x_0 определяется из выражения

$$x_0 = \sqrt{\frac{2\Delta U_e}{k_1}}. \quad (8)$$

где ΔU_2 – удельная потенциальная энергия газа в трубопроводе сосредоточенная на трещине.

Коэффициент жесткости пружины A , имитирующий упругие свойства сжатого газа определен по закону Бойля-Мариотта равен:

$$k_1 = P \cdot 2l. \quad (9)$$

В процессе устойчивого развития трещина принимает овальную форму, которую приближенно можно считать полуэллиптической.

В общем случае полуэллиптической трещины в полосе имеется следующие приближенное выражение для коэффициента интенсивности напряжений (с погрешностью мене 10%:

$$\sigma = (0,68 \pm 0,04) \frac{k_{1,c}}{\sqrt{a}} \text{ при } 0 < \frac{a}{h} < 0,4 \quad (10)$$

где a – глубина трещины;

Жесткость корпуса стенки трубы определяется из условия равновесия (10) и напряжений от давления газа в трубе

$$\sigma = 0,68 \frac{k_{1,c}}{\sqrt{a}} = \frac{Pd_2 \cdot 1m}{2h \cdot 1m} \text{ при } 0 < \frac{a}{h} < 0,4. \quad (11)$$

$$F = \frac{Pd_2}{2} = 0,68k_{1,c} \frac{h}{\sqrt{a}}; \quad (12)$$

где F – кольцевое усилие, действующее в стенке трубы от давления газа в трубе.

Придадим величинам $\frac{Pd_2}{2}$ и a приращения

$$F + \Delta F = 0,68k_{1,c} \frac{h}{\sqrt{a + \Delta a}}, \quad (13)$$

Из (12) и (13) определяем ΔF :

$$\Delta F = 0,68k_{1,c} \frac{h}{a\sqrt{a}} \Delta a. \quad (14)$$

Следовательно, жесткость корпуса трубы, содержащей трещину, равна

$$k_0 = 0,68k_{1,c} \frac{h}{2a\sqrt{a}} \cdot 2l. \quad (15)$$

Изменение энергии, которая сосредоточена на участке трубы с трещиной и расходуемой на развитие дефекта равна:

$$\Delta U_2^* = k_0 \frac{x_1^2}{2}, \quad (16)$$

где x_1 определяется по формуле (7)

Удельную упругую энергию, сосредоточенную на дефекте и расходуемой на его развитие также можно выразить через прирост размеров дефекта по формуле приведенной в [2] :

$$\Delta U_z^* = \frac{4k_{1,c}^2}{3E} \Delta c, \quad (17)$$

Приравнявая (16) и (17) получаем значение прироста размеров дефекта по поверхности или по глубине трубы:

$$\Delta c = \frac{3E}{4k_{1,c}^2} \cdot \frac{k_0}{2} \cdot \frac{k_1^2 \cdot x_0^2}{(k_1 + k_0)^2} \quad (18)$$

Для определения Δc необходимо воспользоваться расчетно-экспериментальными данными по изменению упругой энергии (рис. 5а) и кинетической диаграммой усталостного разрушения для стали X70 (рис. 5б).

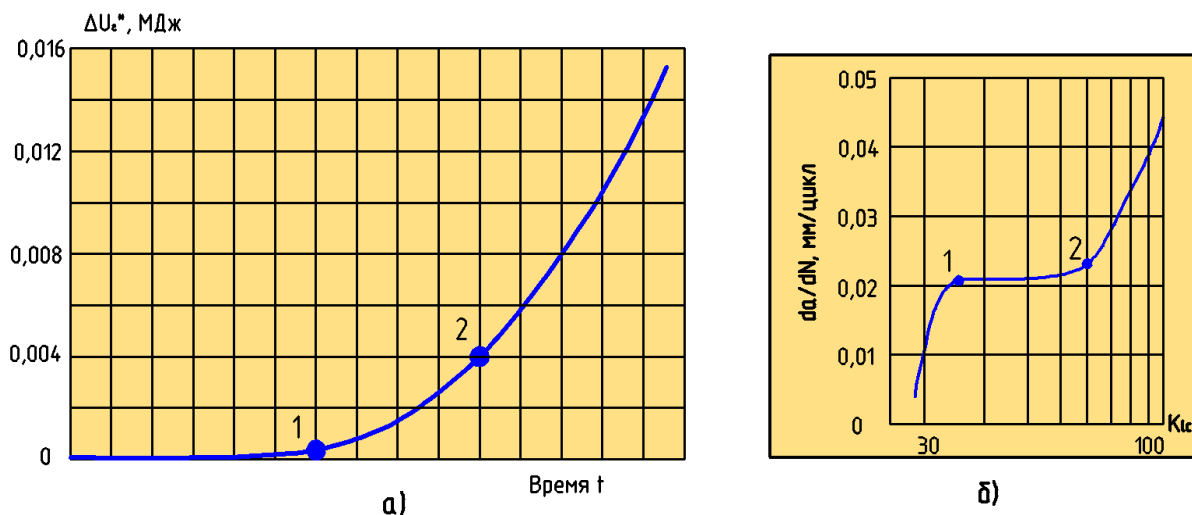


Рисунок 5. - а) Изменение удельной упругой энергии, сосредоточенной на дефекте расходуемой на его развитие с течением времени; б) Кинетическая диаграмма усталостного разрушения образца-фрагмента газопровода

Точки 1 и 2 соответствуют значениям коэффициентов интенсивности напряжений соответственно 40 и 70 МПа·м.

Используя зависимость (18) и рис. 5а,б получим графики предельно- и условно допускаемых размеров дефектов по энергетической теории (Рис. 6, кривые 1 и 2 соответственно)

Аналогичную задачу по определению условно допускаемых размеров дефектов получим с помощью теории механики хрупкого разрушения [5], по формуле(19) и проведем сопоставление с результатами, полученными по энергетической теории:

$$l \leq \frac{0,75K_{Ic} \frac{a^2}{h} + 0,48 \frac{p(d-2h)}{2h} \sqrt{\pi a^3}}{1,12 \frac{p(d-2h)}{2h} \sqrt{\pi a} - K_{Ic} + K_{Ic} \frac{a}{h}}, \quad (19)$$

где l – предельная полудлина дефекта,
 a – глубина дефекта,
 p – давление в газопроводе,
 d – диаметр трубы,
 h – толщина стенки,
 K_I – величина коэффициента интенсивности напряжений.

Приведенное неравенство (19) позволяет рассчитывать допускаемые размеры дефектов по поверхности и глубине для магистральных газопроводов с учетом их диаметра, толщины стенки, марки стали, рабочего давления и $K_I=40$ МПа·м. (рис. 6, кривая 3)

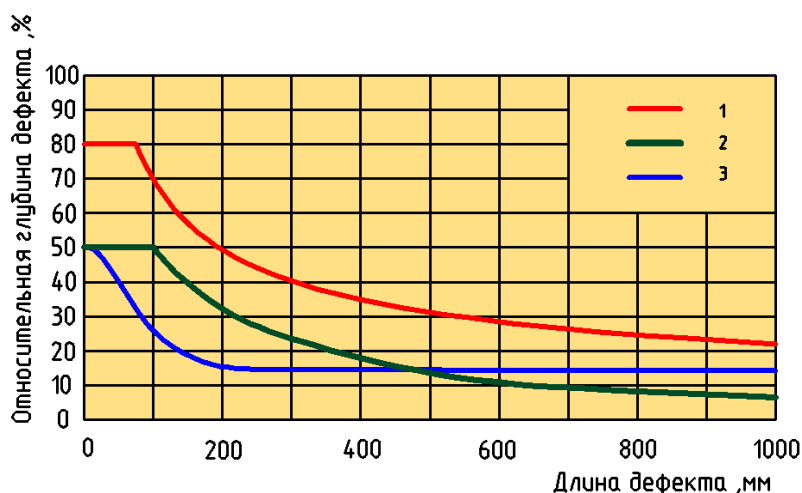


Рисунок 6 - Результаты расчета размеров предельно допустимых дефектов КРН

Предельно и условно допустимые размеры дефекта, полученные энергетическим методом, достаточно хорошо согласуются с условно допустимыми размерами дефекта, полученными с использованием теории механики хрупкого разрушения.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что они могут быть использованы при определении опасности дефекта и поведения его в эксплуатационных условиях.

Сопоставление критической трещины с размерами развивающейся трещины при циклических испытаниях позволит определить запас дефектной трубы по уровню давления и принять обоснованное решение о последующих действиях [2-9]:

- немедленное удаление дефектного места или его ремонт тем или иным способом;
- сохранение прежних условий эксплуатации газопровода в течение определенного срока (гарантированного остаточного ресурса) с последующим повторным внеплановым обследованием дефектного места;
- сохранение прежних условий эксплуатации до проведения очередного планового обследования участка газопровода (при восстановлении состояния изоляционного покрытия и параметров ЭХЗ).

Выводы

1. Упругая энергия сжатого газа в магистральном газопроводе в 4,25 раза больше энергии в нефтепроводе.
2. Упругая энергия сжатого газа в газопроводе зависит от диаметра и давления, а склонность к стресс-коррозионным повреждениям газопроводов возрастает с увеличением диаметра трубы.
3. Предложена модель роста поверхностных трещин в зависимости от запаса упругой энергии сжатого газа и позволяет определить предельно и условно допустимые размеры трещин.
4. Предельно и условно допустимые размеры дефекта, полученные энергетическим методом позволяют более точно прогнозировать развитие поверхностных трещин в магистральных газопроводах.

Список использованных источников

1. Базилевский А.А., Корзунин Г.С., Матвиенко А.Ф. «Стресс-коррозия в трубах разного диаметра при дефектоскопии магистральных газопроводов» Дефектоскопия ISSN:0130-3082. 2013.
2. Справочник по гидродинамике / Под ред. Большакова В.А. Киев: Издательское объединение «Вища школа», 1977, 280 с.
3. Гутер Р.С., Янпольский А.Р. Дифференциальные уравнения. М.: «Высшая школа», 1976. 303 с.
4. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974. 640 с.
5. Харионовский, В.В. Надежность и ресурс конструкций газопроводов / В.В. Харионовский. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 2000. – 467 с.
6. Алимов С.В., Долгов И.А., Горчаков В.А., Сурков А.Ю., Сурков Ю.П., Рыбалко В.Т. Диагностика коррозионного растрескивания газопроводов // Екатеринбург, 2004.
7. Bosikov, I.I., Klyuev, R.V., Kelekhsaev, V.B. Method for determining of the ventilation object transfer function according to normal operation (by the example of mining and processing complex) // 2017. 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings 8076113.
8. Bosikov, I.I., Klyuev, R.V., Kelekhsaev, V.B. Development of indicators for performance functioning natural-industrial system evaluation at the mining and processing complex using the analytical hierarchy method // 2017. 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings 8076114.
9. Kozhiev, H.H., Klyuev, R.V., Bosikov, I.I., Youn, R.B. Analysis of management of mine ventilation networks using simulation models // 2017. Sustainable Development of Mountain Territories 9(4), pp. 414-418.

ОЦЕНКА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ НА МЕССОЯХСКОМ УЧАСТКЕ С ПОМОЩЬЮ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Цидаев Б.С., Босиков И.И.

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)», г. Владикавказ

Аннотация. Исследования нефтегазоносности проводились на Мессояхском участке ХМАО-Югры. Мессояхское месторождение разделено разрывом, простирающимся с юго-запада на северо-восток. Тектоническое нарушение разбивает месторождение на 2 блока - Южный и Северный. На Южном блоке завершена поисково-оценочная стадия работ, а Северный блок является перспективным для проведения исследований нефтегазоносности.

Ключевые слова: нефтегазоносность, месторождение, сейсморазведочные работы, тектоническое нарушение, верхненеокомские отложения, пласт песчаника.

ASSESSMENT OF OIL AND GAS POSSIBILITY AT THE MESSOJA AREA BY MEANS OF GEOPHYSICAL METHODS

Tsidaev B.S., Bosikov I.I.

*North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy
(State Technological University)*

Abstract. *Oil and gas studies were carried out on the Messoyakhsky section of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Ugra. The Messoyakhskoye field is separated by a fracture extending from the southwest to the northeast. Tectonic disturbance breaks the field into 2 blocks - Southern and Northern. The prospecting and evaluation stage of work has been completed at the South block, and the North block is promising for oil and gas exploration.*

Keywords: *oil and gas potential, field, seismic exploration, tectonic disturbance, Upper Neocomian deposits, sandstone formation.*

Введение. Исследования проводились на Мессояхском участке ХМАО-Югры. Выбор для исследований нефтегазоносности участка послужили следующие геологические предпосылки:

- верхненеокомские отложения являются основным нефтепоисковым и нефтедобывающим объектом;
- сейсморазведочными работами 2D уточнено положение сейсмической структуры;
- учитывая, что пласт песчаника часто образуют единый резервуар нверхненеокомского возраста, получение промышленного притока нефти является дополнительным критерием возможного насыщения углеводородами тектонически-экранированной ловушки.

Перечисленные выше критерии и предпосылки определили дальнейшее исследование нефтегазоносности на Мессояхском участке.

Техническая часть.

Обоснование положения ВНК. Положение водо-нефтяного контакта (ВНК) определялось с помощью данных геофизических методов (рис. 1).

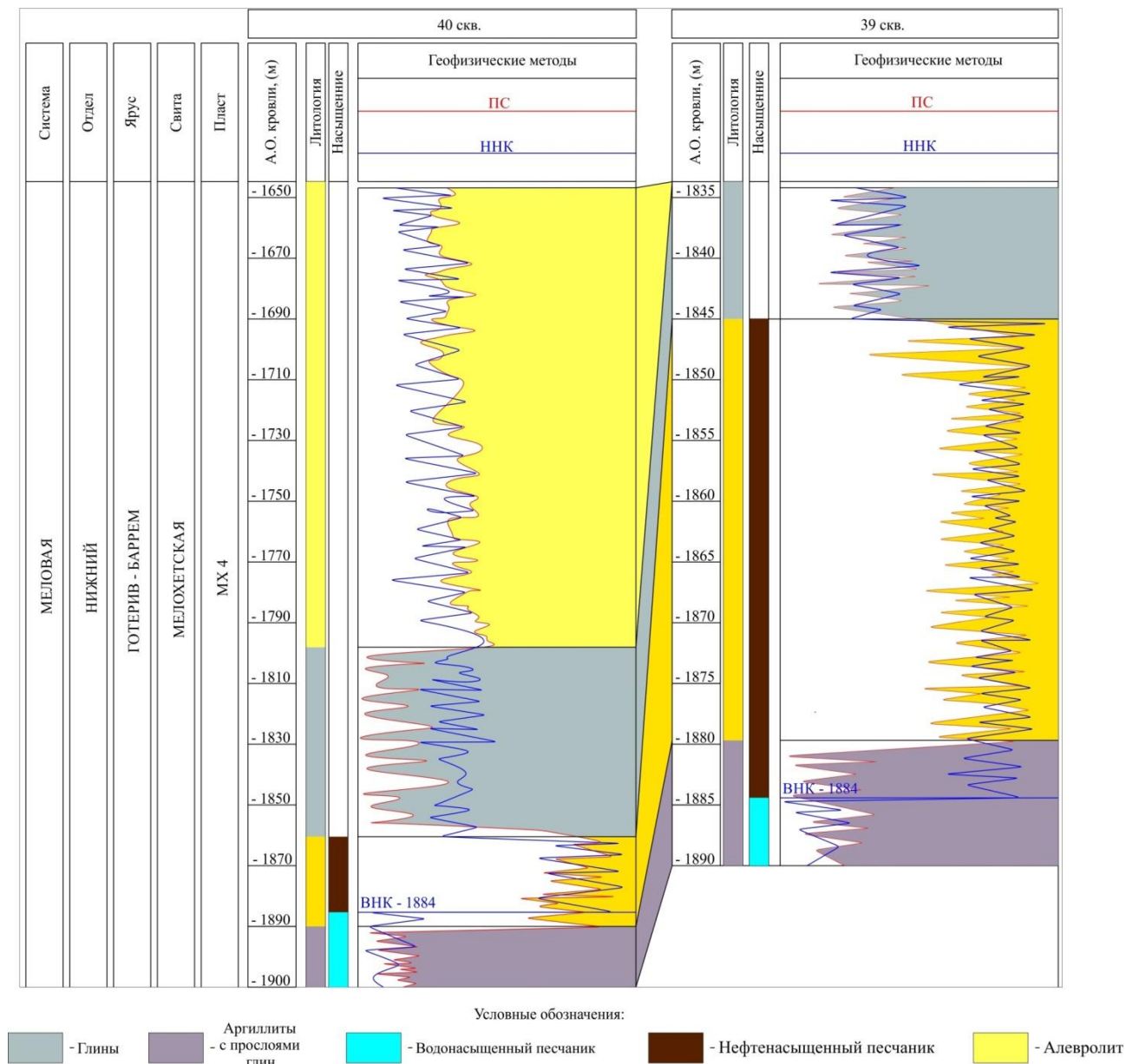


Рисунок 1 - Обоснование положения ВНК

Положение ВНК определяется повышенными значениями ННК. Положение коллектора на представленной схеме определяется отрицательной аномалией кривой ПС.

Нижнемеловые отложения Северного блока по данным сейсморазведки, данным привязки отражающих горизонтов и данных акустического каротажа скв.№39, высоко перспективны, на наличие промышленной нефтеносности [1-7].

Так как центральный перспективный на поиск и оценку блок, немного приподнят относительно первого (100 м). ВНК также интерпретируется с более высокой гипсометрической отметкой. В случае первого (южного блока) абсолютная отметка водонефтяного контакта - 1884 м, то центральный приподнятый блок выражен положением ВНК на глубине (А.О. = -1784 м)

Система размещения скважин. Объектами проведения исследовательских работ для оценки участка являются подготовленные к поисковому бурению ловушки и открытые месторождения (залежи), подготовленные для глубокого бурения в соответствии с действующими требованиями комплексом геолого-геофизических исследований, с подсчитанными перспективными ресурсами категории D₀.

Первоочередные объекты бурения:

- поднятия, расположенные в пределах главных направлений поисково-разведочных работ, определяемых по совокупности геолого-геофизических материалов (по комплексному проекту);

- поднятия с максимальными ресурсами по категории D₀;

- при изучении группы поднятий первоочередными являются те из них, изучение которых позволяет подтвердить нефтегазоносность всей площади;

- при выборе первоочередных объектов необходимо производить технико-экономический расчет рентабельности ввода каждого объекта в глубокое бурение, исходя из условий максимально возможных объемов добычи нефти, экономического эффекта от затрат на поисково-разведочное бурение на площади поднятия.

Комплекс исследований и работ в скважинах включает:

1. отбор керна, сплошной в интервалах предполагаемого залегания нефтегазоносных горизонтов;

2. отбор шлама через каждые 1-5 м по всему стволу скважин;

3. геолого-технологические, геохимические и промыслово-геофизические исследования скважин;

4. опробование и испытание в процессе бурения перспективных нефтегазоносных комплексов (пластоиспытателями на бурильных трубах с геофизическим сопровождением и локализацией продуктивных пластов приборами на каротажном кабеле) с отбором проб пластовых флюидов, при необходимости — поинтервальное опробование и испытание;

испытание в колонне нефтегазоносных, а также водоносных (в законтурной части залежи) пластов, при необходимости — поинтервальное испытание объектов с отбором глубинных и поверхностных проб нефти, газа и воды [1-3].

Отбор керна в скважинах в интервалах залегания продуктивных пластов проводится в объеме, обеспечивающем представительность определений фильтрационно-емкостных свойств коллекторов, изменений петрофизических параметров по разрезу и площади месторождений (залежи) и обоснование подсчетных параметров по данным ГИС.

Мессояхское месторождение разделено разрывом, простирающимся с юго-запада на северо-восток. Тектоническое нарушение разбивает месторождение на 2 блока - Южный и Северный. На Южном блоке завершена

поисково-оценочная стадия работ, а Северный блок является перспективным для проведения исследований [1-5].

Залежь Северного блока имеет вытянутую форму тектонически экранированную со всех сторон света, кроме юга. Поиск и оценку таких объектов проводят с использованием метода «линейного» направления. Первую поисково-оценочную скважину № 1П проектируем в наиболее приподнятом участке по данным сейсморазведки, вторую поисково-оценочную скважину № 2П бурим – для уточнения положения водонефтяного контакта (рис.2).

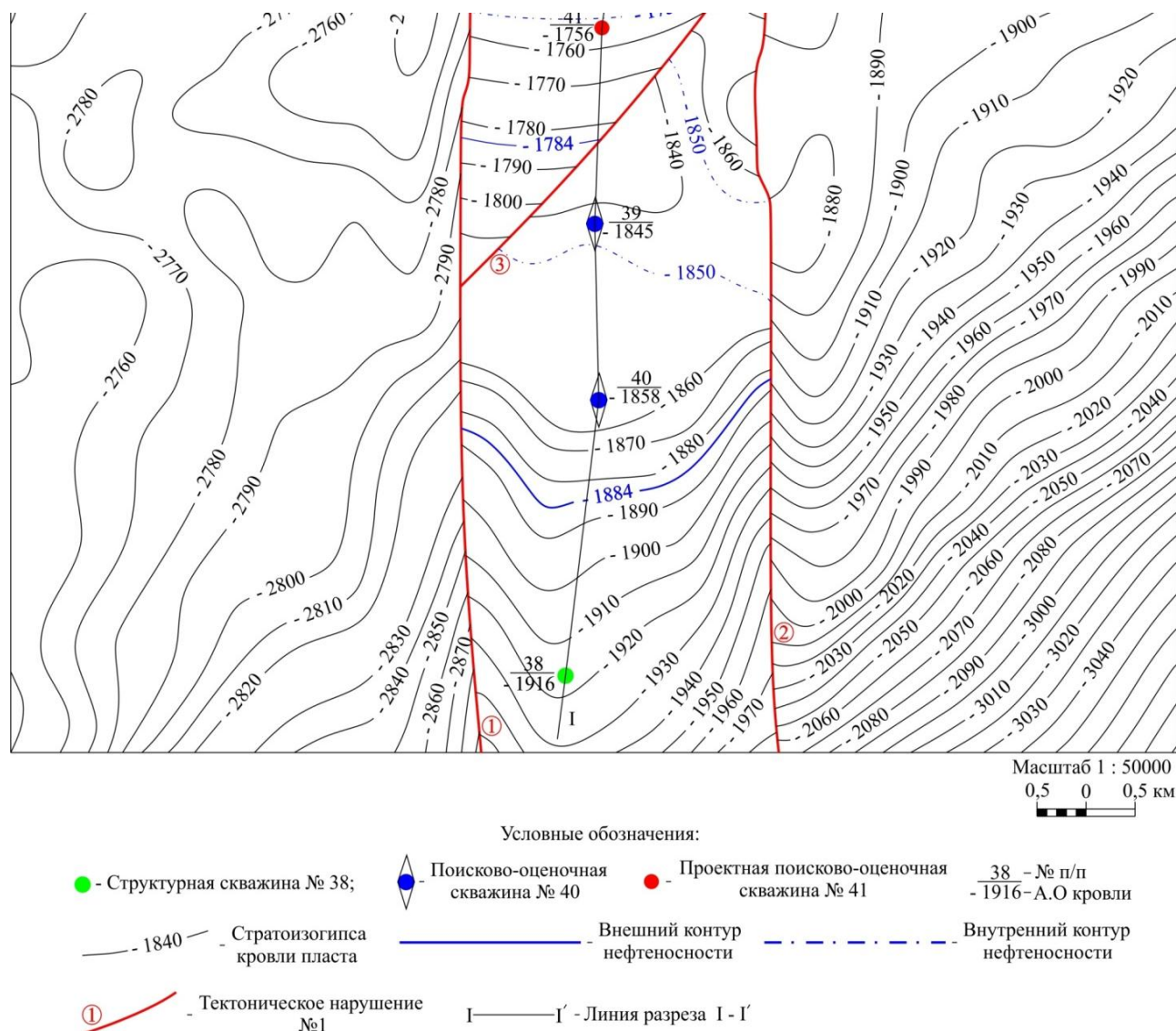


Рисунок 2 - Структурная карта по кровле пласта МХ-4

Комплекс геолого-геофизических исследований

В поисково-оценочных скважинах №1П, №2П предусматривается комплекс геолого-геофизических исследований, включающий стандартный каротаж: КС (2 зонда), ПС, КВ+ПР, РК(ГК+НГК), АКП, БК, ИК, МБК(МГЗ+МПЗ).

Контроль качества цементирования АКЦ, ЦМ. Привязка фактического местонахождения интервала перфорации предусматривается по эталонной кривой

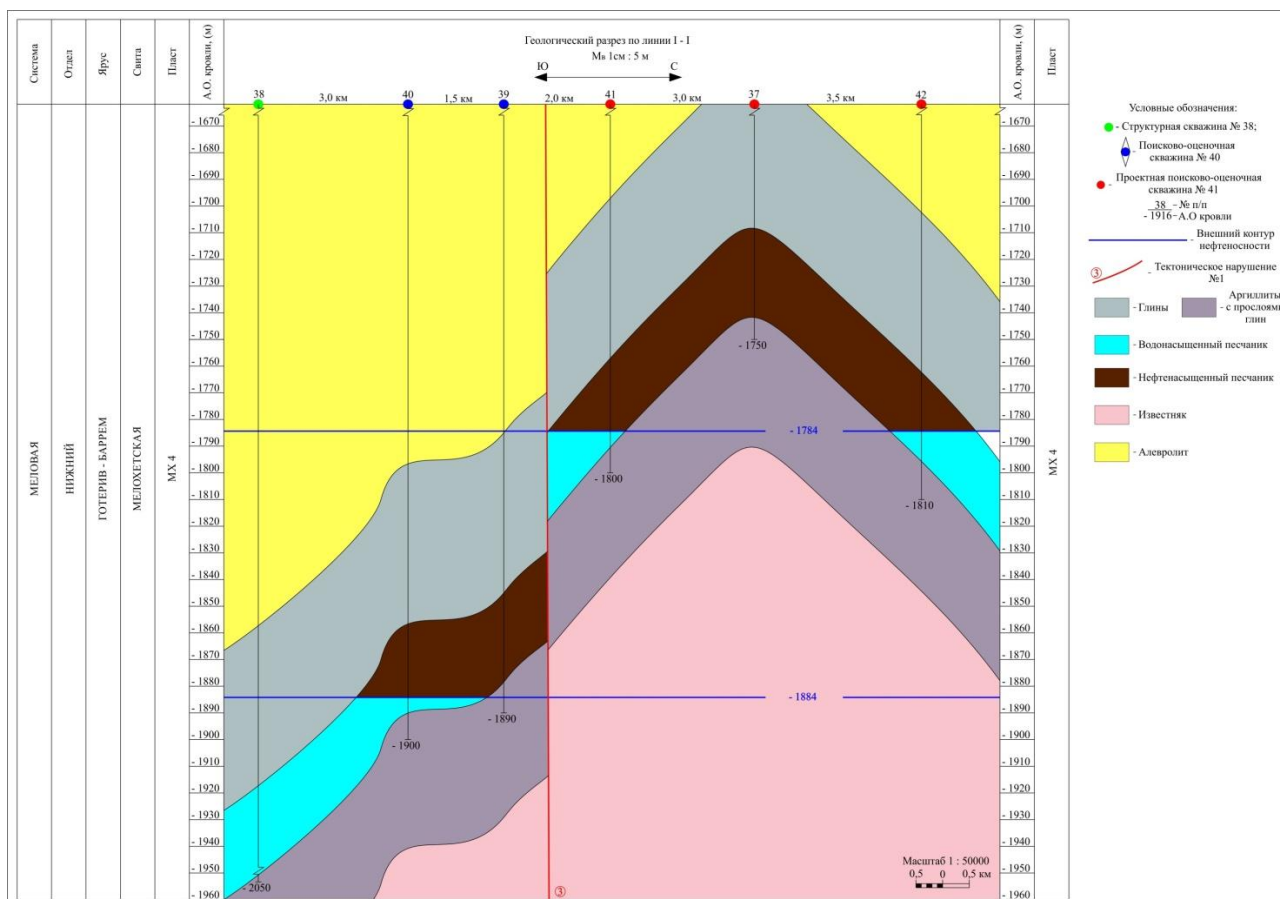


Рисунок 3 - Геологический разрез

РК(ГК+НГК) (рис.3). Контроль интервала перфорации по кривым ЛМ, Т. Использование ВИКИЗ для выявления коллекторов и определения их насыщения[1-11].

Отбор керна и шлама

Отбор керна в проектируемых поисково-оценочных скважинах №1П (от – 1700 м. до –1750 м.), №2П (от –1750 м. до –1800 м.). Керна отбирается с целью получения информации о стратификации разреза, характере насыщения коллекторов, определения их фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) и пр.

Для оперативной корректировки разреза скважин, данным проектом предусмотрен отбор шлама. Частота отбора шлама 10 м.

Интервалы отбора керна и шлама для скважин приведены в таблице 1 и ГТН.

Таблица 1

Интервалы отбора керна

№ скв.	Интервал отбора шлама, м	Интервал отбора керна, м	Проходка с бором керна, м	Пачка	Категория пород по трудности отбора керна
1П	0-забой	1700-1750	50	МХ-4	М
2П	0-забой	1750-1800	50	МХ-4	М
		Всего:	100 м	5,6 % от общей	
			-	проходки	

Опробование, испытание и исследование скважин.

Для выявления характера насыщения и фильтрационно-емкостных свойств перспективных на нефть отложений намечено опробование пластов при строительстве проектных скважин с помощью пластоиспытателя на бурильных трубах, с опорой на забой [1-7]. Для изоляции интервала опробования проектом предусмотрено использование пакерного устройства (табл. 2).

Таблица 2

Опробование пласта в процессе бурения испытателями на трубах

Номер скважины	Интервал испытания, м	Возраст	Диаметр пакера, мм	Депрессия, кгс/см ²
1	2	3	4	5
1П	1710-1740	K ₁	146	10
2П	1759-1780	K ₁	146	10

Также проведено вскрытие и освоение продуктивного горизонта для каждой скважины.

Перед проведением перфорации ствол скважины должен быть подготовлен так, чтобы обеспечивалось беспрепятственное прохождение стреляющей аппаратуры. Перед спуском перфоратора скважину необходимо прошаблонировать. Диаметр и длина шаблона должны быть не менее размеров соответствующих спускаемых в скважину геофизических приборов и стреляющих аппаратов [5-9].

Перфорация объектов запланирована на буровом растворе, плотность раствора 1,34 г/см³. Рекомендуемые заряды для перфорации без НКТ – ЗПКТ-73 с плотностью 30 отв. на 1 пог. м. Интервалы испытания представлены в табл. 3.

Таблица 3

Опробование в процессе освоения скважин

Номер скважины	Интервал испытания, м	Возраст	Способ вскрытия, количество отверстий на 1 пог. м	Ожидаемый вид флюида	Интервал установки цементного моста, м
1П	1710-1740	K ₁		нефть	-
2П	1759-1780	K ₁		вода	-

Перед вскрытием и освоением продуктивных горизонтов на буровой необходимо иметь запас высококачественной промывочной жидкости не менее однократного объема скважины.

Вскрытие и освоение продуктивных объектов проводилось после установки фонтанной арматуры и опрессовки обсадной колонны.

После перфорации производится спуск насосно-компрессорных труб на 5-7 м выше верхних отверстий перфорации.

При получении промышленного притока нефти и растворенного газа скважина обрабатывается с учетом комплексного проведения всех видов исследований по индивидуальным планам [5-11].

В результате освоения получена исчерпывающая информация о характере флюида и работе пласта, количестве и качестве флюидов, пластовых давлений, температуре и т.д. Проведенные исследования подтвердили перспективность нефтегазоносности Юго-Западного участка на Мессояхском месторождении.

Список использованных источников

1. Керимов, В. Ю., Зайцев, О. И., Пузин, А. В., Топалова, Т. Э. Моделирование нефтегазовых геосистем и осадочных бассейнов. «Теоретические основы и технологии поисков и разведки нефти и газа» 2012 №1, стр. 41-50.
2. Старикова, И. Ю. Переинтерпретация материалов сейсморазведочных работ МОГТ 2Д СП 38/85-86, 28/86-87, 33/88-89, 14/05-06 в объеме 1860 пог.км в пределах Северо-Русского ЛУ. Отчет, 2008г.
3. Шилов, Г. Я., Керимов, В. Ю. Оценка и прогнозирование аномально высоких геофлюидальных давлений в юрском нефтегазоносном комплексе площадей среднемессояхского вала и подготовка рекомендаций по применению полученных результатов при выполнении ГРП. Отчет. Москва. 2010.
4. Долицкий В.А. Геологическая интерпретация материалов геофизических исследований скважин. – М.: Недра, 1966, 387с. 11.Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. – М.: Недра, 1972, 312с.
5. Бакиров А.А., Мальцева А.К. Литолого-фациальный и формационный анализ при поисках и разведке скоплений нефти и газа. М.:Недра,1985, 159с. 6. Бакиров А.А., Бакиров Э.А., Мелик-Пашаев В.С. и др. Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа. М.:Высш.шк.1987, 384с.
7. Шилов Г.Я., Калита М.А. Методика региональной корреляции геологических разрезов тектоно-седиментационных комплексов на шельфе. Отечественная геология, №4, М., 2010, с. 64-68 16.
8. Шилов Г.Я., Калита М.А., Лагвилава К.Д. Особенности строения циклитов юрских отложений Ямало – Карского региона. Труды РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина, 2011, №1 (262), с. 7-14
10. Ключев Р.В., Егорова Е. В., Босиков И.И., Цидаев Б.С. Evaluation of use of effective technologies for increasing sustainable development of natural and technical system of oil and gas complex // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т.10. №3 (37). С. 392-403.
11. Ключев Р.В., Босиков И.И. Разработка методов и алгоритмов повышения эффективности функционирования промышленно-технической системы // Монография / И. И. Босиков, Р. В. Ключев; Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет). – Владикавказ: Северо-Кавказский горно- металлургический институт (государственный технологический университет). Изд-во «Терек», 2018. – 237 с. ISBN 978-5-9500070-4-0.

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА МАГИСТРАЛЬНЫЕ ГАЗО- И НЕФТЕПРОВОДЫ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИЕСЯ В НАВОДОРАЖИВАЮЩИХ СРЕДАХ

Басиев К.Д., Алборов А.Д., Дзутцев Т.М.

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)», г. Владикавказ

Аннотация: стальные трубы находят широкое применение во всех отраслях современной экономики. Подавляющее большинство трубных конструкций представляет собой различные трубопроводные системы: магистральные газо- и нефтепроводы, водоводы, продуктопроводы, промышленные и технологические трубопроводы и теплофикационные системы. В связи с тем, что большинство месторождений нефти и газа характеризуется присутствием пластовых вод и растворенных газов (кислород, углекислый газ, сероводород), эксплуатация осложняется коррозионными проявлениями. Надежность и долговечность зависят от механокоррозионной прочности металла труб.

Ключевые слова: магистральный газопровод, магистральный нефтепровод, стресс-коррозия, сероводород, сероводородная коррозия.

INFLUENCE OF HYDROGEN ON MAIN GAS AND OIL PIPELINES OPERATED IN HYDROGENING MEDIA

Basiev K.D., Alborov A.D., Dzutsev T.M.

North-Caucasian Institute of mining and metallurgy (State Technological University)

Abstract: *steel pipes are widely used in all sectors of the modern economy. The vast majority of pipe structures are various piping systems: gas and oil pipelines, water pipelines, product pipelines, field and process pipelines and heating systems. Due to the fact that most oil and gas fields are characterized by the presence of formation water and dissolved gases (oxygen, carbon dioxide, hydrogen sulfide), the operation is complicated by corrosive manifestations. Reliability and durability depend on mechanocorrosive strength of metal pipes.*

Keywords: *main gas pipeline, main oil pipeline, stress corrosion, hydrogen sulfide, hydrogen sulfide corrosion.*

Введение

Под механокоррозионной прочностью понимают сопротивляемость материалов и конструкций разрушению при совместном воздействии механических нагрузок и коррозионных сред при преимущественной роли энергии механических нагрузок [1]. В общем случае, в зависимости от системы: металл – напряжения — среда потеря несущей способности трубопровода возможна: вследствие уменьшения площади поперечного сечения труб при сплошной коррозии, усиленной воздействием напряжений (механохимический эффект); в результате местной — межкристаллитной, ножевой, точечной коррозии, приводящей к сквозному разрушению трубы; вследствие трещинообразования с появлением трещин магистрального типа без уменьшения или с не-

значительным уменьшением площади рабочего сечения трубы при длительном статическом и циклическом нагружении.

Территория Северного Кавказа богата месторождениями сульфидных сероводородных вод - природные воды различной минерализации и ионного состава, содержащие свыше 10 мг/л общего сероводорода. В зависимости от концентрации сероводорода различают слабосероводородные воды (10-50 мг/л), средней концентрации (50-100 мг/л), крепкие (100-250 мг/л) и очень крепкие (свыше 250 мг/л).

В пограничной зоне РИ и ЧР открыто Датыхское нефтегазовое месторождение с залежами нефти в межсолевой толще титона и свободного газа в подсолевой толще оксфорда-кимериджа. Все залежи углеводородов (кроме Заманкульского месторождения) в валанжинском ярусе нижнего мела и в верхнеюрских отложениях содержат в пластовых флюидах сероводород в количестве 3-12% (объемных) и законсервированы ввиду отсутствия антикоррозийных труб и оборудования, средств очистки продукции и утилизации сероводорода.

Техническая часть. Промышленная нефтегазоносность подсолевых отложений по результатам геолого-геофизических исследований прошлых лет установлена на южном борту Датыхской площади, где из рифогенных доломитов оксфордского яруса получен приток углеводородного газа со значительными примесями не углеводородных компонентов.

Скважина № 15 начата бурением 17.01.1983 г. с проектной глубиной 5250 м, окончена 11.02.1986 г. с фактическим забоем на глубине 3460/3382 м. Установлена промышленная нефтеносность III объекта в интервале 3112-3076 м, дебит нефти 48 т/сут. с содержанием сероводорода 7%.

Скважина № 17 начата бурением 11.09.1987 г. с проектной глубиной 3450 м, окончена 18.09.1989 г. с фактическим забоем на глубине 3422 м.

Установлена промышленная нефтегазоносность I объекта в интервале 3396-3336 м – непромышленный приток газа с $H_2 S$ 18 % вес., III объекта в интервале 3060-3010 м - непромышленный приток газа с $H_2 S$ 18 % вес., II объекта в интервале 3253-3215 м получен газ с дебитом 100 тыс. м³/сут. с содержанием сероводорода 24 %

Разведка и оконтуривание второй и третьей залежей Датыхского месторождения на территории РИ не произведена в связи с наличием в газах сероводорода до 12 %.

В районе с. Ачалуки выходят источники минеральных вод, приуроченные к тектоническим зонам. Вода источников сероводородная, щелочная, гидрокарбонатная натриевая, с температурой +330С. В караганских песчаниках скважиной в с. Средние Ачалуки на глубине 192-196 метров вскрыта минеральная сероводородная гидрокарбонатная натриевая вода с минерализацией 2,94 г/дм³. Дебит скважины 0,56 л/спри понижении на 13,5 метров, пьезометрический уровень +14 метров. Вода используется для розлива. Региональным водоупором для водоносного комплекса служат отложения майкопской серии, представленные глинами. Они выходят на поверхность в районе Сунженского хребта, а в центральной части территории вскрыты скважинами. Мощность глин от 620 до 1000 метров.

Сложность проблемы безопасной эксплуатации стальных трубных конструкций в H_2S -содержащих средах заключается в том, что сероводород, обладая уникальными коррозионными свойствами, в зависимости от целого комплекса факторов, по-разному проявляет свою агрессивность.

В настоящее время считается общепризнанным, что сероводород может вызывать интенсивную общую и местную коррозию, а также приводит к более серьезному виду разрушения – коррозионному растрескиванию.

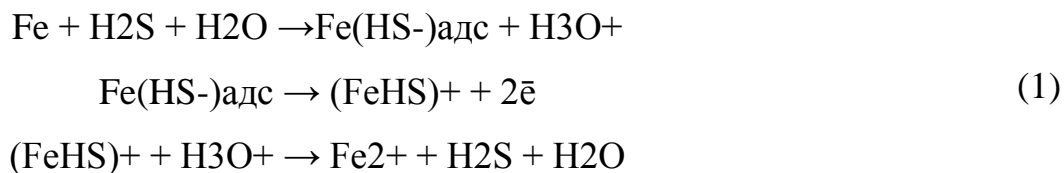
При этом нет единого взгляда на механизм коррозионного растрескивания сталей в сероводороде. Существует точка зрения, согласно которой в кислых H_2S -содержащих средах низколегированные стали, могут разрушаться путем локального анодного растворения (ЛАР). Ряд исследователей [2, 3] полагают, что растрескивание в сероводородных средах обусловлено наводороживанием металла при воздействии растягивающих напряжений. И, наконец, имеются данные, согласно которым коррозионное растрескивание связывают с одновременным протеканием процессов (ЛАР) и водородного охрупчивания (ВО). Характеристика рабочей среды – концентрация H_2S , температура и давление, pH раствора, наличие в транспортируемом продукте сопутствующих газов – CO_2 , SO_3 , минеральных солей, величина и характер приложенных напряжений, а также химический состав и структура металла труб являются факторами, влияющими на преобладание того или иного механизма разрушения. Поэтому одни и те же стали могут проявлять склонность к коррозионному растрескиванию, либо быть иммунными.

На практике процессы общей коррозии в H_2S -содержащих средах могут наблюдаться при высоких температурах, когда уменьшается локализация коррозии, необходимая для зарождения трещин, уменьшается растворимость сероводорода в воде. Общая коррозия превалирует также с ростом парциального давления сероводорода. Ее интенсификации способствует и повышение концентрации CO_2 . Значительному ускорению общей коррозии способствует также повышение степени минерализации водной фазы, а также наличие поступающих из пласта органических кислот (уксусной, муравьиной, пропионовой). Скорость общей коррозии поверхности трубопроводов при наиболее благоприятных условиях может достигать величины 2–3 мм/год. Однако, несмотря на серьезные разрушения металла труб, вызываемые и процессами общей коррозии, главная опасность от воздействия H_2S -содержащих сред заключается в водородном охрупчивании и связанном с ним коррозионном растрескивании.

Интенсивное наводороживание и водородное охрупчивание металла происходит в результате проникновения в него водорода, образующегося по электрохимическому, химическому и каталитическому механизмам, причем в зависимости от конкретных условий вклад каждой из реакций в суммарное количество проникающего водорода может быть различным.

Электрохимический механизм развивается в том случае, когда сероводород растворен в водной фазе, то есть, когда взаимодействие металла происходит с диссоциированным сероводородом.

Особенностью электрохимического воздействия сероводорода со сталью является то, что он оказывает каталитическое действие на протекание обеих электродных реакций – анодной и катодной. Так, согласно механизму, предложенному З. А. Иоффе, усиление анодной реакции ионизации железа протекает по схеме:



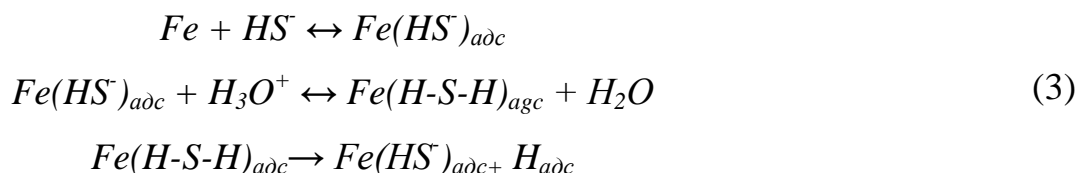
Образующийся на поверхности металла слой хемосорбированных ионов гидросульфида HS^- существенно ослабляет металлическую связь кристаллической решетки железа вследствие большего сродства атомов железа с серой, что и облегчает ионизацию железа. К этому же приводит снижение приэлектродной концентрации ионов железа Fe^{2+} в результате взаимодействия их с ионами гидросульфида HS^- по реакции



При этом происходит сдвиг электродного потенциала железа в отрицательную сторону, что ведет к увеличению скорости анодного процесса коррозии.

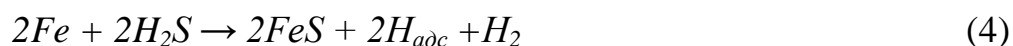
Электрохимическое растворение металла может проявляться не только в равномерном уменьшении толщины стенок трубы, но и в образовании каверн, свищей, глубоких язв и т.д. Существенную роль в усилении местной коррозии играет установление гальванических пар между сульфидами железа Fe_xS_y , являющихся катодами по отношению к железу и стали. Локальные коррозионные поражения поверхности металла в виде мелких язв и листингов могут стать источниками коррозионного растрескивания.

Катодная реакция в процессе электрохимической коррозии имеет вид:



Последняя стадия, как наиболее медленная, лимитирует общую скорость катодного процесса. Восстановленные атомы водорода частично рекомбинируют, а частично диффундируют в металл, вызывая водородную хрупкость.

Химическое взаимодействие молекул сероводорода с металлом является преимущественным видом коррозии в H_2S -содержащих органических средах в отсутствие водной фазы. Механизм химической коррозии имеет вид:



Так, основными продуктами коррозии в данном случае являются различные сульфиды железа, имеющие общую формулу Fe_xS_y , и водород, часть которого молизуется и удаляется в атмосферу, часть адсорбируется поверхностью металла и диффундирует вглубь него. Таким образом, при коррозии по химическому механизму также происходит наводороживание стали.

Считается, что образующаяся на поверхности металла сульфидная пленка существенно тормозит протекание химической реакции, однако интенсивное наводороживание металла продолжается за счет каталитического разложения сероводорода сложными сульфидами по реакции вида:



По-видимому, проникновению в металл водорода, образующегося по химическому и каталитическому механизму, будет способствовать обильный поток сероводорода в зону реакции вследствие чрезвычайно высокой растворимости сероводорода в органических средах.

Установлено, что каталитическое разложение сероводорода сульфидами имеет место и в процессах электрохимической коррозии.

Таким образом, интенсивное наводороживание металла в H_2S -содержащих средах, как по механизму электрохимической коррозии, так и по химическому механизму является результатом действия двух взаимосвязанных между собой процессов – химической и электрохимической коррозии.

Каталитическое разложение сероводорода на поверхности металла сульфидами, в электрохимических процессах оказывает интенсивное воздействие на анодную и катодную реакции.

Накопление водорода в металле в процессе сероводородной коррозии постепенно приводит к явлению, известному как водородное охрупчивание (ВО). Под ВО понимают, прежде всего, значительное снижение пластичности, проявляющееся в определенном интервале температур, и скоростей деформации. Сложность процесса ВО может быть следствием коллективного воздействия многих факторов, которые влияют и на степень охрупчивания, и на его вид. Большинство из этих факторов взаимосвязаны, что и затрудняет понимание и прогнозирование процесса в целом.

Водород, диффундирующий в кристаллическую решетку металла в виде протона (хотя имеются свидетельства того, что водород может перемещаться в решетке металла и в виде нейтральных атомов, и в виде отрицательно заряженных ионов), является активным химическим веществом и может взаимодействовать с собственными атомами, атомами других химических элементов (углеродом, кислородом и т.д.), дислокациями, связями в решетке металла. Многолетние исследования позволили выявить ряд механизмов взаимодействия водорода с металлом, иногда принципиально отличающихся друг от друга. В реальных условиях, скорее всего, происходит взаимодействие различных механизмов ВО и таким образом в окончательном виде охрупчивание проявляется комплексно, поэтому выделение вклада каждого из них представляется трудноразрешимой задачей. В на-

стоящее время, несмотря на отсутствие единой теории ВО, накоплен огромный материал о формах проявления водородного воздействия на структуру и свойства металла, что позволяет в каждом конкретном случае выявить наиболее значимый механизм, посредством которого происходит ухудшение свойств.

Наиболее полно классификация видов ВО предложена в работах [1,2], в которых различают два рода и восемь видов водородной хрупкости по источникам, вызывающим ее. Такой подход учитывает особенности видов ВО, предложенных различными исследованиями, так как позволяет связать все эти виды с условиями их развития. Хрупкость первого рода обуславливается источниками, которые имеются в исходном металле из-за повышенного содержания водорода еще до приложения нагрузки. Хрупкость этого рода по своей природе является необратимой и в свою очередь подразделяется на четыре вида. К первому виду относят высокотемпературную водородную коррозию стали, вызывающую внутри металла образование газообразных продуктов. Сюда же относят и так называемую водородную болезнь, заключающуюся в появлении дефектов сплошности вследствие внутреннего окисления водорода.

Второй вид хрупкости возникает из-за присутствия в металле в порах и несплошностях молекул водорода, образующихся как при кристаллизации, так и в твердом состоянии вследствие особенностей растворимости водорода в фазах металлических сплавов.

К третьему виду относится гидридная хрупкость. Наиболее сильно она проявляется тогда, когда выделения гидридов имеют вид пограничной сетки или длинных транскристаллитных пластин.

Четвертый вид хрупкости связан с водородом, растворенным в металле, и обусловлен блокированием растворенными атомами водорода источников дислокаций во вторичных плоскостях скольжения и повышением инертности подвижных дислокаций.

Охрупчивание второго рода обусловлено источниками, которые развиваются в металле только в процессе пластической деформации. Охрупчивание этого рода проявляется при малых скоростях деформации и может быть как обратимым, так и необратимым. Сюда входят остальные четыре вида хрупкости.

Водородная хрупкость пятого вида проявляется тогда, когда в сплаве образуются пересыщенные твердые растворы водорода. В процессе пластической деформации эти растворы, распадаясь, образуют либо молекулярный водород, вызывающий сильные внутренние напряжения, либо гидридную хрупкость фазы.

Наиболее широко известен шестой вид водородной хрупкости, так называемая «истинная водородная хрупкость», обусловленная взаимодействием атомов водорода с подвижными дислокациями. Эта хрупкость ухудшает физико-механические свойства металла.

К седьмому виду относится охрупчивание, проявляющееся вследствие направленной диффузии атомов водорода в неоднородных упругих, тепловых и электрических полях.

Восьмой вид хрупкости обусловлен водородом, образующимся при реакциях в процессе коррозионного растрескивания металлов.

Как свидетельствует приведенная классификация, ВО является сложным явлением, проявляющимся в самых различных условиях.

Из всех перечисленных видов водородной хрупкости для объяснения механизмов охрупчивания сталей в H₂S-содержащих средах наибольший интерес представляют три вида хрупкости, а именно, шестой, седьмой и восьмой, при этом считается, что хрупкость шестого вида развивается при концентрациях водорода меньших тех, которые необходимы для проявления водородной хрупкости 1-го рода. Этот вид водородной хрупкости связывают с такими его проявлениями, как статическая водородная усталость, циклическая водородная усталость, замедленное разрушение. Предлагается объединить все известные гипотезы этого вида хрупкости в четыре группы, критический анализ каждой из которых дан в работе [1]. Согласно В. А. Маричеву, эти четыре гипотезы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Теория «молекулярного давления».

2. Теория снижения когезионной прочности металла – теория Тройано и связанная с ней теория достижения локальной критической концентрации водорода в точках максимальных значений трехосных растягивающих напряжений – количественная кинетическая теория Герберича.

3. Теория адсорбционного понижения прочности (эффект Ребиндера).

4. Теории, основанные на взаимодействии атомов металла с дислокациями.

Для объяснения явления ВО трубных сталей в H₂S -содержащих средах в той или иной степени может быть привлечена каждая из предложенных гипотез. Однако наибольшего внимания заслуживает анализ первых двух теорий, как наиболее значимых в данных условиях.

Теория «молекулярного давления» – самый старый из принятых на сегодня механизмов вредного влияния водорода на механические свойства металлов. Суть его заключается в том, что избыточный водород, обладая ничтожно малой равновесной растворимостью в железе при нормальной температуре, стремится покинуть сплав путем перехода в молекулярное состояние на его поверхности. На достаточной глубине от наружной поверхности может идти выделение избыточного водорода на внутренних поверхностях полостей, таких как поверхность раздела между включением и матрицей сплава. Диффузия водорода и его выделение в молекулярной форме различного рода пустотах, имеющих в металле, приводит к снижению его концентрации в объемах, примыкающих к поверхности раздела, что вызывает возобновление диффузии водорода к этим полостям из объема матрицы. Скопление же газообразного водорода во внутренних полостях приводит к росту его давления и увеличению размеров последних.

При разработке этой теории впервые отмечена важная роль трехосного растяжения, возникающего вокруг газонаполненных полостей, и приводящего к резкому стеснению пластической деформации в этих зонах, облегчая тем самым процесс хрупкого разрушения.

Таким образом, ВО стали, согласно предлагаемой теории, развивается вследствие упомянутых пустот или микротрещин в матрице металла, а также в результате дополнительного внутреннего давления в пустотах, снижающего

приложенное напряжение, необходимое для развития разрушения. Характерная особенность гипотезы «молекулярного давления» заключается в том, что для зарождения и роста микротрещин в результате выделения молекулярного водорода внешнего напряжения не требуется, а вызванное этим процессом повреждение материалов оказывается необратимым. Недостатком этой теории является то, что она описывает процесс ВО не в динамическом, а в статическом виде. Она не способна объяснить кинетику замедленного разрушения при ВО, такие явления, как обратимость водородной хрупкости, зависимость ее от скорости деформации и температуры и т.п. Однако ценность ее в том, что она удовлетворительно объясняет необратимые структурные изменения стали при наводороживании, например, образование приповерхностных вздутий-блистеров и трещин, расположенных параллельно поверхности проката. В этом плане она и сегодня не потеряла своей актуальности [1-4].

Разработанная Тройано теория ВО предназначена для объяснения процесса замедленного разрушения и основывается на том, что увеличение концентрации водорода снижает когезионную прочность кристаллической решетки металла. Следует отметить, что хотя способность водорода при достаточно высокой концентрации снижать когезионную прочность решетки металла и не вызывает сомнений, сам механизм этого явления до конца не ясен. Одним из важнейших моментов указанной теории является обязательно неравномерное распределение водорода в металле, объясняющее тот факт, что даже при очень небольших общих концентрациях он может вызвать охрупчивание стали. Причем падение прочности наблюдается лишь в особых областях кристаллической решетки, где содержание водорода может в 3÷10 раз превышать его среднюю концентрацию. Необходимой предпосылкой построения этой гипотезы является чрезвычайно высокая подвижность атомов водорода в решетке металла, которая и обуславливает возможность перераспределения водорода в области локальных напряжений. Такими областями в ненапряженных металлах являются участки с искажениями кристаллической решетки, так называемые «ловушки». Растворимость водорода в таких участках значительно превышает его среднюю растворимость в матрице металла. Концентрация таких «ловушек» для водорода определяет его избыточную растворимость по сравнению с решеточной (в идеальной решетке). В настоящее время считается, что «ловушками» для мигрирующего в стали водорода являются обычные структурные составляющие – границы зерен, включения второй фазы, дислокации, отдельные атомы легирующих элементов. Определено влияние различных структурных составляющих и разного рода дефектов кристаллического строения на ВО сталей различных классов, а также емкость «ловушек» и связанная с ней растворимость водорода в металле. Так, в частности, показано, что активными «ловушками» водорода могут являться области с высокими внутренними остаточными микронапряжениями в металле, имеющиеся, например, в сталях со структурой не отпущенного мартенсита, а также места с высокой плотностью дефектов кристаллического строения, образованных дислокациями. Установлено, что при увеличении плотности дислокаций до 10^9 см² средняя растворимость водорода

может возрастать в 75 раз по сравнению с ее уровнем в тех областях, где плотность дислокаций существенно меньше.

Под воздействием напряжений картина перераспределения водорода значительно усложняется, так как при этом образуется множество новых «ловушек» водорода, часть из которых – обратимые. При нагружении основными «ловушками» водорода появляются зоны с максимальными трехосными напряжениями вблизи концентраторов типа острых надрезов и микротрещин, в местах скоплений плоских заторможенных дислокаций. Образование дислокационных скоплений происходит зачастую по причине неоднородности пластической деформации на начальных ее этапах при напряжениях ниже предела текучести. Предполагается, что такие «ловушки», или как их еще называют – области объемного растяжения – должны быть более мощными «ловушками» для водорода по сравнению с дислокациями и границами зерен. Возникновение упругих напряжений приводит к уменьшению эффективного коэффициента диффузии и повышению предельной растворимости водорода, а сами области с максимальными трехосными напряжениями, как концентраторы напряжений и водорода, являются наиболее вероятными местами зарождения трещин в условиях замедленного разрушения стали [2-5].

Кинетические теории ВО, в основу которых положены различные решения уравнения диффузии водорода в зону максимальных трехосных напряжений, рассматриваются также и другими авторами. При дальнейшем развитии кинетической теории ВО Герберичем было показано, что инкубационный период в скачкообразном росте трещины при коррозионном растрескивании зависит, кроме прочего, и от источника водорода (который может быть внешний или внутренний), от способа доставки водорода в зону максимальных трехосных напряжений. Дальнейший прогресс декогезионной теории ВО связан с решением вопроса о зонах локализации процесса разрушения, роли механизмов доставки водорода и причинах скачкообразного роста трещины. Однако теории этой группы содержат и ряд недостатков, таких как излишне формализованный подход к количественным описаниям кинетики развития трещин при ВО; отсутствие в настоящее время надежных данных о влиянии водорода на межатомные связи в сплавах железа; недооценка эффектов транспортировки атомов водорода движущимися дислокациями и т.д.

Рядом исследователей подчеркивается, что весьма важную роль в процессах ВО конструкционных материалов могут играть и механизмы охрупчивания, предлагаемые теориями адсорбционного понижения прочности (эффект Ребиндера) и теории взаимодействия водорода с дислокациями. Основой гипотезы адсорбционного механизма охрупчивания стали является то, что водород – поверхностно-активное вещество, адсорбируясь на внутренней поверхности микротрещин, приводит к снижению свободной энергии поверхности, тем самым облегчая раскрытие трещины и последующее разрушение. Гипотеза, основанная на возможности взаимодействия водорода с дислокациями с образованием «облаков» Котрелла, предполагает, что при воздействии внешней нагрузки водород диффундирует совместно с дислокациями к активным плоскостям

скольжения, где скопление дефектов и атомов водорода создает трудности в осуществлении пластической деформации и приводит к локальному охрупчиванию. Кроме того, предполагают и другой возможный вариант охрупчивания, когда водородная атмосфера Коттрелла, связанная с движущейся дислокацией, увлекается последней и оседает на дефектах решетки по мере того, как сквозь них проходит дислокация. Локальное высокое насыщение водорода, возникающее на этих дефектах, существенно облегчает раскрытие микротрещин. Общим недостатком этих двух теорий является невозможность объяснения с их помощью многих явлений, порождаемых ВО, и поэтому они носят дополняющий характер для первых двух гипотез [5-8].

Обобщение всего вышеизложенного дает представление о том, насколько сложно и многогранно явление ВО. Отсутствие достаточно полной и непротиворечивой теории взаимодействия водорода с металлом, а также обилие гипотез, объясняющих это явление, свидетельствуют о том, что механизмы ВО остаются в числе проблем, решение которых позволит резко повысить качество сероводородостойких конструкционных материалов.

Рассматриваемые теории ВО сталей позволяют заключить, что если кинетические особенности замедленного разрушения определяются параметрами диффузионной подвижности водорода и интенсивностью источников водорода, то степень и сам механизм ВО является функцией многих параметров, среди которых главными считаются структура и химический состав стали, скорость деформации, вид напряженного состояния, температура, количество и распределение примесей и неметаллических включений, наличие внутренних напряжений [1-5].

К настоящему времени считается установленным на основе многочисленных исследований как у нас в стране, так и за рубежом большое влияние металлургических факторов на сопротивляемость трубных материалов сероводородному коррозионному растрескиванию под напряжением и ВО.

На основании существующих представлений о причинах водородного охрупчивания сформулированы требования к легированию и структуре водородостойких конструкционных сталей, заключающиеся в обеспечении высокого сопротивления хрупкому разрушению, чтобы зарождающаяся под действием водорода трещина не развилась, а также в предотвращении образования фаз, являющихся ловушками для водорода.

Углерод является элементом, в значительной мере определяющим характер структурных превращений в стали. Изменяя с помощью легирующих добавок термодинамическую активность углерода в стали, можно влиять на кинетику структурных превращений, критическую температуру вязко-хрупкого перехода, прочность и распределение фаз при термомеханической обработке стали, и таким образом, контролировать стойкость стали к водородному охрупчиванию.

Считается установленным также тот факт, что сера, фосфор и неметаллические включения существенным образом понижают стойкость сталей к сероводородному коррозионному растрескиванию и ВО. Известно, что сера и фосфор способны катализировать процесс адсорбции, сталью водорода, замедляя рекомбинацию его атомов, однако, главный ущерб отрицательного воздействия

их на прочность усматривают в образовании неметаллических включений, причем сульфиды в большей степени понижают стойкость стали к ВО по сравнению с другими видами включений.

Полагают, что сульфидные неметаллические включения играют двоякую роль в качестве дефектов, активных по отношению к водороду – они способны накапливать водород как в атомарной, так и в молекулярной форме, способствуя тем самым развитию разрушения по двум принципиально разным механизмам – по механизму сероводородного коррозионного растрескивания под напряжением (СКРН) и по механизму водородно-индуцируемого растрескивания (ВНР). Внешние напряжения меняют механизм растрескивания. Во-первых, начинают активно функционировать новые ловушки водорода в так называемых областях объемного растяжения металла, где ввиду малого размера этих ловушек другие механизмы водородного охрупчивания реализуются раньше, чем будет создано внутреннее давление, достаточное для разрыва матрицы. Процесс образования и развития трещин протекает очень быстро, причем для его развития не требуется насыщение металла водородом, достаточна лишь его высокая локальная концентрация. Таким образом, ускоренное распространение трещин под воздействием напряжений приводит к постепенному ступенчатому объединению существующих и вновь образующихся микротрещин и слиянию их в одну магистральную трещину. С некоторого момента процесс перестает быть стабильным и происходит разрушение образца. Экспериментальные исследования поверхностных трещин при циклических испытаниях проводились на образцах (рисунок 1) выполненных из стали Х70

На рис. 1 показан образец и схема нагружения. Образец состоит из металла трубы и жесткой вставки.

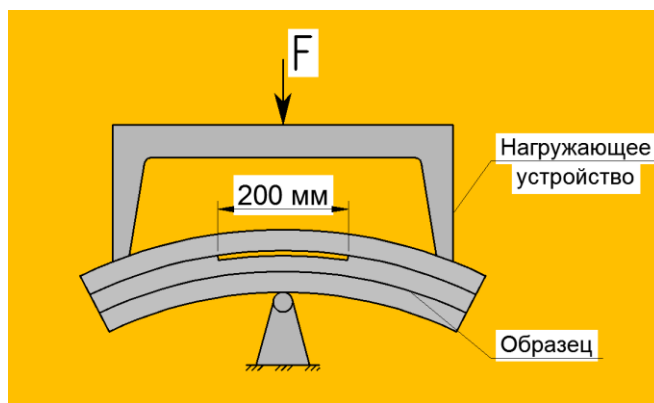


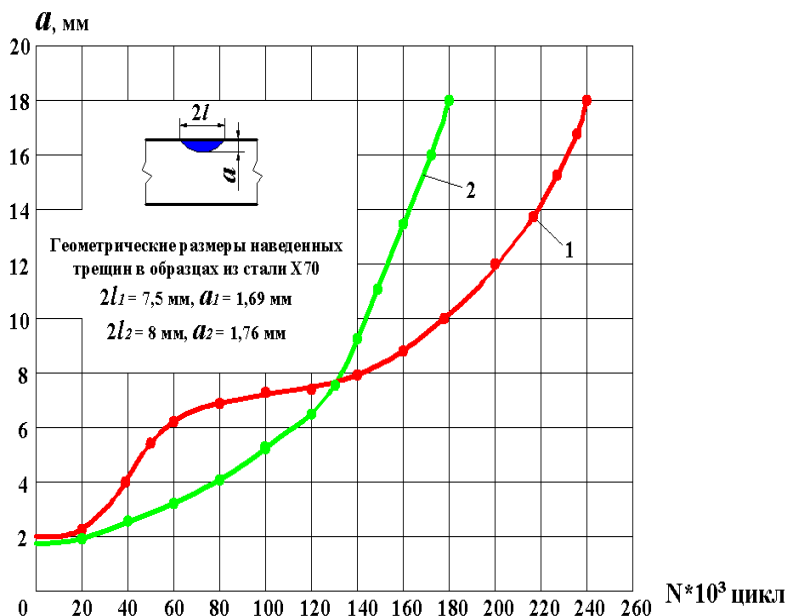
Рисунок 1 - Образец и схема нагружения

Для обеспечения равномерных растягивающих напряжений по толщине в сегменте испытуемого металла трубы, в центральной части образца в жесткой вставке выполнена проточка.

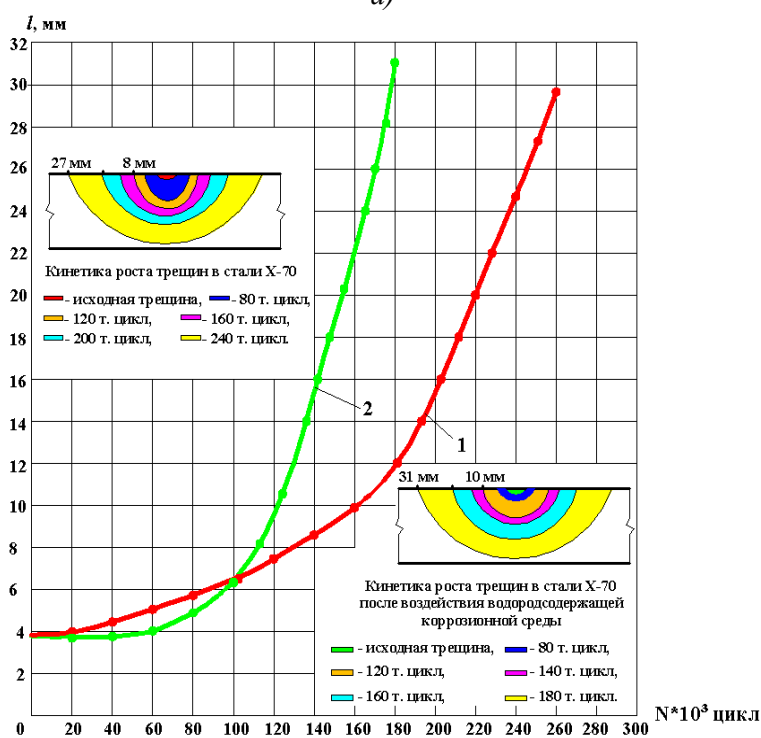
Длина проточки способствует выравниванию напряжений по толщине испытуемого металла трубы и определяется по расчетной схеме как для пластины, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой [4-8]. Образцы испытывали на циклическую трещиностойкость.

Для проведения испытаний были изготовлены 6 образцов. Геометрические, физические и прочностные характеристики образцов идентичны. 3 образца испытывались в исходном состоянии, 3 – после выдержке в среде, содержащей сероводород.

В центральной части образца в поперечном направлении наносились полуэллиптические надрезы. Была выявлена следующая закономерность развития полуэллиптических трещин.



а)



б)

Рисунок 2.а, б – Развитие наведенных трещин эллиптической формы (1, 2) по толщине (а) и поверхности (б) образцов из трубной ст. X70, $\varnothing 1420 \text{ мм}, \delta = 18,5 \text{ мм}$ при циклическом нагружении $\sigma_{\max} = 0,8\sigma_T, R = 0,6$.

1 – исходное состояние; 2 – после действия коррозионной среды

Значения критических коэффициентов интенсивности напряжений для стали в исходном состоянии равно $70 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$. Для образцов, выдержанных в среде сероводорода выявлено значительное снижение критического коэффициента интенсивности напряжений до величины $40 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$.

Заключение

Влияние сероводорода на коррозионо-механические свойства конкретных трубных сталей свидетельствует о сложном и многообразном механизме вредного воздействия сероводорода на служебные свойства металла, а также о большом вкладе многочисленных факторов на степень коррозионного воздействия агрессивной среды.

Полученные результаты во многом подтверждают выводы других исследователей.

Вместе с тем, как свидетельствуют результаты испытаний, полную оценку служебных свойств металла труб можно получить только на основе комплексного исследования влияния всех отдельных факторов.

Список использованных источников

1. Стеклов О.И. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением/М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
2. Карпенко Г.В., Василенко И.И. Коррозионное растрескивание сталей/ Киев: Техника, 1971. – 192 с.
3. Шрайдер А.В., Шпарбер И.С. Влияние водорода на химическое и нефтяное оборудование/М.: Машиностроение, 1976. – 144 с.
4. Калачев Б.А., Габидулин Р.М. О формах проявления водородной хрупкости в металлах и сплавах/ Физ.-химическая механика материалов, 1976. Том 12, № 5. С. 3 – 10.
5. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов/ М.; Металлургия, 1982. – 232 с.
6. Маричев В.А. Современное представление о водородном охрупчивании при замедленном разрушении// Защита металлов, 1980, Том 16, № 5. С. 531-543.
7. Клюев Р.В., Егорова Е. В., Босиков И.И., Цидаев Б.С. Evaluation of use of effective technologies for increasing sustainable development of natural and technical system of oil and gas complex // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т.10. №3 (37). С. 392-403.
8. Клюев Р.В., Босиков И.И. Разработка методов и алгоритмов повышения эффективности функционирования промышленно-технической системы // Монография / И. И. Босиков, Р. В. Клюев; Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет). – Владикавказ: Северо-Кавказский горно- металлургический институт (государственный технологический университет). Изд-во «Терек», 2018. – 237 с. ISBN 978-5-9500070-4-0.

Вручение почетных грамот участникам конференции за достижения
в области развития нефтегазовой отрасли













РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

УДК 620.9.001

ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ (2011–2030 гг.): СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Керимов И.А., Минцаев М.Ш., Дебиев М.В.

Грозненский государственный нефтяной технический университет
имени академика М. Д. Миллионщикова
ibragim_kerimov@mail.ru

Аннотация: Рассматривается ход выполнения Программы развития электроэнергетики Чеченской Республики (2011-2030 гг.) за истекшие восемь лет, которая включает в себя четыре подпрограммы, описывающие потенциал ресурсов и перспективу развития энергетики Чеченской Республики. Дана оценка показателей электропотребления и максимума нагрузок в Чеченской Республике до 2018 г. и на перспективу («расчетный», «оптимистический» и «фактический» варианты). Выведены результаты суммарных показателей электросетевого строительства и реконструкции объектов за 2011-2018 гг. Рассмотрены возможные направления (расчетный и оптимистический варианты) развития энергетики.

Ключевые слова: Чеченская республика, энергетика, мощность, энергосистема.

ENERGY DEVELOPMENT PROGRAM OF THE CHECHEN REPUBLIC (2011–2030): STATUS AND PROSPECTS

Kerimov I.A., Mintsaev M.Sh., Debiev M.V.

Grozny State Oil Technical University named after acad. M.D. Millionshtchikov

Abstract: *The progress of the implementation of the Electricity Development Program of the Chechen Republic (2011-2030) over the past eight years, which includes four subprograms describing the potential of resources and the development prospects of the energy sector of the Chechen Republic, is considered. The estimation of power consumption indicators and maximum loads in the Chechen Republic until 2018 and for the future (“calculated”, “optimistic” and “actual” options) is given. The results of the total indicators of electric grid construction and reconstruction of facilities for 2011-2018 are displayed. Possible directions (calculated and optimistic options) of energy development are considered.*

Keywords: *Chechen Republic, energy, power, energy system.*

В целях обеспечения стабильной экономики Чеченской Республики энергетическими ресурсами необходима научно обоснованная государственная энергетическая политика. Для этого в первую очередь с 2010 г. разрабатывается программа развития энергетики Чеченской Республики, в которой приводятся основные направления и параметры, а также перечень и сроки планируемых к

строительству и вводу генерирующих мощностей. Данная программа ежегодно пересматривается, где приводятся соответствующие коррективы.

Основой для разработки Программы являются законодательные и иные нормативные правовые акты Российской Федерации и Чеченской Республики, исследования по основным направлениям научно-технического прогресса в топливно-энергетическом комплексе. Программа развития энергетики Чеченской Республики на период до 2030 г., составленная в 2010 г. включает в себя 4 подпрограммы:

- Подпрограмма «Электроэнергетика».
- Подпрограмма «Гидроэнергетика».
- Подпрограмма «Использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии».
- Подпрограмма «Использование геотермальных вод».

ПОДПРОГРАММА «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»

Чеченская энергосистема обеспечивает централизованное электроснабжение потребителей на территории Чеченской Республики. С 1-го октября 2013 года, после консолидации электросетевых объектов Чеченской Республики, приступила к операционной деятельности сетевая компания АО «Чеченэнерго».

С этого времени АО «Чеченэнерго» осуществляет эксплуатацию электрических сетей на всей территории Чеченской Республики, ранее эксплуатировавшиеся ОАО «Нурэнерго» и электрические сети городов Грозный, Гудермес и Аргун, ранее эксплуатировавшиеся ГУП «Чечкоммунэнерго».

Электроэнергетика Чеченской Республики представляет собой комплекс воздушных и кабельных линий электропередачи и трансформаторных подстанций разного класса напряжения, связанных общностью режима работы, имеющих общий резерв мощности и централизованное оперативно-диспетчерское управление.

Данный комплекс территориально включает в себя сети напряжением 330 кВ и электрические сети напряжением 0,4; 6; 10; 35; 110 кВ [1].

По территории энергосистемы проходит транзитная электропередача 330 кВ Владикавказ-2 – Грозный – Чирюрт, которая является питающей ВЛ для ПС 330 кВ Грозный.

Электропередача 330 кВ Владикавказ-2 – Грозный – Чирюрт была восстановлена в 2003 году.

ПС 330 кВ Грозный – единственный и основной центр питания сети 110 кВ на территории Чеченской энергосистемы, был восстановлен в 2006 г. с одним АТ 330/110 кВ мощностью 125 МВА. Второй АТ 330/110кВ 125 МВА на ПС Грозный введен в эксплуатацию в 2009г. В 2011г. на ПС 330 кВ Грозный введен в эксплуатацию третий АТ 330/110 кВ 125 МВА. Сети напряжением 330 кВ находятся в собственности ОАО «ФСК ЕЭС» и эксплуатируются его региональным филиалом – МЭС Юга. Электрические сети напряжением 0,4; 10; 35 и 110 кВ в основном находятся в собственности и эксплуатируются АО «Чеченэнерго».

В 2018 г. собственный максимум нагрузки Чеченской энергосистемы составил 486 МВт (рис. 1), вследствие чего темпы электропотребления имеют динамику определенного роста потребления электроэнергии. Из-за продолжающихся в Чеченской Республике строительно-восстановительных работ рост электропотребления в сравнении с 2017 годом составил 6% и достиг величины 2862,8 млн. кВт.ч. (рис. 2).

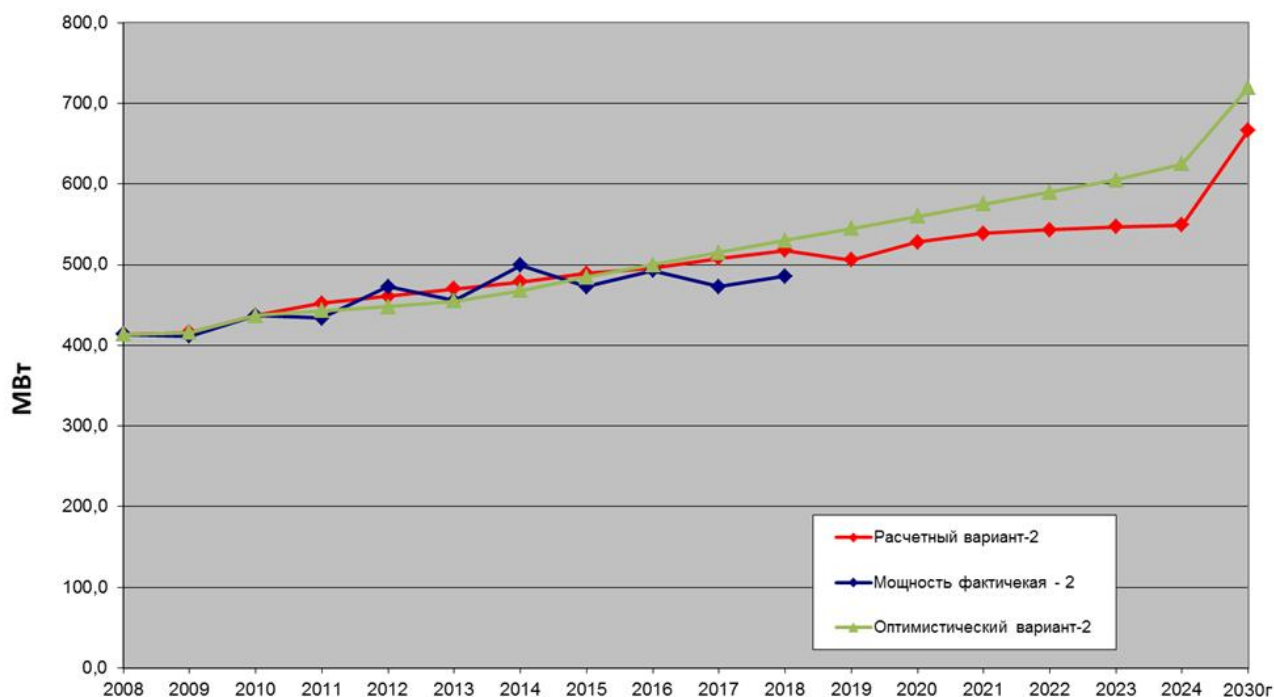


Рисунок 1 - Диаграмма максимальной мощности

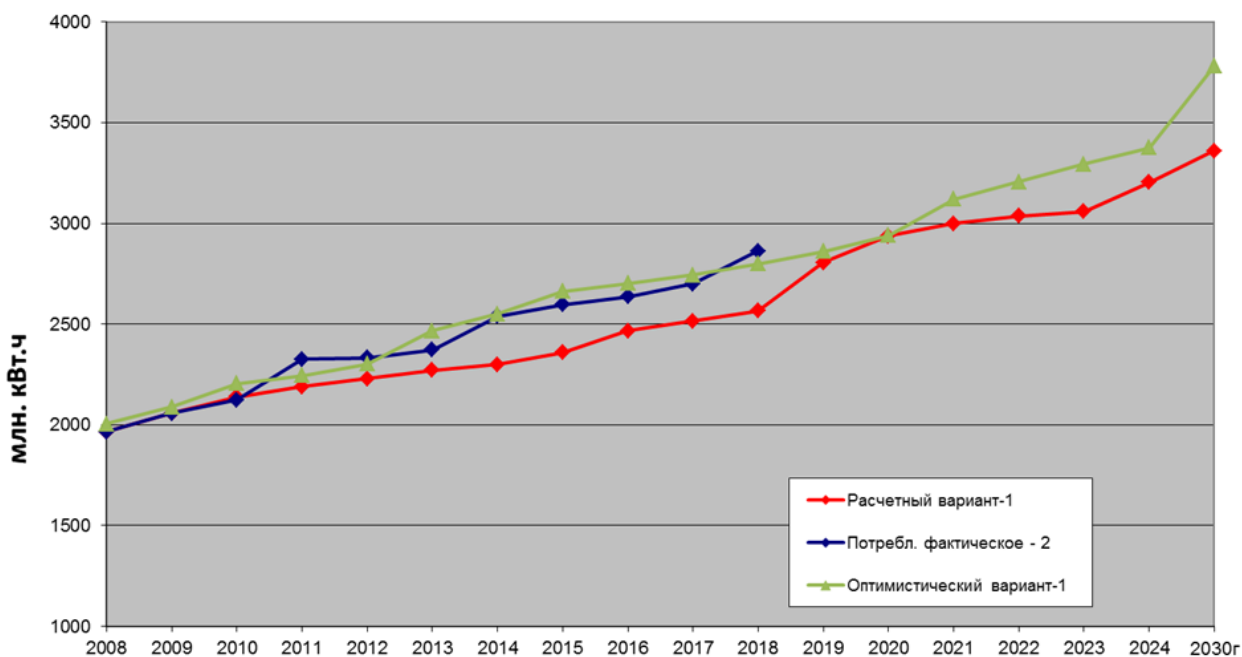


Рисунок 2 - Диаграмма электропотребления

Развитие источников электроснабжения, мощность и электроэнергия на период с 2010 до 2030 г.

Для реализации целей развития источников электроснабжения энергосистемы Чеченской Республики первостепенное значение имеет создание новых генерирующих мощностей и соответствующая модернизация основных средств энергосистемы. Перечень планируемых к строительству и вводу генерирующих мощностей приведен в таблице 1.

Таблица 1

Перечень планируемых к строительству и вводу генерирующих мощностей

№	Наименование	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015	2016	1017	2018	2019	2020	2016-2020	2021-2030
1	Каскад ГЭС на р.Аргун													392
2	в т.ч. Чири-Юртская	-	-	-	-	-	-	/32	-	-	-	-	/32	-
3	Дуба-Юртская	-	-	-	-	-		/48	-	-	-	-	/48	-
4	Итум-Калинская	-	-	-	-	-		-	-	-	-	/117	/117	-
5	Зоны	-	-	-	-	-		-	-	-	-	/80	/80	-
6	Нихалойская	-	-	-	-	-		-	-	-	-	/83	/83	-
7	Кокадойская	-	-	-	-	-		-	-	-	-	/32	/32	-
8	Ветропарк	-	-	-	-	/6	/6	/6	/6	/6	/12	/12	/42	/24
9	Грозненская ТЭС	-	-	-	-	/200	/200	/200-	-	-	-	200/-	200/200	200/-
10	Промканал							9					/9	
11	ДГА	-	/2,5	/2	/2	/2	/8,5	/2,5	-	-	-	-	/2,5	-
	ВСЕГО	6	2,5	52	2	208	270,5	297,5	6	6	62	524	895,5	616
в т.ч.	ГЭС	-	-	-	-	-		80	-	-	-	/312	392	392/
	ТЭЦ	6	-	50	-	200	/256	200	-	-	50/	200/	250/200	200/
	ВЭС	-	-	-	-	6	6	6	6	6	/12	/12	/42	/24

Развитие генерирующих источников на территории Чеченской Республики предусматривалось путем расширения Аргунской ТЭЦ до 50 МВт и строительства Грозненской ТЭС мощностью 400 МВт. Ввод мощности Аргунской ТЭЦ планировался в 2019 г., но ввиду строительства Грозненской ТЭС мощностью 358 МВт проведение мероприятий по восстановлению Аргунской ТЭЦ полностью прекращены из-за отсутствия инвестора и целесообразности восстановления станции в существующем виде. В 2018 году в Чеченской Республике осуществлен ввод Грозненской ТЭС (ГТУ-1 и ГТУ-2, мощностью по 176 МВт каждый) общей мощностью 352 МВт, работа которой с выдачей вырабатываемой электроэнергии в сеть производилась лишь на время пусконаладочных ра-

бот проверки, настройки и испытания электрооборудования с целью обеспечения электрических параметров и режимов, заданных проектом.

В 2015 году введена в эксплуатацию малая ГЭС на реке Аргун (МГЭС Кокадой) мощностью 1,3 МВт.

Завершается строительство малой ГЭС на реке Сунжа мощностью 0,5 МВт (Кировская МГЭС). Разработаны проекты строительства малых ГЭС на реке Аргун:

МГЭС «Сателлит» - 1,2 МВт;

МГЭС «Гухой» - 2,1 МВт;

МГЭС «Ушкалой» - 4,9 МВт.

ООО «Юг-Строй» начал инвестирование проекта строительства МГЭС на реке Аксай мощностью 1 МВт с предварительной стоимостью 294 млн.руб.

Начаты предварительные изыскания компании ООО «Стройпроект-ТМ» по строительству МГЭС «Башенная» в Итум-Калинском районе ЧР с установленной мощностью 8 МВт и оценочной стоимостью в сумме 1,300 млрд. руб.

С компанией ООО «Авелар Солар Технолоджи» Правительством ЧР подписано Соглашение о строительстве на территории Чеченской Республики Солнечной электростанции мощностью до 5 МВт с ориентировочными затратами на строительство в сумме 525 млн.руб.

Развитие электрических сетей

За последние три года на территории Чеченской Республики введены в работу следующие подстанции:

ПС 110 кВ Черноречье с двумя трансформаторами 110/35/10 кВ 2х16 МВА (общая мощность 32 МВА), питание которой осуществляется с отпаек от ВЛ 110 кВ Грозный –ГРП-110 (Л-136) и ВЛ 110 кВ ГРП-110 – Октябрьская (Л-137), длина отпаек которых составляет по 3,2 км;

ПС 110 кВ Тепличная с одним трансформатором 1х16 МВА, питание которой осуществляется от ВЛ 110 кВ Грозный – Тепличная, длина которой - 20 км;

ПС 110 кВ Родина с одним трансформатором 1х25 МВА, питание которой осуществляется с отпайки от ВЛ 110 кВ Грозный – Тепличная, длина отпайки которой составляет 1,5 км;

ПС 110/35/10 кВ Курчалой с двумя трансформаторами 110/35/10 кВ 2х25 МВА (общая мощность 50 МВА), питание которой осуществляется от ВЛ 110 кВ Ойсунгур – Курчалой (17,8 км) и ВЛ 110 кВ Аргунская ТЭЦ - Курчалой (25,95 км).

ПС 110/10 кВ Гудермес-Сити с двумя трансформаторами 110/10 кВ 2х25 МВА (общая мощность 50 МВА), питание которой осуществляется от ВЛ 110 кВ Аргунская ТЭЦ – Гудермес-Сити, Гудермес-Сити – Гудермес-Тяговая I цепь, Гудермес-Сити – Гудермес-Тяговая II цепь, Гудермес-Сити – Гудермес Л-126.

Также произведена реконструкция и техническое перевооружение некоторых подстанций АО «Чеченэнерго», с заменой коммутационного оборудования, а также монтажом и наладкой устройств релейной защиты и автоматики на современной элементной базе. Введены в работу ВЛ 110 кВ:

- ВЛ 110 кВ Грозный – Цемзавод (Л - 161) протяженностью 24,3 км;

- ВЛ 110 кВ Ищерская – Плиево (Л – 122) протяженностью 30 км;

- ВЛ 110 кВ Ойсунгур – Гудермес – Тяговая (Л - 144) протяженностью 28,5 км;
- ВЛ 110 кВ Аргунская ТЭЦ – Курчалой;
- ВЛ 110 кВ Ойсунгур – Курчалой.

На стадии завершения работы по строительству и вводу в работу Грозненской ТЭС. На станции установлены 2 генератора производства «СИМЕНС» типа - «SGen5-100A-2P», полной мощностью 204 МВА (173,4 МВт) каждый. В общей сложности станция будет выдавать 360 МВт мощности. Номинальное напряжение на выходах генераторов составляет - 15,75 кВ. Для трансформации генераторного напряжения до 110 кВ установлены блочные трансформаторы мощностью 250 МВА, производства «СИМЕНС».

В результате реконструкций и доведения подстанций до проектных параметров за последние 5 лет были увеличены установленные мощности нижеперечисленных подстанций (таблица 2).

Таблица 2

Перечень подстанций

№№ п/п	Класс напряжения	Наименование объекта	Принадлежность к компании	Год ввода	Протяженность /мощность (км/МВА)
1	330	ПС 330 кВ Грозный введен в работу третий трансформатор АТ-3 125 МВА	ПАО «ФСК ЕЭС	2011	375
1	110	ПС ГРП – 110, замена Т-3 16 МВА на 25 МВА	АО «Чеченэнерго»	2014	50
2	110	ПС 110 кВ Ищерская, замена Т-1 10 МВА на 16 МВА	АО «Чеченэнерго»	2014	32
3	110	ПС 110 кВ № 84, установка 2-го трансформатора 16 МВА	АО «Чеченэнерго»	2014	32
4	110	ПС 110 кВ Шелковская, ввод 2-го трансформатора 10 МВА	АО «Чеченэнерго»	2014	20
5	110	ПС 110 кВ Черноречье 2 x 16 МВА с отпайками от ВЛ 110 кВ Грозный – ГРП-110 (Л136) и ВЛ 110 кВ ГРП-110 – Октябрьская (Л-137)	АО «Чеченэнерго»	2017	3,2 км; 32 МВА,
6	110	ПС 110/10 кВ Курчалой с двумя трансформаторами 110/35/10 кВ 2 x 25 МВА с ВЛ 110 кВ Ойсунгур – Курчалой и ВЛ 110 кВ Аргунская ТЭЦ – Курчалой	АО «Чеченэнерго»	2017	43,75 км; 50 МВА

№№ п/п	Класс напряжения	Наименование объекта	Принадлежность к компании	Год ввода	Протяженность /мощность (км/МВА)
7	110	ПС 110 кВ Тепличная 1х16 МВА с ВЛ 110 кВ Грозный – Тепличная	ООО «Тепличный козплекс ЮгАгро-Холдинг»	2017	20 км; 16 МВА
8	110	ПС 110 кВ Родина 1х25 МВА с отпайкой от ВЛ 110 кВ Грозный – Тепличная	ООО «Тепличный козплекс ЮгАгро-Холдинг»	2017	1,5 км; 25 МВА
9	110	ПС 110/10 кВ Гудермес-Сити с двумя трансформаторами 110/10 кВ 2 x 25 МВА	АО «Чеченэнерго»	2017	50 МВА

ПОДПРОГРАММА «ГИДРОЭНЕРГЕТИКА»

Целесообразность использования гидроэнергоресурсов горных рек многократно подтверждена на практике развития энергетики республик Северного Кавказа, где в настоящее время функционирует 36 ГЭС, в стадии проектирования и строительства находится еще около 30 ГЭС.

В представленной компанией «РИКО Групп», «Схеме размещения объектов каскада ГЭС и социальной сферы», предлагается строительство каскада ГЭС на р. Аргун, которое призвано обеспечить: дальнейшее развитие экономики, объектов сельского хозяйства, производства экологически чистой электроэнергии, сферы услуг и отдыха в Чеченской Республике, снизить потери в электрических сетях, улучшить социальную обстановку. В августе 2015 года на р. Аргун введена небольшая ГЭС мощностью 1,2 МВт. Правительство Чеченской Республики и РАО «ЕЭС России» ранее пришли к согласованному решению о необходимости развития гидроэнергетики. Решением Правительства Чеченской Республики в 2009 г. проект строительства каскада ГЭС на реке Аргун вошел в Перечень приоритетных инвестиционных проектов и предложений Чеченской Республики. В целом, инвестиционный проект каскада Аргунских ГЭС имеет также огромное социальное значение, связанное с созданием более 20 000 новых рабочих мест во время строительства (12-15 лет).

Территория Чеченской Республики характеризуется высокой обеспеченностью водными ресурсами (как поверхностными, так и подземными). Водные ресурсы республики сосредоточены в реках, озерах, водохранилищах, ледниках и в недрах земли. Чеченская Республика имеет весьма разветвленную речную сеть. Общее количество рек составляет 3198, суммарная протяженность - 6508,8 км. Все реки относятся к речным системам Терека и Сулака бассейна Каспийского моря. Преобладающее большинство рек (>97 %) представляет собой небольшие водотоки длиной менее 10 км. Число основных рек (длиною более 10 км) - 100. Большая часть рек республики относится к горным, имеют ледниковое или грунтовое питание.

ПОДПРОГРАММА «НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ»

Ветроэнергетика

Территория Чеченской Республики относится к району со средним уровнем ветровой энергии. Характерной особенностью ветровой обстановки является неравномерность распределения скорости ветра по территории и интенсивности в различные периоды года. Наиболее распространенным видом местных ветров являются горно-долинные ветры, возникающие за счет контрастов температуры воздуха отдельных частей долин или котловин и склонов. Горно-долинные ветры характеризуются суточной сменой направления. Летом горно-долинная циркуляция выражена наиболее ярко и достигает максимальной мощности.

Расчеты ветрового потенциала выполнены для различных климатических зон территории: горной части, средней полосы и Затеречной равнины, с пересчетом скоростей ветра и повторяемостей с высоты флюгеров на высоту 75 метров (высота ветроэнергетической установки мощностью 500-750 кВт). Ветроэнергетический валовый потенциал по проведенным расчетам составляет 1406,0 млрд. кВтч/год технический потенциал составляет $\approx 14,0$ млрд. кВтч/год. Использование энергии ветра является перспективным в отдельных регионах республики, где скорость ветра достаточно велика. Применение современных ветроэнергетических установок (ВЭУ) экономически целесообразно при среднегодовой скорости ветра от 5 м/с.

Стоимость выработки электроэнергии на ВЭУ мощность 250-750 кВт прямо зависит от среднегодовой скорости ветра и местных условий и колеблется в пределах 0,93 руб. (10 м/с) – 3,60 руб. (5 м/с) за 1 кВтч.

С учетом изложенных выше критериев предлагается создать ветропарк на территории Чеченской Республики, который станет локомотивом развития нетрадиционных источников в республике. Данные о скоростях ветра свидетельствуют в пользу развития ветроэнергетики на севере республики. Представляется оптимальным создание ветропарка на Терском хребте, имеющим высоты над уровнем моря 400-600 м. Согласно исследованиям по ветроэнергетике энергия ветра на таких высотах больше на 5-10%, чем энергия ветра на высотах 0-100 м. Тем не менее, для данного района необходимы ветроизмерения. Необходимо установить мачты для проведения цикла ветроизмерений на площадке будущей ВЭС.

Планировалось построить ветропарк, состоящий из 24 ВЭУ с установленной мощностью 1,5 МВт каждая, с общей установленной мощностью 36 МВт. Стоимость проекта с учетом затрат на оборудование и строительства, проектных работ, исследований характеристик ветра, выбора площадки, ПИР и т.д. необходимые инвестиции составляют 1,5 млрд. руб. Годовая выработка электроэнергии -72 тыс.кВт/ч. Согласно программе развития энергетики Чеченской Республики, сроки реализации проекта были – 2011-2030 гг.

Солнечная энергетика

Положение Чеченской Республики между 42° и 46° северной широты обуславливает интенсивный приток солнечной радиации. Запасы солнечной энергии, выраженные величиной радиационного баланса, в равнинных и предгорных районах составляют $50-55$ ккал/см² в год. С увеличением высоты местности радиационный баланс уменьшается и на высоте 2500 м его значения не превышают $30-35$ ккал/см²; в высокогорной зоне он уменьшается до отрицательных величин и в среднем на высоте более 3000 м равен $-3\div 4$ ккал/см².

На равнинной части территории Чечни радиационный баланс положительный почти в течение всего года. Продолжительность солнечного сияния составляет в среднем 330 дней в году, а плотность солнечного излучения достигает до $0,33$ кВт/м² и более на равнинной части территории и в горных районах - $0,46$ кВт/м². Дни «без солнца» наблюдаются редко - $34 - 40$ дней в долинно-предгорных районах и $10 - 12$ дней в высокогорьях, и лишь наибольшее их количество составляет 61 день в равнинной части территории. Наибольшее количество дней «без солнца» наблюдается в зимнее время $6 - 12$ дней. С июня по сентябрь наблюдается всего $1 - 5$ дней «без солнца» в десятилетие. В целом за год, облачность снижает поступление прямой радиации на $20\div 25\%$ от потенциально возможной.

Суммарная радиация определяется общим приходом прямой и рассеянной радиации на горизонтальную поверхность. Максимальной интенсивности суммарная радиация на всей территории республики достигает в мае - июле месяцах. Интенсивность суммарной радиации изменяется для предгорных районов от 280 до 300 мДж/м². В высокогорных районах она колеблется от 360 до 400 мДж/м².

Валовый потенциал солнечной энергии для территории Чеченской Республики оценивается как $1,365$ кВт·час/(м²·год). В настоящее время эффективность преобразования энергии кремниевых фотоэлектрических источников серийно выпускаемых промышленностью составляет $12-17\%$.

Технический потенциал по получению электрической энергии (с учетом площади занимаемой преобразователями $0,01\%$ от всей площади территории и КПД установок 15%) составляет - 3.03 млрд. кВт·час/год и, как показывают расчеты, 1 м² гелиоколлектора позволяет сэкономить $0,15-0,2$ тонн ископаемого топлива в год.

Биоэнергетика

Вопросы использования твердых бытовых отходов (ТБО) в биоэнергетике в Чеченской Республике ранее не поднимались, однако из мирового опыта известно, что уровень рентабельности производства биогаза значительно повышается при утилизации отходов городов с населением свыше 100 тысяч человек и подготовка производства ведется заранее на стадии заполнения полигонов ТБО. Такое производство в Чеченской Республике может быть развернуто в крупных населенных пунктах; г. Грозный, Гудермес, Аргун, Шали, Урус-Мартан и др.

Предварительная оценка утилизации биогаза на полигоне ТБО г. Грозного приведена ниже.

Технические параметры:

- Объем сбора биогаза – 13-15,0 тыс. м³/сут. (5,0 млн. м³/год);
- Снижение эмиссий ПГ: около 40 тыс. т CO₂-экв./год;
- Расчетная мощность двигатель-генератора, который может быть установлен для производства электроэнергии на биогазе – 1 000 кВт;
- Тариф продажи электроэнергии – 1,74 руб. /кВт.ч.;
- Ставка дисконтирования – 10%;
- Стоимость ЕСВ – 8 евро/т CO₂-экв.

Стоимость сооружения системы сбора и утилизации биогаза в развитых странах обычно находится в диапазоне \$ 1550–2250 на 1 кВт установленной электрической мощности. В соответствии с Киотским протоколом, в результате сбора и утилизации биогаза можно реализовать так называемые «углеродные кредиты» или «единицы снижения выбросов» в рамках проектов совместного осуществления. В результате можно получить дополнительные инвестиции ориентировочно в размере \$0,02/кВт-ч (0,62 руб. кВт ч). Эта возможность существенно повышает привлекательность утилизации биогаза даже на тех полигонах, которые ранее считались бесперспективными.

Средний срок окупаемости проекта по утилизации свалочного газа для производства электроэнергии без учета продажи ЕСВ составляет 7-8 лет, а с учетом продажи ЕСВ – менее 3-х лет.

ПОДПРОГРАММА «КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД»

На территории Чеченской Республики имеются самые благоприятные условия для создания геотермальных циркуляционных систем (ГЦС), что подтверждается длительной эксплуатацией первой в СССР ГЦС созданной в Ханкальской долине в 1985 г.

Разведанные выводимые запасы геотермальных вод 14 месторождений Чеченской Республики составляют 64,68 тыс. м³/сутки. В настоящее время только по двум месторождениям имеются утвержденные в ГКЗ запасы в объеме 16,25 тыс. м³/сутки (Ханкальское - 15,1 тыс. м³/сутки и Гойтинское - 1,150 тыс. м³/сутки), что составляет - 25,1 % от разведанных запасов. На территории Чеченской Республики существует 14 термоводозаборов, суммарные разведанные запасы, по которым составляют 64680 м³/сутки в режиме самоизлива. По двум термоводозабора (Ханкальский, Гойтинский) утверждены запасы по промышленным категориям в количестве 10650 м³/сутки.

На разведанных месторождениях эксплуатационные запасы геотермальных вод не могут обеспечить всю возрастающую потребность в тепле. Например, заявленная потребность в термальной воде только по г. Грозному на 1985 г. составляла 78 тыс. м³/сутки. Поэтому для удовлетворения нужд республики в

термальной воде требуется увеличение сырьевой базы за счет строительства новых термоводозаборов и расширения старых.

В данное время основным потребителем термальной воды является коммунальное хозяйство - 12,8 тыс. м³/сутки (48 %) и сельское хозяйство - 11,4 тыс. м³/сутки (43 %). Незначительное количество термальной воды расходуется на бальнеологию и розлив минеральной воды. Термальная вода, используемая в промышленности, идет на обогрев административных и производственных зданий.

Список использованных источников

1. Схема и программа развития электроэнергетики Чеченской Республики на 2018-2022 годы. Разработчик: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», Грозный, 2018.

2. Керимов И.А., Гайсумов М.Я., Ахматханов Р.С. Программа развития энергетики Чеченской Республики на 2011-2030 гг. // Наука и образование в Чеченской Республике: состояние и перспективы развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 10-летию со дня основания КНИИ РАН (7 апреля 2011 г., г. Грозный). Грозный, 2011. С.38-63.

3. Дебиев М.В., Попов Г.А. Анализ схем развития энергетических мощностей в регионе на основе сценарного подхода // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика, 2012. №1. С. 35-40.

4. Дебиев М.В., Попов Г.А. Моделирование процессов распределения ресурсов на уменьшение потерь энергоресурсов на примере Чеченской Республики //XXIV Международная научная конференция ММТТ-24. Саратов, 2011.Т.2.С.64-67.

5. Баринаева В.А., Ланьшина Т.А. Особенности развития возобновляемых источников энергии в России и в мире // Российское предпринимательство. 2016. Т. 17. № 2. С. 259–270. doi: 10.18334/rp.17.2.2214.

6. Керимов И.А., Дебиев М.В., Магомадов Р.А-М, Хамсуркаев Х.И. Использование гидроаккумулирующих агрегатов в энергосистеме Чеченской Республики // Электронный журнал. Инженерный вестник Дона, 2012. № 1. <http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/673>.

7. Керимов И.А., Дебиев М.В. Анализ факторов развития ветроэнергетики в ЧР // Современные проблемы геологии, геофизики Северного Кавказа. Материалы II-ой Всероссийской научно-техн. конф. –Грозный: Академия наук Чеченской Республики, 2012. С. 499-508.

8. Дебиев М.В. Анализ эффективности развития региональной энергетической промышленности (на примере Чеченской Республики). Диссертация кандидата технических наук. Волгоград, 2014. 212 с.

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ И ВЛИЯНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Бамматов А.М., Магомедов Ф.М., Меликов И.М., Гасанова Э.С.

Дагестанский государственный аграрный
университет имени М.М. Джамбулатова, г. Махачкала,
izmelikov@yandex.ru

Аннотация. В статье приведены результаты научного исследования аспектов развития возобновляемых источников энергии, вопросы обеспечивающие решение данной проблемы, использование которых позволяет сократить зависимость от традиционных энергетических ресурсов как основной альтернативы, факторы развития возобновляемых источников энергии, выводы о значимости развития данной отрасли.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, генерация, энергетика, энергосистема.

PROBLEMS OF THE DEVELOPMENT AND THE IMPACT OF RENEWABLE ENERGETICS ON THE STABILITY OF ENERGY SYSTEMS

Bammatov A.M., Magomedov F.M., Melikov I.M., Gasanova E.S.

Dagestan State Agrarian University, Makhachkala

Abstract: The article presents the results from the scientific study of the development aspects of the renewable energy sources, issues that bring solutions to this problem, the use of which reduces the dependence on traditional energy resources as the main alternative, factors for the development of renewable energy sources, conclusions on the importance of the development of the industry.

Keywords: renewable energy sources, generation, energetics, energy system.

Применение восстанавливаемых источников энергии считается основным курсом формирования топливно-энергетического объединения в государствах Евросоюза, США, Китае и в некоторых Африканских государствах.

В настоящий период наша страна владеет значительными резервами возобновляемых источников энергии (ВИЭ), промышленные возможности, которых примерно составляют 4,6 миллиардов тонн годового условного горючего, что в 5 раз больше размера пользования абсолютно всех топливно-энергетических ресурсов страны, а на экономические возможности приходится примерно 270 млн тонн, что также составляет приблизительно 25% годового внутреннего пользования абсолютно всех энергоресурсов по всей стране.

Применение восстанавливаемых источников энергии приводит к увеличению энергоэффективности экономики, что крайне важно, так как пока энергоёмкость нашей экономики в два раза больше, нежели международная экономика, в общем, и в 2,5–3 раза превосходит степень государств Западной Европы и страны восходящего солнца [1, 4].

В стране весьма большое внимание обращено на возобновляемые источники энергии (ВИЭ), однако проблема пока слабо разрешается [2].

Основу нынешней энергетической системы Российской Федерации составляют тепловые и ядерные электростанции, в которых применяется разные виды ископаемого топлива (уголь, нефть, газ, уран), а их резервы не бесконечны, помимо этого, в ходе выработки электрической энергии образуются выбросы и отходы в различных объемах, опасных для находящейся вокруг среды. Возобновляемая энергетика применяет энергию, резервы которой все время восполняются (энергетика: солнечная, гидро (малая и бесплотинная), ветро, приливная, волновая, геотермальная, биотопливная) [3].

Из всего многообразия ВИЭ в Российской Федерации наиболее распространено только гидроэнергетика (в основном большие станции). Хотя возобновляемая электроэнергетика обладает неопровержимыми достоинствами по сравнению с классической из-за неимения выбросов и расходов на горючее. Однако значительная доля энергетика на ВИЭ экономически неконкурентна ввиду высоких удельных расходов на киловатт мощности, что сдерживает инвесторов на строительство электростанции, работающих на ВИЭ. Основными причинами являются [5, 6, 7]:

- Невысокий энергопотенциал ВИЭ. Энергии как бы немало, однако, она рассредоточена на значительной территории либо расстоянии. Это приводит к увеличению удельных (на 1 кВт мощности) расходов на установку для сбора данной энергии.

- Масштабность. ВИЭ-электростанции, в основном, обладают малыми мощностями и размерами. Но малые электростанции имеют большие расходы на единицу мощности. Это связано с тем, что в ходе постройки и эксплуатации любой электростанции (крупной либо небольшой), следует исполнение установленных операций. Цена данных операций при уменьшении ее параметров уменьшается. Для малых электростанций имеет место высокие накладные затраты, не сопряженные напрямую с оплатой работы (затраты на командировки, заказ материалов, экспертизы, разные согласования). Для поддержания рентабельности, предприятие будет завышать стоимость выполняемых работ. Затем, в цене небольшой энергоустановки значительную часть занимает различная инфраструктура – хотя электростанция и небольшая, однако к ней также необходимы подъездные пути, ей необходимо гарантировать охрану (ограждение, наблюдение, служба охраны) и взаимосвязь, найти решение охраннопожарной защищенности, потребуется оснащение системой уведомления и т.д. Относительно крупной электростанции данные расходы весьма незначительны, а для небольшой энергоустановки довольно значительны.

- Подключение к сетям. Из числа расходов на инфраструктуру, наиболее крупными являются расходы на подсоединение к электросетям, поскольку не достаточно создать электростанцию, необходимо еще подсоединить ее к энергосистеме. В случае если вблизи протянута оптимальная линия электропередач, расходы все также окажутся внушительными, а если линия электропередач рядом не проложена и ее необходимо будет, проложит рядом, в таком случае рас-

ходы на данную линию электропередач превзойдут цену электростанции, безусловно, и ценой линии электропередач цена подсоединения никак не обходится.

- Качество ВИЭ как поставщика электроэнергии. Электричество весьма особый продукт, ее невозможно уложить в хранилище, требует обязательного потребления в период выработки в абсолютном объеме. Вопрос заключается в том, что использование электричества крайне переменчиво и значительно изменяется со временем. Поэтому электростанции обязаны предоставлять электрическую энергию не такое количество, какое они пожелают и если пожелают, а такое, какое необходимо в конкретный определенный период. Однако отличительная черта ВИЭ заключается в том, что они не имеют возможности изменять нагрузку с учетом нужд энергосистемы, однако их деятельность нередко в целом находится в зависимости от некоторых внешних условий и способен изменяться слабо предсказуемым способом. В соответствии с этим, деятельность ВИЭ-электростанций создает дополнительную проблему – неустойчивость производства - в таком случае иная электростанция обязана выравнивать ее, изменяя порядок функционирования имеющегося в ней оснащения.

- Сбыт электроэнергии ВИЭ. Не достаточно создать и привести в действие электростанцию – необходимо еще реализовать ее электрическую энергию. Для того чтобы принимать участие в данном процессе купли-продажи электроэнергии, необходимо обладать допуском на крупнооптовый рынок электричества и мощности, а для того чтобы иметь в него допуск, предприятие обязано обладать производящими мощностями в минимальном количестве 25 единиц (мегаватт). Однако покупателю в каждом случае необходима устойчивость поставок. Безусловно, ВИЭ-электроэнергетика не обладает топливными расходами и вероятно экономичнее в эксплуатации. Но, на практике рабочие расходы ВИЭ (восстановление, защита, различные накладные затраты) окажутся внушительными. В каждом конкретном случае, значительная цена киловатта электроэнергии приводит, по сравнению с классической электростанцией, к длительным срокам окупаемости плана.

Значительная (но меньшая, при сопоставлении с ВИЭ) цена киловатта электроэнергии характерна как для традиционной, «большой» гидроэнергетики, так и для ядерной энергетики, поэтому не вызывают интереса у индивидуальных инвесторов и строятся при поддержке государства.

По мнению отдельных специалистов, внедрение в энергетическую систему разновидностей другой энергетики, которые считаются не только очень дорогостоящими и согласно собственным первоначальным качествам (прерывности) и вредными для действующей энергетической системы. Они полагают неприемлемыми для применения в общей энергетической системе Российской Федерации все без исключения разновидности прерывной генерации электричества, а также планирование генерации, равно как классической, так и другой, имеют все шансы набавляться в единую энергетическую систему без нанесения ущерба.

Ветровая, приливная и солнечная без аккумуляторов энергетики, нежелательны и опасны для общей энергетической системы в различных соотношениях, а при преодолении конкретного значения их прибавление или уничтожает

энергетическую систему, или ее использование становится весьма дорогостоящим.

Из этого следует, что прерывающиеся разновидности генерации необходимо не допускать в целом, а не прерывающиеся разновидности другой энергетики следует вводить с учетом финансовой и природоохранной полезности, не учитывая причины воздействия углекислого газа и, если это возможно, в местных, не сопряженных с единой энергетической системой энергосистемах.

Электроэнергия – это оригинальный согласно собственным свойствам продукт, его нельзя сохранять, любую выработанную энергию необходимо быстро использовать. В том числе и присутствие приборов аккумуляции энергии ровным счетом ничего в этом прецеденте никак не изменяет. В контексте энергосетей каждый прибор для сохранения в тот или иной период времени представляется как энергопотребитель, далее в тот или иной последующий период времени он представляется как генератор энергии. Процедура функционирования энергосистемы состоит в стабильной безостановочной балансировке выработки и использования – в каждый период времени они обязаны быть одинаковы. Энергетическая система провалится (до аварии в энергосистеме) равно как в случае нехватки энергии в сети, также и в случае ее излишка в сети. Равновесие обязано поддерживаться в течение дня, разбалансированность неминуемо приводит к сбоям функционирования сетей линии электропередач, подстанций и вплотную до производящих мощностей. Регулярное использование энергии меняется с учетом суточных ритмов жизнедеятельности людского сообщества, сезонных и погодных условий и большого количества других факторов.

Необходимо подразумевать, что использование энергии считается весьма негибким, а воздействовать на него возможно, только лишь весьма лимитировано, и то главным образом наравне дневного графика пользования. По этой причине энергосети постоянно выбирают регулировку по выработанной энергии.

Из ежедневного графика производства/потребления энергии (рис. 1), заметно, что он включает в себя: четырехугольник (в нижней части) – от нулевой отметки вплоть до наименьшего дневного использования, и кривую в виде пилы (в верхней части над четырехугольником), от степени наименьшего дневного использования вплоть до степени наибольшего дневного использования. Четырехугольник – соответствует базисной нагрузке/потреблению, т.е. устойчивая обеспеченная норма энергии, необходимая сети в конкретный промежуток времени. Функционирование насосов водопроводно-канализационной систем в населенных пунктах, компании постоянного цикла выпуска, различные хранилища скоропортящихся товаров – это то, что «скрыто» в четырехугольнике.

Кривая поверх четырехугольника – есть предельная нагрузка / потребление, регулярно меняющийся в течение дня норма энергии. Население в населенных пунктах приступают к работе на своих рабочих местах, начинает функционировать муниципальный автотранспорт, все это способствует увеличению волнения на графике, которая снижается по мере прекращения их функционирования.

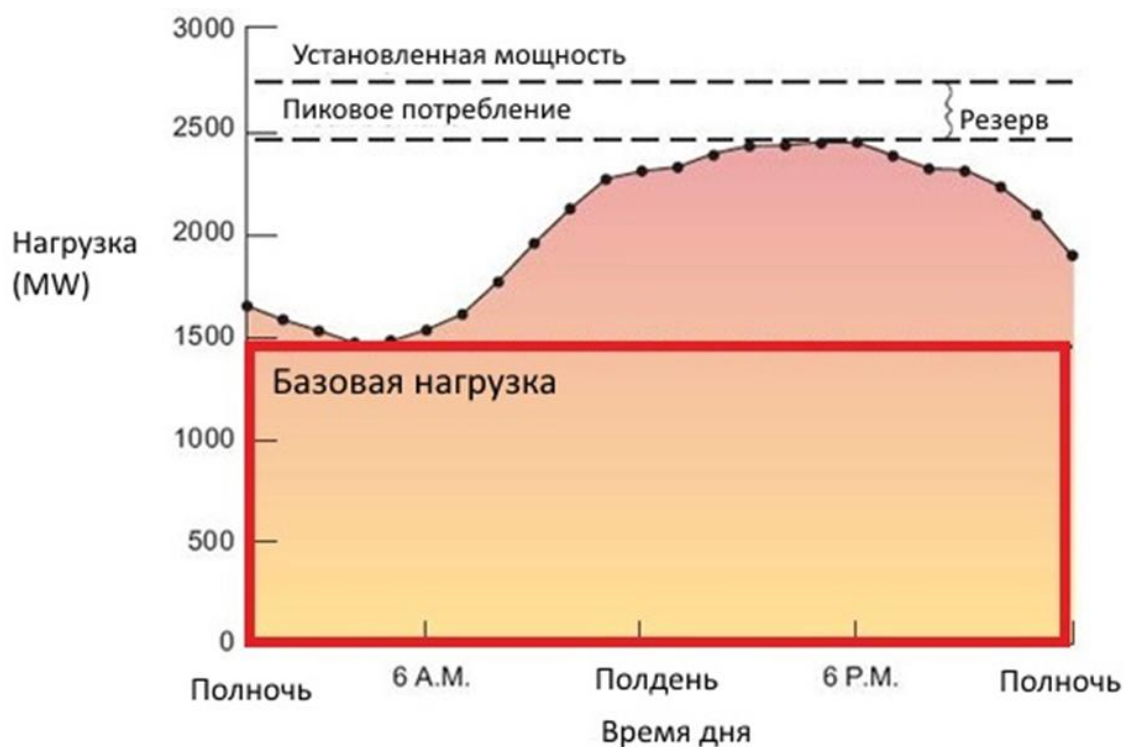


Рисунок 1 – Ежедневный график производства/потребления энергии

Основываясь на элементарную логику, в предписании обязаны быть два различных типа генерации, которые более адаптированы для базисной и предельных нужд.

Генерирование, обеспечивающее базисную нагрузку, обязано владеть соответствующими качествами:

- координируемое персоналом;
- устойчивое, функционирующее ежедневно;
- предельно недорогой;
- обладать наибольшим коэффициентом полезного действия преобразования энергии топлива в электроэнергию;

Однако базисной генерации, обладающей отмеченными позитивными качествами, свойственны несколько возможных негативных качеств:

- малоподвижность (процедура запуска/остановки способна растягиваться на часы либо круглые сутки);
- значительные капитальные расходы.

Подобные качества свойственны для ядерных, угольных, парогазовых станций и гидроэлектростанции в условия излишка гидроресурсов.

Генерирование, подходящее для возмещения предельных нагрузок обязано обладать прочими «нужными» качествами:

- координируемое персоналом;
- предельно подвижной, обеспечивающей за минуты, а в некоторых случаях и за секунды приступить к подаче энергии в линию и не терять работоспособность при быстром прекращении деятельности;
- наименьшие капитальные расходы.

Но вместе с тем существуют допускаемые отрицательные моменты:

- себестоимость выработки электроэнергии окажется дорогостоящей;
- коэффициент полезного действия выработки окажется сравнительно низким.

Качества предельной генерации характерны для газовых и дизельных турбин прямого цикла, и, вплоть до определенного уровня, инновационные газовые электростанции сочетанного цикла, дизельные станции, гидроэлектростанции. Гидроэлектростанции многофункциональны и способны функционировать равно как в базисном, так и в предельном порядке.

Нынешняя энергетическая система строится в комбинации диспетчируемых базисной и предельной генераций. Рациональный подход позволяет получить минимальную цену на всю вырабатываемую электроэнергию, с учетом природоохранных и логистических условий. Подобная «рациональная» энергетическая система обязана обладать наибольшей величиной базисной энергетики, предоставляющую недорогую энергетику, и наименьшую величину предельной энергетики, обеспечивающую нужную приспособляемость и сохранение в непредвиденных случаях, однако дорогостоящий.

Очевидно то, что прерывчатое генерирование неприменима как базисная энергетика, так и предельная энергетика, поскольку у нее не имеется основное нужное качество – диспетчируемость.

Таким образом, при присоединении к энергетической системе прерывчатой генерации, в ней появляется новая «пила» – пила выработки (производства). И у энергосетей появляется дополнительная цель – помимо потребности балансировки пила пользования, сейчас требуется еще и в дополнение пытаться удержать равновесие пила прерывчатой генерации.

Так как опровергать очевидные факты нельзя, приверженцы прерывчатого генерирования стараются применять что-то, представляющееся им «значительным доводом»: поскольку в системе все без исключения точно также ранее имеется предельное генерирование, в таком случае увеличение прерывчатого генерирования равным счетом ничего никак не изменяет, «легко сейчас предельное генерирование станет попутно пытаться удержать равновесие еще и пилу выработки (производства)». Вплоть до того времени, пока прерывчатое генерирование было в начальном виде, данное высказывание могло соответствовать правде.

Непосредственная изменчивость энергосистемы – переменчивость спроса и вероятные непредвиденные обстоятельства в ходе выработки, наблюдается постоянно, и предельное генерирование на самом деле постоянно предрасположено к подсоединению с целью выхода из положения.

Однако, как отмечено ранее, каждая рациональная энергетическая система старается минимизировать затраты, и, таким образом, минимизировать число дорогостоящей предельной генерации.

В «рациональной» энергосистеме имеются запасы, необходимые для размещения предельно вероятной пила пользования и, надлежащий, собранный вплоть до требуемого минимального количества величина дублирования

и резервирования на возможность прихода в негодность энергообъектов генерации.

До тех пор пока значение прерывчатого генерирования в структуре диспетчируемой генерации очень мало, то ущерб от прерывчатого генерирования до такой степени минимален, что им, возможно, проигнорировать, и только лишь в данном случае и каждая вероятная «поддержка» от прерывчатого генерирования тоже незначительна, поэтому также возможно проигнорировать.

Однако, после того как величины прерывчатого генерирования увеличиваются, на покрытие ее пики выработки (производства) необходимо акцентировать либо формировать единичные предельные производящие мощности, в дополнение к имеющимся в стандартной энергосистеме. Следовательно, и затраты, сопряженные с балансировкой пики выработки (производства) прерывчатого генерирования, таким же образом появляются в дополнение.

Имеется несколько способов, применяя которые возможно разрешать трудности прерывчатого генерирования, а именно способы балансировки образующейся пики выработки (производства):

- избыток другой энергии;
- увеличение сетей;
- регулирование спроса;
- сохранение энергии
- повторение классической производящей энергетики.

Далее приводится краткое представление о них.

Прерывчатое генерирование обладает довольно небольшим показателем применения электроустановочной мощности (так для солнечных и ветроэлектростанций в пределах 25-35% и 20-45% соответственно). Приняв для упрощения выполнения вычисления значение, повышенное до 33% получим, что для возмещения необходимой величины в объеме 100 МВт, потребуются ветрогенераторы либо солнечные панели мощностью 300 МВт (с показателем применения - 33%).

Но одним из отрицательных качеств прерывчатого генерирования является значительное отличие в сезонной выработке энергии. Солнечные панели в определенных регионах производят в зимнее время в несколько раз менее энергии, нежели в летний сезон.

В случае если допустить, то что зимнее и летнее употребление приблизительно равное (что маловероятно), в таком случае для того чтобы гарантировать зимнее потребление в электроэнергии только лишь за счет солнечных электростанций, необходимо будет установить большее количество панелей. Они дадут возможность прикрывать зимнюю потребность, однако монтаж добавочных панелей повергнет к выработке «излишней» электроэнергии в летний сезон, в значительном количестве превышающую требуемое. Вследствие этого «летняя» электроэнергия будет не востребована, снижая этим среднегодовой показатель применения определенной мощности панелей вплоть до величин, экономически невыгодных.

Практически применить увеличение сетей с целью балансировки прерывистости нельзя по следующим обстоятельствам:

- потребность постройки двукратного и троекратного размера производящих мощностей в любом районе, для того чтобы единственный район при потребности имел возможность покрыть другие;

- потребность постройки крупных, дорогих сетей, соединяющих районы;

- погода без ветра часто имеет место на значительных местностях.

Основными направлениями регулирования спроса являются:

- экономически обоснованное руководство, позволяющее за счет реализации сравнительно доступных заключений смещать по времени широкое использование энергии;

- экономически необоснованные заключения, способствуют тому, что цена современного оснащения и расходы на реконструкцию в разы превосходят возможную экономию;

- экономически губительные предписания, в соответствии с которым индустрия либо автотранспорт обязаны функционировать в прерывном распорядке учитывая наличие/отсутствие «чистой» энергии.

Бесспорно, экономически правомерные заключения обязаны все без исключения обширнее применяться в повседневной деятельности – с целью уменьшения необходимости в дорогостоящем «предельном» электричестве. Но при этом данное обстоятельство не относится к прерывчатому генерированию, возможности подобных способов очень ограничены (до нескольких % в годовом плане), а также не достаточны для сглаживания натуральной пики пользования, и конкретно для балансировки еще и пики пользования.

С целью балансировки сезонного отклонения выработки и использованием необходимы размеры сохранения в 10-ки тераватт-час.

Только одна технология, обеспечивает создание системы сохранения довольно крупных и недорогих – гидроаккумулирующих электростанций. Все другие технологические процессы (батареи, маховики, сохранение тепла, и другие) – очень дорогостоящие.

Применение способа отсева позволяет установить действительный способ балансировки пики производства – удерживать в системе запасную, вспомогательную конструкцию предельной генерации, что согласно потребности вводится и разряжает обстановку, поддерживая устойчивость энергосистемы. Данное обстоятельство постоянно повышает общие затраты в деятельность энергосистемы.

Повторение системы предельной генерации – затраты на капитальные вложения для ее формирования и подсоединения к энергосистеме, при этом первоначальная стоимость выработки электричества энергообъектами предельной генерации, существенно больше, нежели в случае генерации базисной. Данные вспомогательные расходы с избытком покрывают именуемую «экономия горючего».

Некоторое сбережение топлива, возможно, осуществить до той поры, пока часть прерывчатого генерирования незначительна, как только величина определенных других мощностей прерывчатой генерации оказывается существенным, прерывчатое генерирование приступает к ликвидации диспетчируемой энергетики. Это есть результат имеющихся способов ценообразования, при

каковых дотируемое прерывчатое генерирование обладает вероятностью уменьшать стоимости, а кроме того законодательное преимущественное обеспечение допуска прерывчатого генерирования - электричества в линию. В итоге за время присутствия восстанавливаемого ресурса (в двенадцать часов дня в летний сезон либо в период мощных ураганов) классические электростанции должны либо приостанавливать осуществление деятельности, либо оплачивать покупателям за передаваемую в линии электрическую энергию.

Так как станции базисной генерации никак не предусмотрены для индивидуальных включений и отключений, такого рода порядок деятельности считается невыгодным. Исследованиями установлено, что 55% угольных станций Европы функционирует в минус. Практически аналогично повсюду функционируют и газовые станции с турбинами сочетанного вида. Со временем подобные станции прикрываются либо из-за финансовых обстоятельств, либо из-за старения, так как в подобных обстоятельствах их обновление невыгодно, и в следствии энергетическая система лишается станций базисной загрузки. Назначение данных станций в Европе осуществляется сочетанием станций прерывчатого генерирования и газовых. Газовые станции в соответствии плана и устройства предусмотрены только для производства незначительного количества дорогостоящей генерации. Они запланированы, спроектированы так, что применяют малоэффективные способы деятельности и расходуют более единиц горючего на производство единицы электрической энергии – это необходимо для того, чтобы в очень короткий промежуток времени выходить на максимальную мощность и моментально отсоединиться, как только потребность в разглаживании вершины отпадает. Выходит, что социум на протяжении 25-35% периода времени станет «соблюдать экономию» горючего из-за бездействия базисной генерации, а на протяжении 65-80% станет расходовать горючее приблизительно на 15-20% меньшей мере результативно. При этом общий результат «поддержки» прерывчатого генерирования в процессе экономии горючего сводится к нулю, или может быть даже отрицательным.

Для энергетической системы каждого государства недешево осуществлять вдвое большие затраты на формирование и сохранение вспомогательной структуры предельной генерации, по этой причине на Западе весьма распространено совершенствовать прерывчатое генерирование, а трудности связанные с балансировкой перелagать на других. Вместе с тем субсидии достаются другим энергетикам в «зеленом» государстве, а классическим энергетикам у соседей достаются потери и затраты. Подобная политика формирования до такой степени комфортна, что непосредственно ее в наше время стремятся применять все без исключения государства-фавориты применения прерывчатого генерирования. И данное обстоятельство способствовало тому, что планирование единой европейской энергосистемы, все еще не прекращается, и когда завершится регулирование заинтересованностей абсолютно всех ее возможных соучастников не известно.

При подборе финансовых возможностей оказания помощи для формирования ВИЭ следует осуществление единого рассмотрения и анализа систем по-

мощи в международный и отечественной практике, а также обнаружение факторов отличия среди результатов, предсказуемыми при абстрактном исследовании и появляющимися при фактическом осуществлении, а кроме того, результатов от подбора разных комбинаций финансовых возможностей в недрах системы.

Дальнейшее формирование восстанавливаемых источников энергии (ВИЭ) оказывается обязательной составляющей изменения всемирной энергетики. Это обосновывается и подтверждается созерцаемыми тенденциями формирования всемирной энергетической сферы именно области восстанавливаемых источников энергии, а также и их базовыми разработками.

Список использованных источников

1. Седаш, Т.Н. Использование зарубежного опыта повышения энергоэффективности в российской экономике // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2013. № 9. с. 30–35.
2. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии в регионах Российской Федерации: проблемы и перспективы // Энергосвет. 2011. № 5. С. 22–27. URL: <http://www.energsovet> (дата обращения: 17.04.2019).
3. Олешкевич, М.М. Ядерная энергетика и возобновляемые источники энергии / М.М. Олешкевич, Ю.В. Макоско, В.М. Олешкевич // Энергетика и ТЭК. 2007. № 2. С. 16–21.
4. Шкрадюк И.Э. Тенденции развития возобновляемых источников энергии в России и мире. М.: WWF России, 2010. 88 с.
5. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике // Российский химический журнал. – 2008. Т. LII. № 6. С. 95-106.
6. Магомедов, Ф.М. Современное состояние и тенденции развития мировой энергетики / Ф.М. Магомедов, И.М. Меликов, Магомедова Н.Ф., Гасанова Э.С. // Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики. Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития" Под общ. ред. Р.В. Ключева; ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)». Владикавказ, 2018. 212 с. С. 109-112.
7. Магомедов, Ф.М. Основные направления устойчивого развития мировой энергетики / Ф.М. Магомедов, И.М. Меликов, Магомедова Н.Ф., Гасанова Э.С. // Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики. Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития" Под общ. ред. Р.В. Ключева; ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)». Владикавказ, 2018. 212 с. С. 109-112.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Гасанов У.Г., Магомедов Ф.М., Меликов И.М., Магомедова Н.Ф.

Дагестанский государственный аграрный
университет имени М.М. Джамбулатова, г. Махачкала,
izmelikov@yandex.ru

Аннотация: Статья посвящена проблеме использования возобновляемых источников энергии в России и за рубежом. Рассмотрены основные тенденции развития возобновляемой энергетики как перспективного сектора инновационной экономики, а также препятствия на пути развития возобновляемой энергетики и пути их устранения.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, развитие, энергетика.

THE DEVELOPMENT TENDENCIES OF THE RENEWABLE ENERGY IN RUSSIA AND ABROAD

Gasanov U.G., Magomedov F.M., Melikov I.M., Magomedova N.F.

Dagestan State Agrarian University, Makhachkala

Abstract: The article deals with the problem of using the renewable energy sources in Russia and abroad. The main trends in the development of renewable energy as a promising sector of the innovation economy, as well as obstacles to the development of renewable energy and means of eliminating them have been considered.

Keywords: renewable energy, development, energetics.

Одним из основных нынешних проблем в контексте перевода международной экономики на низкоуглеродный и энергоэффективный подход формирования продвижения считается увеличение применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Уменьшение выбросов парниковых газов и рост производства электроэнергии, возможно, гарантировать путем увеличения коэффициента полезного действия теплоэлектростанций и гидроаккумулирующих станций и форсированного введения генерации из ВИЭ, что потребует пересмотра инвестиционных проектов территориальных генерирующих компаний и оптового рынка электроэнергии, а также пересмотра общегосударственной энергетической стратегии.

Для большинства стран мира весьма значима роль ВИЭ – как энергоданса, в связи с наблюдаемыми ограничениями традиционных источников энергии и усилением экологических проблем.

В ближайшей перспективе в мировом масштабе получить дальнейшее развитие процесс замещения традиционных источников энергии за счет использования ВИЭ. Однако быстрое изменение в структуре энергопотребления все еще не прогнозируются, но отдельными исследователями все же проводятся

работы по переводу крупных мегаполисов, отдельных регионов или стран в полном или достаточно полном объеме на ВИЭ. Такое преобразование технически возможно осуществить на современном этапе, но в реалии это долгосрочная перспектива [1, 2].

Формирование возобновляемой энергетики в нашей стране пока все еще на начальной стадии развития, дальнейшее развитие которой будет способствовать росту экономики путем создания соответствующих организаций с привлечением для работы на них населения, проживающих на изолированных от централизованного электроснабжения территориях [3].

Важнейшая роль в российской экономике отводится энергетическому комплексу ввиду его стратегического значения, что требует его инновационного развития и диверсификацию.

За рубежом (Китай, США, Япония, Великобритания, Германия) в развитие возобновляемой энергетики вкладываются большие объемы инвестиций. Возобновляемая энергетика обеспечивала около 28 % всей установленной мощности в мире и около 23 % всей выработки электроэнергии (вместе с гидроэлектростанциями (ГЭС)), данные международной организации REN21 - 2014 г), а без учета ГЭС доля ВИЭ составила более 6 % выработки электроэнергии, из них 50 % обеспечена ветроэнергетикой.

В энергетическом секторе доминируют ВИЭ. Фотогальваническая солнечная энергетика опережает по уровню развития другие. Германия, Италия, США, Китай и Япония лидируют по объему установленной мощности фотогальванических солнечных электростанций. Очередным по темпам прироста является ветроэнергетика, где Китай, США, Германия, Испания и Индия лидеры по объемам установленной мощности [4].

В некоторых регионах мира ВИЭ по цене сравнимы с традиционными источниками или близки к ним. Однако имеются страны (Европы, Япония, Австралия и Бразилия), где фотогальваническая солнечная энергетика конкурентоспособна по издержкам.

Согласно сведениям Международного агентства по возобновляемой энергетике (IRENA), в 2014 г. область возобновляемой энергетики, не принимая во внимание подобного большого и ранее состоявшегося сектора, как большая гидроэнергетика, предоставила около 7,7 миллионов мест для работы во всем мире.

Из числа сфер возобновляемой энергетики фаворитом согласно количеству работников считалась солнечная фотогальваническая энергетика (приблизительно 2,5 миллионов), из числа государств – Поднебесная (приблизительно 3,4 миллионов).

Учитывая то, что список возобновляемых источников энергии в отдельных территориях мира уже сопоставимы по затратам с классической и ядерной энергетикой, ВИЭ все без исключения еще имеют потребность в общегосударственной помощи.

Нужно выделить то, что сферы классической и ядерной энергетики приобретают большие государственные дотации: согласно анализам Международного энергетического агентства (МЭА), в 2013 г. данные дотации доходили до

550 миллиардов долл. США, что в четыре раза более дотаций, предоставляемых государствами в качестве помощи для формирования ВИЭ.

Также следует отметить что технологии, которые используются в возобновляемой энергетике (в основном без учета крупной гидроэнергетики) принято считать инновационными и для данной отрасли характерны значительные риски и затраты на проведение НИОКР. Кроме того, основаниями для усиленной государственной поддержки для большинства стран являются требования по уменьшению выбросов углекислого газа (экологический фактор) и повышение национальной энергетической безопасности путем диверсификации источников энергии [5, 6, 7, 8].

В России происходит постепенное наращивание работ по формированию системы государственной поддержки возобновляемой энергетике и на рост величины ВИЭ в использовании электроэнергии.

В перспективе глобальный энергетический рынок, возможно, подвергнется значительной реструктуризации, а если будет наблюдаться малоэффективное осуществление политики стимулирования развития инновационных технологий ВИЭ и их внедрения на территории России, что в последующем может способствовать существенному экономическому ущербу.

На современном этапе многие страны в мире проводят государственную поддержку возобновляемой энергетике. Исследование имеющегося международного опыта свидетельствует, что в странах доминирующих в производстве энергии за счет возобновляемых источников в период продолжительного времени осуществляли поддержку возобновляемой энергетике за счет определенного комплекса мероприятий.

Меры по поддержке ВИЭ принимаются с учетом цены, затрат и объема. Основанные на цене инструменты, включают фиксированные тарифы и ценовые надбавки («зеленые тарифы» или «льготные дифференцированные тарифы»), оплату за мощность. Фиксированные тарифы и ценовые надбавки - это очень часто применяемые инструменты государственного стимулирования возобновляемой энергетике. Оплата за мощность – это очень мало используемый инструмент [9].

Инструменты, базирующиеся на расходах, презентованы соответствующими группами: вложенные дотации и гранты, фискальные (налоговые) бонусы, налоги на добываемое топливо, оказывающие не прямое поощрение ВИЭ, финансирование значения ссудного капитала, возмещение доли вложенных затрат инвесторов, инвестирующих ресурсы в электростанции, действующие на ВИЭ.

Инструменты, базирующиеся на объеме, содержат в себе квоты на возобновляемую энергию либо сертификаты, а кроме того эталоны портфеля ВИЭ, которые как правило удерживаются приверженцами беспрепятственного торга, ценящими никак не корректировать подбор технологического процесса и стоимость. На практике, равно как принцип, с поддержкой этой схемы удерживаются более совершенные технологические процессы [10].

Объем ВИЭ кроме того корректируется за счет тендеров – проведения публичных аукционов на поставку электричества, полученного использованием

ВИЭ, – и подведения итога-учета электричества либо концепции чистого замора. Этот инструмент дает возможность хозяйствам, обладающим солнечными фотогальваническими панелями либо небольшими ветрогенераторами доставлять выработанную электрическую энергию в линию электропередач и при осуществлении платы отнимать размер поставок из количества израсходованного электричества.

В Российской Федерации приняты несколько значительных и официальных постановлений о содействии возобновляемой энергетике, а именно внедрены механизмы поощрения за применение ВИЭ на оптовом и розничном рынках электроэнергии и мощности путем оплаты за нее.

В оптовой торговле сохраняется солнечная, ветровая и гидроэнергетика, а в отдельной торговле – все без исключения разновидности возобновляемой энергетике.

Помощь хозяйствам, стремящимся применять возобновляемые источники энергии, в настоящий период времени в Российской Федерации не оказывается, несмотря на то, что за рубежом ВИЭ нашло обширное использование и гарантировало большие размеры монтажа и применения новейших мощностей.

Оказание общегосударственной помощи ВИЭ сделалось допустимым вследствие установленного изменениями к Федеральному закону «Об электроэнергетике», в который введена формулировка ВИЭ и учтена вероятность помощи ВИЭ за счет надбавок к оптовой стоимости электричества.

Кроме данного, законодательно определены целевые характеристики части возобновляемой электроэнергии в совокупном количестве пользования электричества, которую к 2024 г. планируется довести до 4,5% (помимо гидроэлектростанций мощностью свыше 25 МВт). Данное обстоятельство подразумевает внедрение в использование 6 ГВт новейших электростанций, функционирующих на ВИЭ.

Необходимо констатировать то, что Российская Федерация владеет большими ресурсами возобновляемой энергетике. Согласно анализам Института энергетической стратегии, ресурсы возобновляемой энергии в Российской Федерации равноценны приблизительно 24221, а финансовые – 320 миллионам тонн условного топлива в год соответственно.

Максимальный финансовый потенциал приходится на геотермальную энергию, небольшие гидроэлектростанции и биомассу.

Почти любой регион России владеет несколькими разновидностями возобновляемых источников энергии, применение каковых при конкретных обстоятельствах обеспечит получение экономического дохода [11, 12, 13].

Вопреки присутствию значительной возможности формирования ВИЭ в Российской Федерации, а также, невзирая на формально имеющиеся постановления о помощи этого раздела экономики, о необходимости помощи возобновляемой энергетике все еще проводятся обсуждения, а осуществление принципиальных проектов проводится довольно неспешно. Российская Федерация владеет большим технологическим и финансовым потенциалом формирования возобновляемой энергетике, но в наше время процент ВИЭ в употреблении

электричества в Российской Федерации никак не превосходит значения 0,5. Это обусловлено наличием значительных трудностей:

- Подлинная помощь формирования возобновляемой энергетики задерживается ввиду продолжения оказания помощи классической энергетике посредством налоговых привилегий, субсидирования НИОКР, финансирования постройки нефтегазовой инфраструктуры, осуществления геологоразведки и т.д. На базе предыдущего формирования сформировалась стойкая позиция о том, что Российская Федерация владеет почти неисчислимыми резервами ископаемого топлива [6]. Значительная достаточность ископаемым топливом в Российской Федерации формирует заблуждение о том, что электроэнергетический упадок в Российской Федерации не грозит [5].

- Собственную значимость представляет и приоритетность: вспомогательная роль ВИЭ в Российской Федерации обосновывается их невысокой конкурентностью по затратам в сопоставлении с ископаемым топливом и ядерной энергией. Указывается на то, что цена на электрическую энергию в регионах централизованного энергоснабжения в Российской Федерации все без исключения еще считаются внушительно невысокими согласно сопоставлению с иными государствами, что отрицательно отображается в стоимостной конкурентоспособности восстанавливаемой энергетики [6]. Помимо этого, в обстоятельствах потребности уменьшения экономных затрат и сложного политического положения затраты на формирование возобновляемой энергетики отступают на задний план.

Потребность в энергии, получаемую из ВИЭ у населения Российской Федерации весьма незначительный, и недостаток заинтересованности к природоохранным инновациям не только из-за отличительного склада ума, но и малой осведомленности о превосходствах этого энергосектора, а также отсутствия определенных ресурсов [6].

Кроме того, исследования демонстрируют то, что ВИЭ абсолютно конкурентны по затратам в отделенных от общей энергосистемы местностях Российской Федерации, применяющих главным образом дизельные электростанции. Следовательно, возможно заявлять, что ВИЭ - электростанции в отделенных от энергосистемы заселенных мест, в том числе и наиболее расходные, как фотогальванические солнечные электростанции, конкурентны по затратам с сопоставимыми дизельными электростанциями.

Российская Федерация обладает большими возможностями формирования возобновляемой энергетики.

Мощное подразделение ВИЭ даст возможность ей уменьшить затраты на помощь электроэнергетическому подразделению (в основном на отделенных от централизованного электроснабжения местностях), сформировать дополнительные рабочие места, а кроме того, уменьшить опасности энергетического подразделения, сопряженные с модификацией массовых энергетических рынков и равномерным повышением части ВИЭ в энергобалансах государств.

Для интенсификации общегосударственной помощи возобновляемой энергетике в Российской Федерации предусматривается, в первую очередь и в

целом, гарантировать системность к стимулированию формирования этой сферы, в таком случае имеется возможность гарантировать соотношение принимаемых мероприятий отмеченными наравне стратегического планирования ценностями. Помимо этого, предпринимаемые мероприятия обязаны быть скоординированы друг с другом и иметь всеобъемлющий характер.

Мероприятия помощи возобновляемой энергетике на оптовом рынке электричества и мощности необходимо расширить на определенные прочие разновидности ВИЭ, формирование каких вероятно в местах централизованного энергоснабжения. Кроме того необходимо ввести концепцию помощи хозяйствам, стремящимся применять ВИЭ.

Следует кроме того применить вспомогательные мероприятия, нацеленные на формирование ВИЭ - электростанций и на формирование внутреннего изготовления оснащения для возобновляемой энергетике. А именно, кроме оплаты за мощность, предполагается внедрить подобные известные в обществе инструменты, равно как вложение дотаций и гранты, фискальные (налоговые) бонусы и др.

В отсутствии данных мероприятий для помощи концепции правительственного стимулирования формирования возобновляемой энергетике никак не способна расцениваться единой и заманчивой для инвесторов, в характерные черты в нынешних обстоятельствах узкого допуска к кредитным ресурсам.

Также необходимо повышение размеров финансирования НИОКР для возобновляемой энергетике, поощрение научно-технического и производственного партнерства на международном уровне, увеличение подготовки профессионалов в области возобновляемой энергетике. Для этого целесообразно подготовка федерального целенаправленного плана.

Список использованных источников

1. 100% clean and renewable wind, water, and sunlight (WWS) all-sector energy roadmaps for the 50 United States / M. Jacobson, M. Delucchi, G. Bazouin [et al.] // *Energy & Environmental Science*. 2015. Vol. 8. Is. 7. P. 2093-2117. – doi: 10.1039/C5EE01283J.

2. Hohmeyer O., Bohm S. Trends toward 100% renewable electricity supply in Germany and Europe: a paradigm shift in energy policies // *Energy and Environment*. – 2015. Vol. 4. Is. 1. P. 74-97.

3. Безруких П.П. Эффективность возобновляемой энергетике. Мифы и факты // *Вестник аграрной науки Дона*. 2015. № 1. С. 5-17.

4. Безруких П.П., Безруких-младший П.П. Об индикаторах состояния энергетике и эффективности возобновляемой энергетике в условиях экономического кризиса // *Вопросы экономики*. 2014. № 8. С. 92-105.

5. Безруких П.П. Перспективы возобновляемой энергетике // *Наука в России*. 2003. № 4. С. 25-28.

6. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике // *Российский химический журнал*. 2008. Т. LII. № 6. С. 95-106.

7. Jäger-Waldau A. Photovoltaics and renewable energies in Europe // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2007. – Vol. 11. – Is. 7. – P. 1414–1437.

8. A review on global solar energy policy / K.H. Solangi, M.R. Islam, R. Saidur [et al.] // *Renewable and sustainable energy reviews*. 2011. Vol. 15. Is. 4. P. 2149–2163.
9. Копылов А.Е. Экономика ВИЭ. М.: Грифон, 2015. с. 192.
10. Lipp J. Lessons for effective renewable electricity policy from Denmark, Germany and the United Kingdom // *Energy Policy*. 2007. Vol. 35. Is. 11. P. 5481–5495.
11. Безруких П.П. Энергоэффективность и развитие малой энергетики // *Академия энергетики*. 2010. № 4. С. 20-28.
12. Магомедов, Ф.М. Современное состояние и тенденции развития мировой энергетики / Ф.М. Магомедов, И.М. Меликов, Магомедова Н.Ф., Гасанова Э.С. // *Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики. Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития"* Под общ. ред. Р.В. Ключева; ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)». Владикавказ, 2018. 212 с. С. 109-112.
13. Магомедов, Ф.М. Основные направления устойчивого развития мировой энергетики / Ф.М. Магомедов, И.М. Меликов, Магомедова Н.Ф., Гасанова Э.С. // *Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики: Сб. материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития"* Под общ. ред. Р.В. Ключева; ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)». Владикавказ, 2018. 212 с. С. 109-112.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА ПОДСТАНЦИИ НАПРЯЖЕНИЕМ 330 кВ
(ВЛАДИКАВКАЗ-2)**

Берко И.А., Берко А.А.

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», Россия, г. Владикавказ
bia-1995@mail.ru

Аннотация: В статье рассмотрены виды микропроцессорной релейной защиты подстанции 330 кВ Владикавказ-2.

Ключевые слова: микропроцессорная релейная защита, подстанция, терминал, дистанционная защита, аварийный режим, короткое замыкание.

**RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF MICROPROCESSOR RELAY
PROTECTION AT SUBSTATIONS WITH VOLTAGE OF 330 kV
(VLADIKAVKAZ-2)**

Berko I.A., Berko A.A.

North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University),
Russia, Vladikavkaz
bia-1995@mail.ru

Abstract. The article discusses the types of microprocessor relay protection of a substation 330 kV Vladikavkaz-2.

Keywords: microprocessor relay protection, substation, terminal, distance protection, emergency mode, short circuit.

Важнейшими задачами в энергетике являются: полное техническое переоснащение релейной защиты и автоматики (РЗА), переход на автоматизированную систему диспетчерского управления (АСДУ). Решить эти вопросы нельзя без применения микропроцессорных устройств.

На подстанции Владикавказ-2 напряжением 330кВ филиал ОАО «ФСК ЕЭС» (Магистральные электрические сети Юга) - завершил реконструкцию и переоснащение РЗА подстанции на микропроцессорные устройства.

Микропроцессорная релейная защита (МРЗ) Владикавказ-2 представляет собой комплекс устройств и вспомогательной аппаратуры, которые обеспечивают:

- автоматическое отключение участка при его повреждении без выдержки времени;
- сокращение масштабов повреждения и предотвращают нарушения устойчивой работы системы и потребителя;
- сигнализацию о неисправностях устройств РЗА и о нарушении нормальных режимов электроустановки [1].

Эксплуатация электрооборудования, сетей невозможна без ненормальных режимов работы и повреждений. Самыми опасными режимами являются: короткие замыкания (КЗ), перегрузки и повреждения изоляции. КЗ возникают при повреждении изоляции, обрывах проводов, при ошибочных действиях персонала и по другим причинам.

Основная задача МРЗ - это предотвратить аварию и определить место возникновения короткого замыкания, обеспечить быстрое автоматическое отключение поврежденного участка или оборудования. Также релейная защита должна выявлять и определять нарушения нормальных режимов работы оборудования, подавать предупредительные сигналы персоналу, или отключать оборудование с выдержкой времени [2].

В целом устройства МРЗА состоят из двух основных элементов: измерительных (ИО) и логических органов (ЛО). ИО защиты контролируют режимы защищаемого участка, реагируя на соответствующие электрические параметры и величины. Они подключаются к измерительным трансформаторам тока или к измерительным трансформаторам напряжения оборудования, шин, линий электропередачи. ЛО объединяют управляющие сигналы в зависимости от последовательности поступления на них, а также комбинации сигналов от ИО. Действуют логические органы на выключатели через исполнительные органы [3].

В комплексе с ИО и ЛО предусматриваются сигнальные органы (СО), которые подают сигналы срабатывания защиты в целом или по отдельным участкам.

В зависимости от вида оборудования, его характеристик применяют защиты различных принципов действия. Они могут быть основными или резервными [4]. К основной защите подстанции 330 кВ В-2 относится дифференциально-фазная высокочастотная защита (ДФЗ). Для резервных защит используются: дистанционная защита (ДЗ), токовая отсечка (ТО), защита от повышения напряжения (ЗПН), защита от неполнофазного режима (ЗНР), токовая направленная защита нулевой последовательности (ТНЗНП). В качестве устройств автоматики применяем автоматическое повторное включение (АПВ), которое обеспечивает однофазное автоматическое повторное включение (ОАПВ), трехфазное АПВ (ТАПВ), ускоренное ТАПВ (УТАПВ).

ДФЗ - это быстродействующая защита, срабатывающая при всех видах КЗ без выдержки времени. Она имеет резерв в виде ступенчатых защит ДЗ и ТНЗНП. ДЗ используется для защиты от междуфазных КЗ, является направленной защитой, выполняется по ступенчатому принципу. ТНЗНП срабатывает на одно- и двухфазные КЗ на землю и работает по ступенчатому принципу. ТО реагирует на все виды КЗ и действует без выдержки времени [5].

ЗПН имеет две степени защит: чувствительную и грубую. Чувствительная степень используется для ограничения времени существования повышенного напряжения (до 115-130 % от U_H). Защита работает с выдержкой времени на отключение и с запретом ТАПВ. Грубая степень используется для ограничения перенапряжений (свыше 130-150 % от U_H), работает с небольшой выдержкой времени на отключение с запретом ТАПВ.

ЗНР используется для устранения неполнофазного режима, который может возникнуть при отказе одной из фаз выключателя при отключении.

Научно-производственное предприятие «ЭКРА» разработало шкафы серии ШЭ2710 на базе микропроцессорных терминалов типа БЭ2704 для защиты всех элементов оборудования. Эти терминалы были установлены при реконструкции на подстанции Владикавказ-2.

Для всего комплекса защит подстанции В-2 используются следующие серии шкафов: ШЭ2710 511, ШЭ2710 521, ШЭ2710 542543, ШЭ2710 544, ШЭ2710 561 (562), ШЭ2710 541, ШЭ2710 542, ШЭ2710 572, ШЭ2710 582.

Эти шкафы обеспечивают следующие виды защит: ступенчатую дистанционную и токовую направленную нулевой последовательности, основную защиту АТ, дифференциальную защиту сборных шин; защиты шунтирующего реактора, дифференциально-фазную защиту линии. Пример размещения шкафов ШЭ2710 на подстанции В-2 330 кВ показан на рисунке 1.

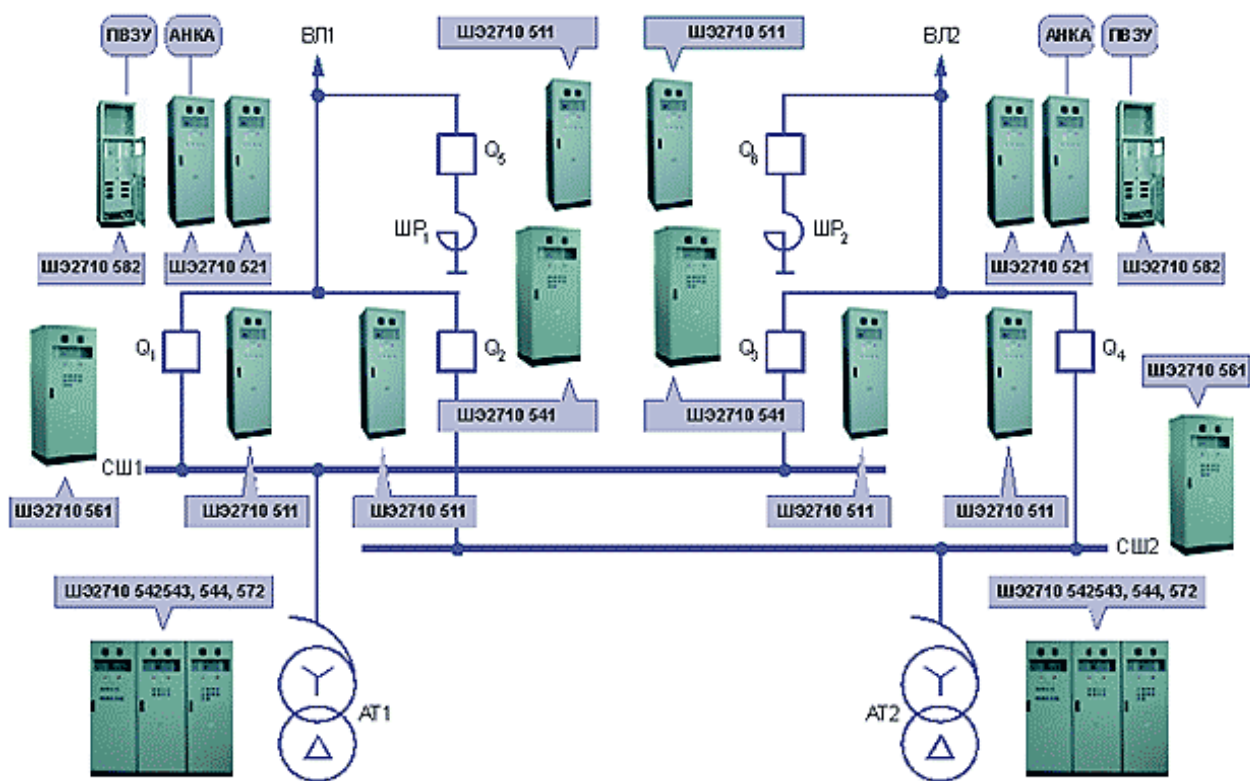


Рисунок 1 – Размещение шкафов ШЭ2710 на подстанции 330 кВ Владикавказ-2

Каждый выход на ВЛ предусматривает два шкафа основных защит. Для первой основной защиты установлен шкаф высокочастотной дифференциально-фазной защиты (ШЭ2710 582). На концах линии - два полукомплекта (шкафа) защиты, которые обмениваются информацией за счет передачи высокочастотных (ВЧ) сигналов по проводам защищаемой линии с использованием приемопередатчиков ПВЗУ-Е, ПВЗ-90М и др. также предусматривается обмен сигналами между полукомплектами. Для этого используются оптоволоконные каналы связи.

Для второй основной защиты линии используются традиционные ступенчатые: дистанционная и токовая направленная нулевой последовательности (ШЭ2710 521). Они имеют возможность ускорения с помощью разрешающих сигналов по ВЧ каналам. В составе шкафов защиты ВЛ ШЭ2710 582 и ШЭ2710 521 используют функции ОАПВ. При возникновении однофазных повреждений эти защиты действуют на отключение с помощью автоматики управления выключателем, а затем последующее включение поврежденной фазы [6-10].

При выходе из строя основных защит, повреждения на линии устраняются за счет двух ближайших ступеней резервирования.

В качестве резервной защиты используется шкаф ШЭ2710 521 (без применения цепей телеускорения).

Для управления линейными и реакторными выключателями используются шкафы типа ШЭ2710 511. Они выполняют ТАПВ при 3-хфазном отключении участка, УРОВ, защиты от неполнофазного режима (ЗНФР) и непереключения фаз (ЗНФ). ЗНФР обеспечивает контроль положения фаз второго выключателя линии. Объединяя все функций РЗА в одном шкафу, повышается надежность всего комплекса защит. В этом шкафу объединяются все сигналы ввода ускорения ступенчатых защит при опробовании ВЛ напряжением.

Для основной защиты АТ применяются шкафы типа ШЭ2710 544, ШЭ2710 542543, для резерва - ШЭ2710 572 (на стороне ВН) и ШЭ2607 071 или ШЭ2607 072 (на стороне СН).

Для защиты шин 330 кВ Владикавказ-2 используют два шкафа типа ШЭ2710 561, для шунтирующего реактора - шкаф типа ШЭ2710 541.

Дифференциально-фазная высокочастотная защита линии с токовым пусковым органом обеспечивается шкафом типа ШЭ2710 582.

Преимущество этой защиты - она может не выводиться из работы при нарушении цепей напряжения, а в цикле ОАПВ она работает с полной селективностью. Для обеспечения резервных защит на автотрансформаторе со сторон ВН и СН установлены шкафы типа ШЭ2710 572 и ШЭ2607 071 (072). В них используются традиционные дистанционные и токовые защиты для дальнего резервирования, направленные от АТ к шинам, и также используются ступени, направленные в АТ.

Ступени защит смежных сторон, направленные в АТ, взаимодействуют друг с другом с помощью сигналов и при повреждениях могут действовать на отключение автотрансформатора со всех сторон. Время выдержки при этом минимальное и обеспечивается полное резервирование основных защит.

До полного окончания реконструкции подстанции 330кВ Владикавказ-2, предусматривается сохранение в работе части электромеханических резервных защит. Также сохраняется упрощенная электромеханическая резервная защита ВЛ на случай чрезвычайных ситуаций.

Для улучшения функции ближнего резервирования на ВЛ 330 кВ установлены три шкафа типа ШЭ2710 582 и два - ШЭ2710 521. Это позволяет улучшить качество дальнего резервирования [10-12].

МРЗА на подстанции 330 кВ В-2 дает возможность организации автоматизированной системы наблюдения и управления (мониторинга). Основную часть функций защиты нижнего уровня могут обеспечивать терминалы защиты.

Выводы.

Полная реконструкция подстанции 330 кВ Владикавказ-2 и переход на микропроцессорные устройства релейной защиты автоматики имеет ряд преимуществ:

- 1) уменьшаются расходы на эксплуатацию, за счет уменьшения времени на выяснение причин неисправностей; а также за счет системы самодиагностики, автоматической регистрации режимов и событий;
- 2) обеспечивается диагностика оборудования;
- 3) уменьшение потребления по цепи оперативного постоянного тока и напряжения;
- 4) сокращаются расходы на монтаж установки [4].

К недостаткам можно отнести:

- 1) высокая стоимость оборудования и шкафов;
- 2) переход на микропроцессорную релейную защиту и автоматку требует переподготовки персонала;
- 3) затрачивается дополнительное время на перезагрузку в системе питания после перерыва в энергоснабжении [4].

Хотя устройства МРЗА являются весьма дорогостоящими, однако их применение позволяет достичь более высоких показателей надежности и эффективности работы СЭС в целом и обеспечить высокую организацию труда обслуживающего персонала подстанции.

Список использованных источников

1. Гуревич, В. И. Микропроцессорные реле защиты: новые перспективы или новые проблемы? / В. И. Гуревич // Пром. энергетика. - 2006. - № 3, 4.
2. Глазырин В.Е., Шалин А.И. Расчет уставок микропроцессорной релейной защиты блока генератор-трансформатор: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 130 с.
3. Басс, Э. И. Релейная защита электроэнергетических систем. Учебное пособие / Э.И. Басс, В.Г. Дорогунцев. – М. : МЭИ, 2002. - 296 с.
4. Дьяков, А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем. Учебное пособие для вузов / Н. И. Овчаренко. – М.: МЭИ, 2008. - 336 с.
5. Ключев Р.В., Берко И.А. Релейная защита. Учебное пособие по подготовке к лекционным, практическим занятиям, выполнению курсовой работы, и организации самостоятельной работы для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Квалификация – бакалавр, Владикавказ: СКГМИ (ГТУ), 2018. – 146 с.
6. Кабисов А.А., Гудиев Т.Т., Берко И.А. Исследование и анализ структурной надежности отдельных элементов электроэнергетической системы МРСК Северного Кавказа // Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития". Под общ. ред. Р.В. Ключева; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)». 2018. С. 27-32.

7. Путилин А.С., Шабанов Г.Г., Берко И.А. Использование микропроцессорной релейной защиты на подстанциях ФСК ЕЭС РФ // Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития". Под общ. ред. Р.В. Клюева; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)». 2018. С. 33-42.

8. Берко И.А., Берко А.А., Путилин А.С. «Повышение чувствительности защиты от однофазных замыканий на землю». НТК-2016 Научно-техническая конференция обучающихся и молодых ученых СКГМИ (ГТУ). Сборник статей.-2016.-С.47-49, Владикавказ: Терек.

9. Берко И.А., Берко А.А., Котов И.В. «Устройство защиты от однофазных замыканий на землю в сетях 6–10 кВ с изолированной нейтралью». НТК-2016 Научно-техническая конференция обучающихся и молодых ученых СКГМИ (ГТУ). Сборник статей.-2016.-С.53-55, Владикавказ: Терек

10. Берко И.А., Кусов И.Р., Хадонов А.Т., Клюев Р.В. «Расчет токовой отсечки воздушных линий напряжением 110 кВ». Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и энергвозобновляемые источники энергии: материалы Всероссийской научно- практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (Екатеринбург, 12–16 декабря 2016 г.).-2016.-С.162-165, Екатеринбург: УрФУ.

11. Берко И.А., Кабисов А.А., Гудиев Т.Т. «Исследование и анализ структурной надежности отдельных элементов электроэнергетической системы МРСК Северного Кавказа». Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики [Электронный ресурс]: Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития" (октябрь 2018 г.).-Владикавказ, 2018.-С.27-32.

12. Берко И.А., Путилин А.С., Шабанов Г.Г. Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики [Электронный ресурс]: Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития" (октябрь 2018 г.).-Владикавказ, 2018.-С.33-42.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПО УЛУЧШЕНИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПРИРОДНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ В ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Берко И.А., Берко А.А.

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)», Россия, г. Владикавказ
bia-1995@mail.ru

Аннотация: В статье рассматриваются методы по улучшению использования солнечных электростанций природно-промышленной системы в горных территориях.

Ключевые слова: солнечные электростанции, горные районы, солнечные панели, следящая система, излучение, энергозатраты, перовскитные панели, солнечные модули.

DEVELOPMENT OF METHODS TO IMPROVE THE USE OF SOLAR POWER PLANTS OF THE NATURAL INDUSTRIAL SYSTEM IN THE MOUNTAIN TERRITORIES

Berko I.A., Berko A.A.

*North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University),
Russia, Vladikavkaz
bia-1995@mail.ru*

Annotation: *The article discusses methods to improve the use of solar power plants of a natural-industrial system in mountainous areas.*

Keywords: *solar power plants, mountainous areas, solar panels, servo system, radiation, energy consumption, perovskite panels, solar modules.*

Солнечная энергетика сегодня - это наиболее быстро развивающаяся сфера возобновляемых источников энергии. В данной сфере науки за последнее время произошел большой прорыв, об этом свидетельствуют такие факты, как повсеместное применение солнечных электростанций и сопутствующего оборудования. Данный вид энергетике показывает быстрые темпы развития с ожидаемым выходом к 2040 году на уровень 6,2% мирового производства электроэнергии [1].

Возведение солнечных электростанций в горных районах обладает рядом преимуществ. Например, при транспортировке электроэнергии на дальние расстояния в горные районы, возникают потери, их в огромной степени удастся сократить при установке солнечных панелей. Также, для того, чтобы транспортировать электроэнергию на большие расстояния, необходимо строительство сетей, которое может значительно увеличить стоимость передаваемой электроэнергии до отдаленных маленьких населенных пунктов, а также фермерских хозяйств. Иногда невозможно просто по техническим причинам протянуть электросети в определенные горные районы. А генерация электроэнергии на

дизельных электростанциях становится невыгодной, если брать постоянное увеличение цен на топливо. В таком случае проблему можно решить установкой, работающей на солнечной энергии.

Здесь солнечные электростанции обладают еще одним преимуществом: их эксплуатация требует меньших затрат, чем классические генерирующие объекты.

Поэтому сетевые компании могут уменьшить свои издержки на наращивание и обновление в горных районах линий электропередач. Кроме того, это не наносит никакой вред природе. При этом место для установки солнечных станций необходимо подбирать исходя из того, что оно не должно являться пригодным для использования в сельском хозяйстве.

Рассмотрим некоторые методы по улучшению использования солнечных электростанций в горных территориях.

Первый метод – это строительство солнечных электростанций на горных вершинах. Установка солнечных батарей в горах поможет удовлетворить спрос на энергию в зимние месяцы [2]. Солнечные электростанции, оборудованные на горных вершинах, будут генерировать такое же количество электроэнергии, как и при установке в городе, но для этого им потребуется меньшая площадь поверхности [3].

Основной проблемой солнечных электростанций является несовпадение промежутков пикового спроса и предложения.

Летом генерируется больше электроэнергии, а необходимость в ней больше бывает зимой.

Исходя из теории, продуктивность систем увеличивается с возрастанием высоты монтажа. Так как атмосфера разряжена, они могут поглощать большее количество солнечной энергии.

Снег способен отражать лучи обратно на солнечные панели. Холодная температура также позволит повысить эффективность установок: солнечные панели в мороз производят больше электроэнергии.

Вместе с повышением эффективности работы солнечных электростанций, установленных в горных вершинах, возникают некоторые аспекты: затруднено размещение солнечных электростанций в горных вершинах, сложность обустройства необходимой инфраструктуры и стоимость ее обслуживания, проектирование логистики и взаимодействия с существующей инфраструктурой.

Второй метод – это повышение эффективности солнечной электростанции с помощью следящей системы.

Очень часто солнечные батареи установлены на одной пластине, поэтому максимальная эффективность достигается тогда, когда Солнце расположено перпендикулярно плоскости пластины панелей. Тогда в другое время суток эффективность солнечных панелей будет падать. Из этого следует вопрос: как добиться наибольшей эффективности солнечных батарей?

Суммарное излучение $E_{\beta\sigma}$, падающее на наклонную поверхность (рис. 1), состоит из прямых $E_{\beta\beta}$, отраженных от земли $E_{R\beta}$, и диффузных от неба $E_{d\beta}$ компонентов [3]:

$$E_{\beta\Sigma} = E_{b\beta} + E_{d\beta} + E_{R\beta} \quad (1)$$

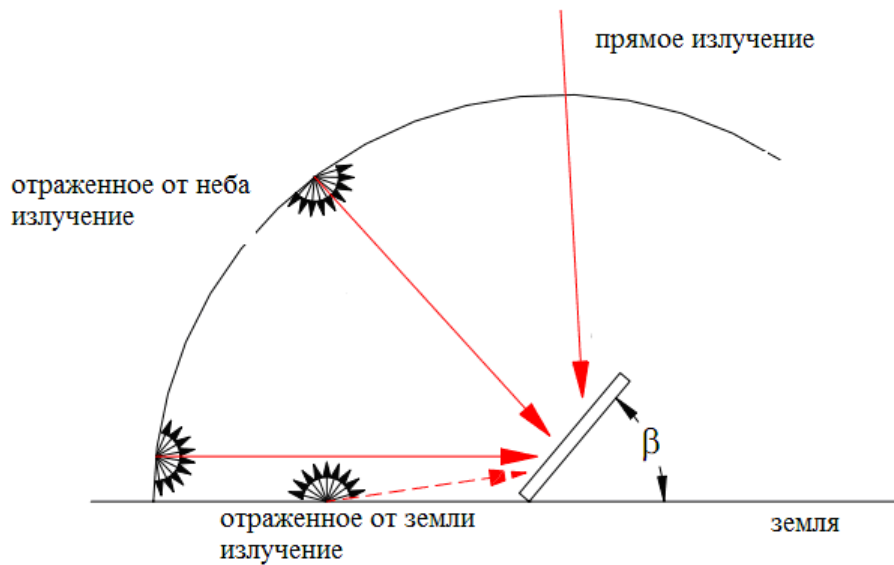


Рисунок 1 – Компоненты падающего на наклонную поверхность излучения

Рассчитать суммарную величину прямого излучения на наклонной с градусом β от горизонтального уровня, который вращается на γ градусов от оси север-юг, можно умножив прямые горизонтальные облучения отношения $\cos(\theta)/\cos(Z)$, включая θ -угол между солнечными лучами и нормалью наклонной поверхности и Z -солнечным зенитным углом.

Также, станция измерения была расположена на крыше с весьма низкой способностью к отражению, и компонент отражения был значительно ниже прямой и диффузной компоненты, таким образом, изотропная модель может использоваться для вычисления отраженного компонента на наклонной поверхности. Следовательно, уравнение (1) можно записать так:

$$E_{\beta\Sigma} = E_b \frac{\cos\theta}{\cos Z} + E_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) + E_\Sigma \cdot R_g \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right), \quad (2)$$

где E_b , E_d и E_Σ – ежечасно прямая, диффузная и суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность;

$\frac{1+\cos\beta}{2}$ – угловой коэффициент Земли;

$\frac{1-\cos\beta}{2}$ – угловой коэффициент поверхности земли;

R_g – отражающая способность Земли.

В солнечных панелях с постоянной производительностью для увеличения эффективности увеличить насыщенность солнечных лучей на панели. По выражению (2), для увеличения интенсивности солнечного излучения значение угла θ приближено к нулевому. Другими словами, солнечное излучение совпа-

дает с нормальной наклонной плоскостью. Для того, чтобы в любой момент времени определять направление излучения солнца, необходима система управления. При этом нужно установить солнечные панели так, чтобы их плоскость была перпендикулярна к солнечному излучению. Система управления обычно состоит из трех частей: датчика (распространенных типов LDR); обработки; двигателя и механической рамы [4].

Третий метод- это создание перовскитных солнечных батарей.

Фотоэлементы, изготовленные из перовскита, вместо кремния, занимают одну из прорывных и перспективных технологий изготовления солнечных панелей.

По отношению энергозатрат к генерируемой энергии, перовскит теоретически преобладает над кремнием. Кремниевым солнечным панелям необходимо около двух лет, чтобы возратить энергию, которая была потрачена на добычу и очистку минерала, а также производство и установку батарей [5].

Перовскитные панели окупаются всего за два-три месяца.

У фотоэлементов из перовскита КПД достаточно мал и составляет около 11-12%. Это меньше, чем у кремниевых аналогов. Однако перовскит намного выгоднее с точки зрения энергоэффективности.

Методы перовскитовых панелей очень быстро совершенствуются. Кроме того, возможность изготовления токогенерирующей плёнки толщиной в несколько микрометров открывает абсолютно новые перспективы. Как раз недавно химики из Линцкого университета им. Иоганна Кеплера (Австрия) изготовили такую сверхтонкую гибкую фольгу толщиной всего 3 мкм.

Австрийцам удалось смогли существенно оптимизировать технический процесс изготовления фотоэлементов, а также увеличить стабильность химиката в воздухе. То есть кропотливая и дорогая инкапсуляция теперь не нужна: панели работают без защитной оболочки. Химической стабильности в воздушной среде удалось добиться благодаря применению прослойки из хрома и оксида хрома, защищающей верхние металлические контакты от реакции с перовскитом (рис. 2) [6].

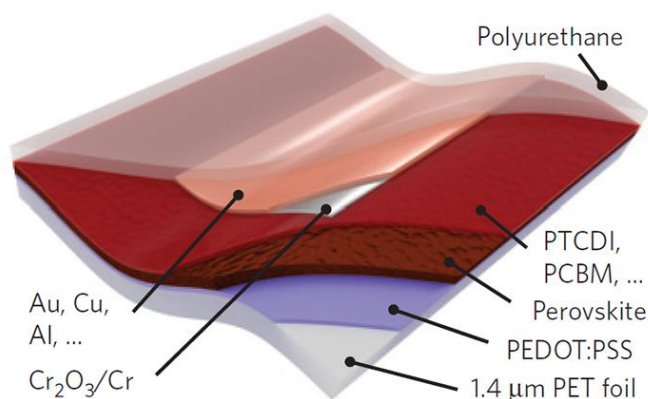


Рисунок 2 – Состав фольги перовскита

Так как фольга из перовскита толщиной всего три микрометра, то это ожидаемо, что материал показывает очень высокий показатель энергоотдачи: 23 ватта на грамм.

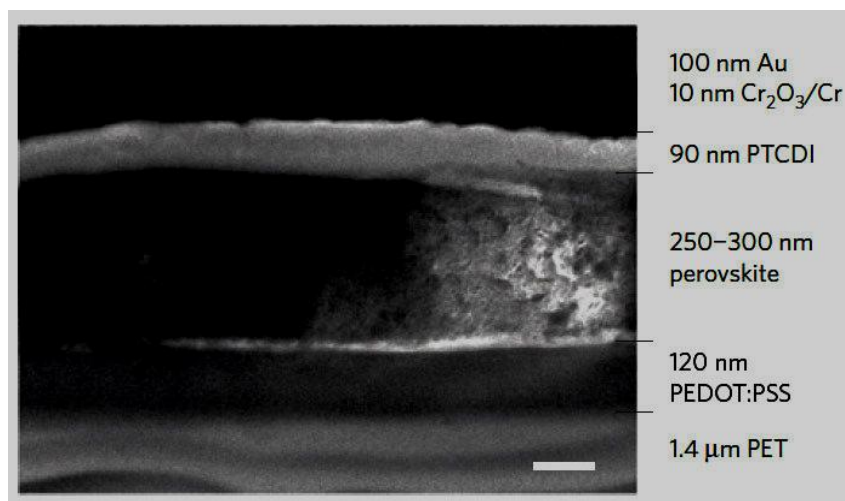


Рисунок 3 – Фольга перовскита

Квадратный метр фотоэлементов, который весит всего 5,2 грамма, способен генерировать 120 ватт мощности.

Такая легковесная фольга может быть использована для энергопитания беспилотных летательных аппаратов (от больших самолётов до маленьких квадрокоптеров), метеорологических зондов и воздушных шаров с видеокameraми типа «Око», которые непрерывно находятся в воздухе и следят за территорией [6].

Четвертый метод – это использование концентраторов солнечного излучения. Этот способ способствует повышению эффективности солнечных фотоэлектрических установок (СФУ). Применение концентраторов в СФУ способно увеличивать попадающую на солнечные фотоэлектрические элементы (СФЭ) солнечную энергию, тем самым уменьшить площадь СФЭ, следовательно, и затраты на солнечную фотоэлектрическую батарею (СФБ) с такой же мощностью. К тому же в работе [7] отмечено, что концентрированное излучение повышает КПД преобразования солнечного излучения СФЭ.

Известна установка с относительно небольшой СФБ, концентратором и системой слежения (рис. 4).

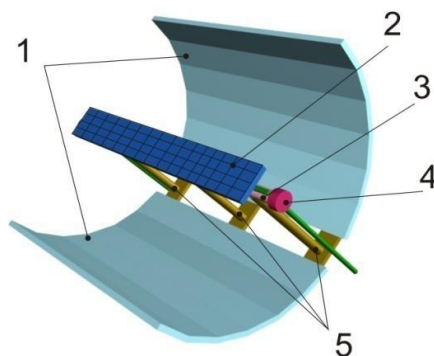


Рисунок 4 – СФУ с концентратором для СФБ с многпереходными СФЭ:
 1 – концентрирующая система; 2 – планарный фотоэлектрический модуль;
 3 – СФБ; 4 – коммутационный узел; 5 – несущая конструкция

Крылья концентрирующей системы создают двустороннюю засветку приемного блока, в котором располагается СФБ. Поверх приемного блока можно установить планарный фотоэлектрический модуль, который может быть применен для питания собственных нужд установки. Для электрического присоединения к приемному блоку имеется коммутационный узел [8].

В качестве недостатков данной установки можно отметить: необходимость наличия системы охлаждения СФБ, установка громоздкой опорной конструкции, а также наличие мощных электроприводов системы слежения. Все это ведет к увеличению капиталовложений. Существуют СФУ с оптическими концентраторами - линзами Френеля, которые были разработаны в Физико-техническом институте (ФТИ) им. Иоффе (рис. 5). Они позволяют снизить громоздкость опорной конструкции и мощность электроприводов системы слежения. Это уменьшает капиталовложения. Однако системы охлаждения и слежения по-прежнему необходимы, при этом требования к ним ужесточаются.



Рисунок 5 – СФУ с оптическими концентраторными модулями, установленная на крыше корпуса «А» ФТИ им. Иоффе

Для того, чтобы снизить капитальные затраты на единицу мощности, проектируются системы с неподвижным приемником (СФБ). По мнению авторов [9, 10], перспективным направлением развития солнечной энергетики с СФБ является использование установок с неподвижным концентратором и подвижным приемником.

При использовании неподвижной конструкции концентрирующей системы исключаются подвижные механизмы с электроприводами. Это значительно

уменьшает ее стоимость, а вместе с этим увеличивает надежность. Данное преимущество становится явным для мощных СФУ с концентрирующей системой больших размеров. К тому же, для снижения первоначальных капитальных затрат, в качестве концентрирующей поверхности или опорных конструкций имеется возможность использовать части сооружений или зданий [11] (рис. 6).

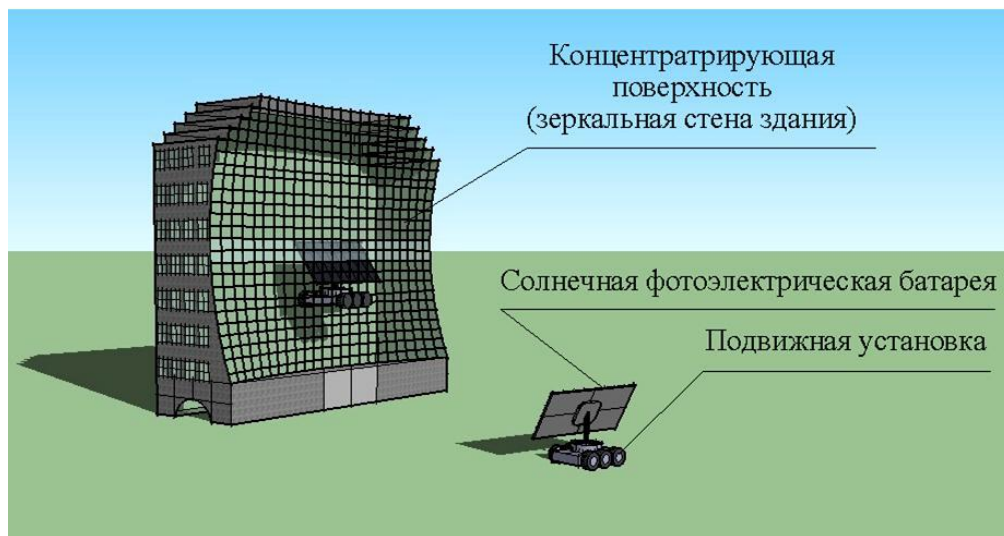


Рисунок 6 – Солнечная установка с неподвижным концентратором и мобильной передвижной системой с СФБ

К основным недостаткам применения концентраторов солнечной энергии в СФУ, которыми обладают те или иные схемные и конструктивные варианты концентраторов, относят [12, 13]:

- необходимость в специальных технических средствах и мероприятиях для интенсификации отвода тепла от СФЭ;
- усложнение конструкции и эксплуатации установки, ее металло- и материалоемкость, сложность и дороговизна изготовления некоторых видов концентраторов, например, параболоидных;
- необходимость систем ориентации на Солнце для подвижных концентраторов, а для некоторых концентрирующих систем и повышение требований к точности ориентации, сложность юстировки и т.д.;
- потери солнечной энергии, связанные с коэффициентом отражения концентрирующей системы.

Все это, в свою очередь приводит к увеличению массы, стоимости СФУ, снижению надежности и т.п. Также стоит заметить, что сравнительно дешевые обычные кремниевые СФЭ, в большинстве случаев, не рассчитаны для работы под высококонцентрированным излучением, поэтому в СФУ с концентраторами солнечного излучения применяют иные типы СФЭ, стоимость которых значительно дороже.

Пятый метод – это повышение эффективности солнечной электростанции в горных территориях за счет создания двусторонних солнечных модулей. При их разработке создатели обещали увеличение производимой электрической

энергии на 50%, чем обычные панели в вертикальных установках. Также было заявлено, что данные модели являются более доступными, чем традиционные. Если установить панель вертикально, то можно добиться увеличения мощности на 50%. Большинство солнечных электростанций смонтированы под заданным углом, следовательно, их мощность уменьшится и в сравнении с классической односторонней панелью, будет также превышать на 10%-30%. Суммарная мощность солнечной панели, состоящей из 60 ячеек, примерно составит 275-315 Вт, что является неплохим показателем среди обыкновенных панелей. Секретом данных двухсторонних солнечных батарей является применение Бора (B), вместо Алюминия (Al), справляющимся с производством солнечной энергии в электрическую намного лучше. При этом благодаря выработки на квадратный метр большей электроэнергии, удалось снизить себестоимость этих двухсторонних солнечных элементов до конкурентоспособного уровня. Кроме этого одной из позитивных особенностей двухсторонних солнечных панелей является их площадь, которую они занимают для выработки одного и того же количества электроэнергии в сравнении с обыкновенными панелями [14, 15].

Достоинством двухсторонних солнечных элементов, а также построенных на их основе двухсторонних модулей, является то, что обе стороны генерируют электроэнергию при попадании на них света. Наряду с этим мощность тыльной стороны примерно равняется 70% от лицевой. В классических (односторонних) элементах и модулях только передняя (лицевая) сторона задействована. В солнечных модулях, использующих две стороны, электроэнергия, которая производится лицевой и тыльной сторонами, суммируется. Поэтому, там, где тыльная сторона панели доступна либо напрямую, либо путем направленного или рассеянного отражения, применение двухсторонних модулей является выгодным. Также это позволяет сократить площадь земельного участка под электростанцию.

Чтобы солнечная панель с тыльной стороны смогла получать отраженный свет, нужно закрепить ее на определенном расстоянии (0,2 – 0,5 м) от опорной поверхности, тогда на нее будет попадать рассеянно отраженный свет (рис. 7).

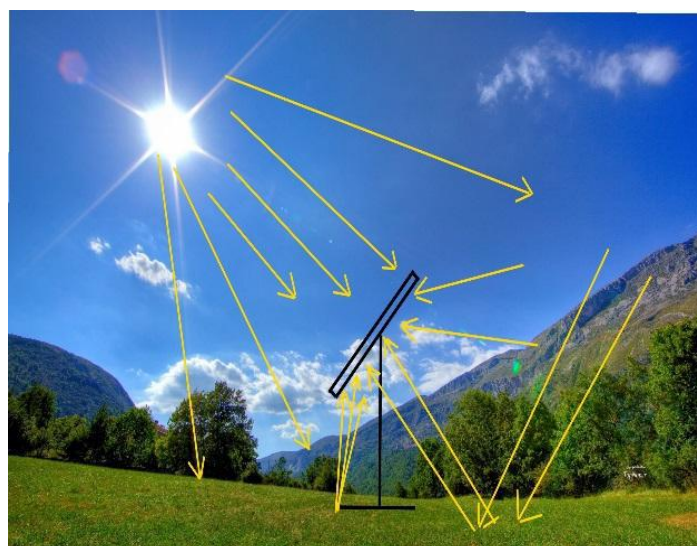


Рисунок 7 – Двусторонняя панель в работе

Данная методика освещения обратной (тыльной) стороны панели наиболее легкая и простая в применении, и она весьма экономична. И, если опорная поверхность (крыша, стена и т.д.) будет окрашена в белый цвет или же иметь светоотражающее покрытие (например, зеркальную пленку), суммарная мощность панели способна вырасти до 20%. А в горных территориях отражение может происходить от самих гор, причем в зимнее время отражение будет значительно выше за счет снежного покрова. Необходимо только правильно рассчитать угол наклона солнечной панели [16, 17].

Список использованных источников

1. Энергетический бюллетень Аналитического центра при правительстве РФ «Развитие солнечной энергетики» (Январь, 2017). <http://ac.gov.ru/files/publication/a/11725.pdf>
2. Annelen Kahl, Jerome Dujardin, and Michael Lehning. The bright side of PV production in snow-covered mountains. PNAS January 22, 2019 116 (4) 1162-1167. <https://www.pnas.org/content/116/4/1162>
3. Hoang D.H. Nang Luong Mat Troi- Ly Thuyet va Ung Dung, DH Bach Khoa Da Nang, 2008.
4. Нго Сян Кыонг. Повышение эффективности солнечных батарей с помощью следящей системы. Тула: Издательство ТулГУ. — 274 с. — ISSN 2071-6168.
5. Jian Gong, Seth B. Darling, a Fengqi You. Perovskite photovoltaics: life-cycle assessment of energy and environmental impacts. Energy & Environmental Science. 01 July 2015, Issue 7, Page 1827. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/EE/C5EE00615E#!divAbstract>.
6. Martin Kaltenbrunner, Getachew Adam. Flexible high power-per-weight perovskite solar cells with chromium oxide–metal contacts for improved stability in air. Nature materials, 24 August 2015.
7. Стребков, Д. С. Концентраторы солнечного излучения / Д. С. Стребков, Э. В. Тверьянович; под ред. Д. С. Стребкова. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 316 с.
8. Смирнов, А. В. Повышение эффективности концентраторов солнечных энергетических установок с высоковольтными фотопреобразователями : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.08 / Смирнов Александр Владимирович. – М., 2010. –186 с.
9. Алферов, Ж. И. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики / Ж. И. Алферов, В. М. Андреев, В. Д. Румянцев // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Т.38. – № 8. – С. 937-948.
10. Андреев, В.М. Оптимизация параметров солнечных модулей на основе линзовых концентраторов излучения и каскадных фотоэлектрических преобразователей / В. А. Андреев, Н. Ю. Давидюк, Е. А. Ионова, П. В
11. Покровский В. Д. Румянцев, Н. А. Садчиков // Журнал технической физики – 2010г. – Т. 80. – Вып. 2. – С.118-125.
12. Ахметшин, А.Т. Солнечные установки с неподвижным концентратором и мобильной передвижной системой с фотоэлектрическим преобразователем / А. Т. Ахметшин, И. И. Галимарданов // Материалы XLIX Международной научно-технической конференции «Достижения науки - агропромышленному производству». – Челябинск: ЧГАА, 2010. – Ч.2. – С. 278- 282.
13. Ахметшин, А.Т. Разработка алгоритма перемещения приемной установки при проектировании систем с неподвижным концентратором солнечной энергии / А.Т. Ахметшин, Р.Л. Лукманов // Фундаментальные основы научно-технической и технологической модернизации АПК: материалы Все-российской научно-практической конференции (6-7 июня 2013 г.). – Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. – Ч. 1 – С. 370-375.

14. Лукманов, Р. Л. Разработка метода расчета энергетических показателей неподвижного концентратора солнечной энергии / Р. Л. Лукманов, И. И. Галимарданов, А. Т. Ахметшин // Известия Международной академии аграрного образования. – СПб, 2013. – №17 (2013). – С. 249 – 252.

15. Кабисов А.А., Гудиев Т.Т., Берко И.А. Исследование и анализ структурной надежности отдельных элементов электроэнергетической системы МРСК Северного Кавказа // Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития". Под общ. ред. Р.В. Ключева; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)». 2018. С. 27-32.

16. Берко И.А., Кабисов А.А., Гудиев Т.Т. «Исследование и анализ структурной надежности отдельных элементов электроэнергетической системы МРСК Северного Кавказа». Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики [Электронный ресурс]: Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития" (октябрь 2018 г.).-Владикавказ, 2018.-С.27

17. Берко И.А., Путилин А.С., Шабанов Г.Г. Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики [Электронный ресурс]: Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития" (октябрь 2018 г.).-Владикавказ, 2018.-С.33-42.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА НА КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ В КОНТУРАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Володин В.С., Толоконский А. О.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва VSVolodin@mephi.ru

Аннотация: В рамках работы исследуется влияние вида управляющего воздействия на качество управления в контурах регулирования технологических объектов управления в электроэнергетике. Рассматриваются регуляторы с выходом на пропорциональный и интегрирующий орган регулирования на примере системы регулирования уровня в ёмкости в режимах выхода на уставку и отработки возмущений разных величин. Показана необходимость учёта типа управляющего воздействия, формируемого регулятором, на этапе его параметрического синтеза.

Ключевые слова: система автоматического регулирования; орган регулирования; управляющее воздействие; автоматический регулятор; настройка регулятора

THE RESEARCH OF IMPACT OF ADJUSTING CONTROL TYPE ON CONTROL QUALITY IN CONTROL LOOPS OF ELECTRICITY OBJECTS

Volodin V.S., Tolokonskij A.O.

*National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow
VSVolodin@mephi.ru*

Abstract: *In this research, impact of adjusting control type on control quality in control loops of electricity objects is investigated. Regulators with proportional and integral adjusting control are considered on example of tank level control system in mode of suppression of disturbances of different values and in mode of reaching setpoint. Authors showed necessity to consider control action type, formed by regulator, on stage of its parameters tuning.*

Keywords: *automatic control system; adjusting control; control action; automatic regulator; regulator tuning*

Автоматизированная система управления технологическим процессом промышленного предприятия (АСУ ТП) включает в себя большое количество подсистем, разделяемых технологически. Однако можно провести деление и на функциональные группы: системы мониторинга (например, автоматизированная система радиационного контроля), системы автоматического регулирования (например, комплексная система регулирования турбины, включающая в себя гидравлическую и электронную части), вспомогательные системы (например, система пара собственных нужд) и т.д.

Системы автоматического регулирования (САР) предназначены для автоматического изменения параметров объекта управления с целью установления требуемого режима его работы. САР обеспечивает поддержание постоянства заданных значений регулируемых параметров или их изменение по заданному закону.

Структура любой САР включает в себя объект управления, регулятор, исполнительные механизмы, органы регулирования, датчики, задатчик уставки и устройство сравнения. Каждый структурный элемент оказывает определённое влияние на динамику системы регулирования. При проектировании систем регулирования на этапе синтеза регуляторов в основном учитывают различные возмущения, влияющие на контур регулирования (чаще всего внешние, реже исследуют влияние других контуров регулирования на исследуемый), динамику и свойства саморегулирования объекта управления, динамику датчиков и характеристики органов регулирования (ОР). Используемые приближения на этапе теоретического синтеза напрямую влияют на длительность пусконаладочных работ САР, одним из этапов которых является корректировка параметров регуляторов (иногда и закона управления). С целью сокращения времени пусконаладочных работ целесообразно на этапе теоретического синтеза параметров регуляторов учитывать также вид управляющего воздействия, формируемого регулятором, так как от этого непосредственно зависит перемещение ОР САР. Подавляющим большинством регулируемых технологических процессов на промышленных предприятиях являются теплоэнергетические процессы, органами регулирования которых являются регулирующие клапаны и задвижки (например, регулирующие клапаны турбины на АЭС). В литературе можно встретить качественный анализ влияния расходной характеристики клапанов и задвижек [1] на динамику САР, но затруднительно найти исследования влияния типа органа регулирования на динамику САР, что обуславливает актуальность работы.

В рамках данной работы проводился качественный анализ влияния органов регулирования пропорционального и интегрирующего типов на динамику цифровой системы регулирования, технологическая структура которой представлена на рисунке 1.

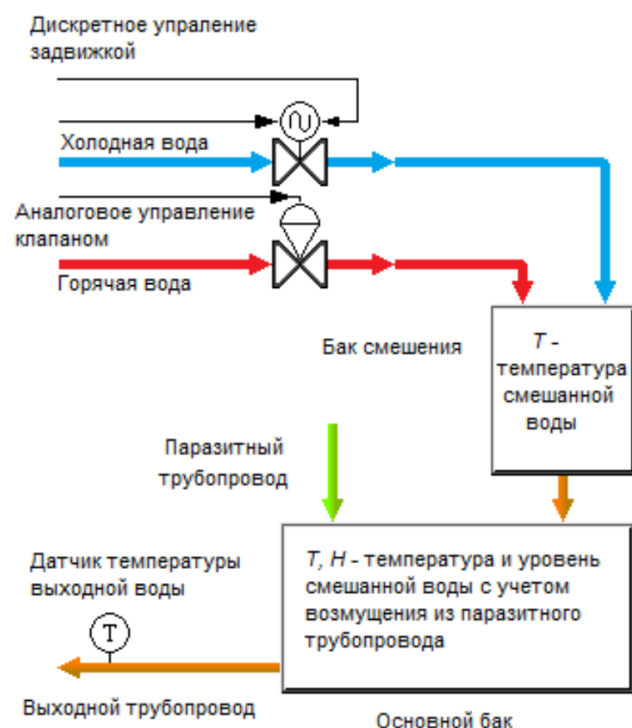


Рисунок 1 – Исследуемая технологическая система

Технологическая система включает в себя трубопроводы с холодной и горячей водой (расход холодной воды регулируется посредством задвижки с ШИМ-управлением, а расход горячей посредством клапана с аналоговым управлением), баки смешения и основной, паразитный и выходной трубопроводы, а также датчики температуры в обоих баках и на выходе всей системы, уровня в баках и расхода на каждом трубопроводе. Примером такой системы является участок водоподготовительной установки, присутствующей на многих производствах, на котором осуществляется дозирование химических реагентов в подготавливаемую воду с последующим её поступлением в контактные ёмкости (например, дозирование коагулянта в подогретую воду со скорректированным водородным показателем рН и поступление этой воды в контактные ёмкости перед установкой ультрафильтрации [2]).

Под ОР пропорционального и интегрального типов понимается следующее. Характеристика ОР пропорционального типа имеет вид линейной функции $y=kx$, т.е. при нулевом аналоговом выходе регулятора клапан закрыт. В случае же ОР интегрирующего типа, который управляется импульсами двухполярного ШИМ, при нулевом дискретном выходе регулятора задвижка не закрывается – расход остаётся на некотором уровне, определяемом последовательностью предыдущих управляющих импульсов. Исследуемая система регулирования реализована на программно-техническом комплексе (ПТК), структурная схема которого представлена на рисунке 2.

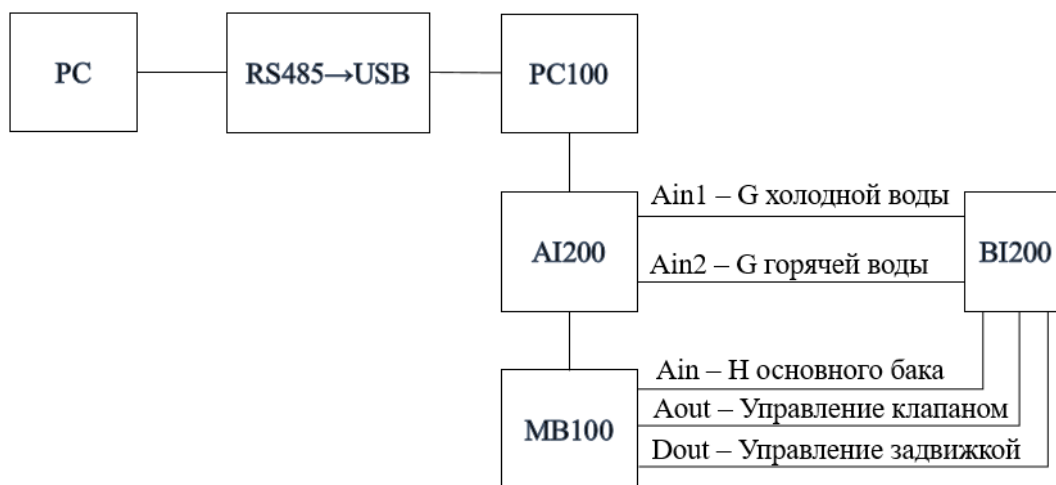


Рисунок 2 – Структурная схема используемого ПТК

ПТК включает в себя следующие элементы: BI200 – блок эмуляции технологической схемы, представленной на рис. 1 и описанной выше; ПК с базой данных реального времени; преобразователь RS485-USB; PC100 – PC-совместимый контроллер; AI200 – модуль обработки аналоговых величин; MB100 – модуль с аналоговыми и дискретными входами/выходами, который реализует функции ПИД-регулирования. На два аналоговых входа модуля AI200 поступают значения величин расходов горячей и холодной воды, на аналоговый вход модуля MB100 поступает величина уровня в основном баке. По-

средством аналогового и дискретного выходов модуля MB100 осуществляется управление клапаном и задвижкой соответственно.

В работе рассматривались режимы компенсации возмущений и выхода на уставку ($N_{уст} = 30$ о.е., где о.е. – относительные единицы) и были определены следующие показатели качества во временной области – перерегулирование, время регулирования и величина рассогласования (с помощью соответствующих архивов базы данных реального времени). Вид переходного процесса с одним периодом затухающих колебаний считается удовлетворительным. Параметры обоих ПИ-регуляторов (коэффициент пропорциональности, постоянная времени интегрирования и период вызова регулятора) при экспериментах абсолютно идентичны, зона нечувствительности отсутствует. Соответствующие переходные процессы (выход на уставку и отработка возмущений для каждого регулятора) представлены на рисунках 3-6.

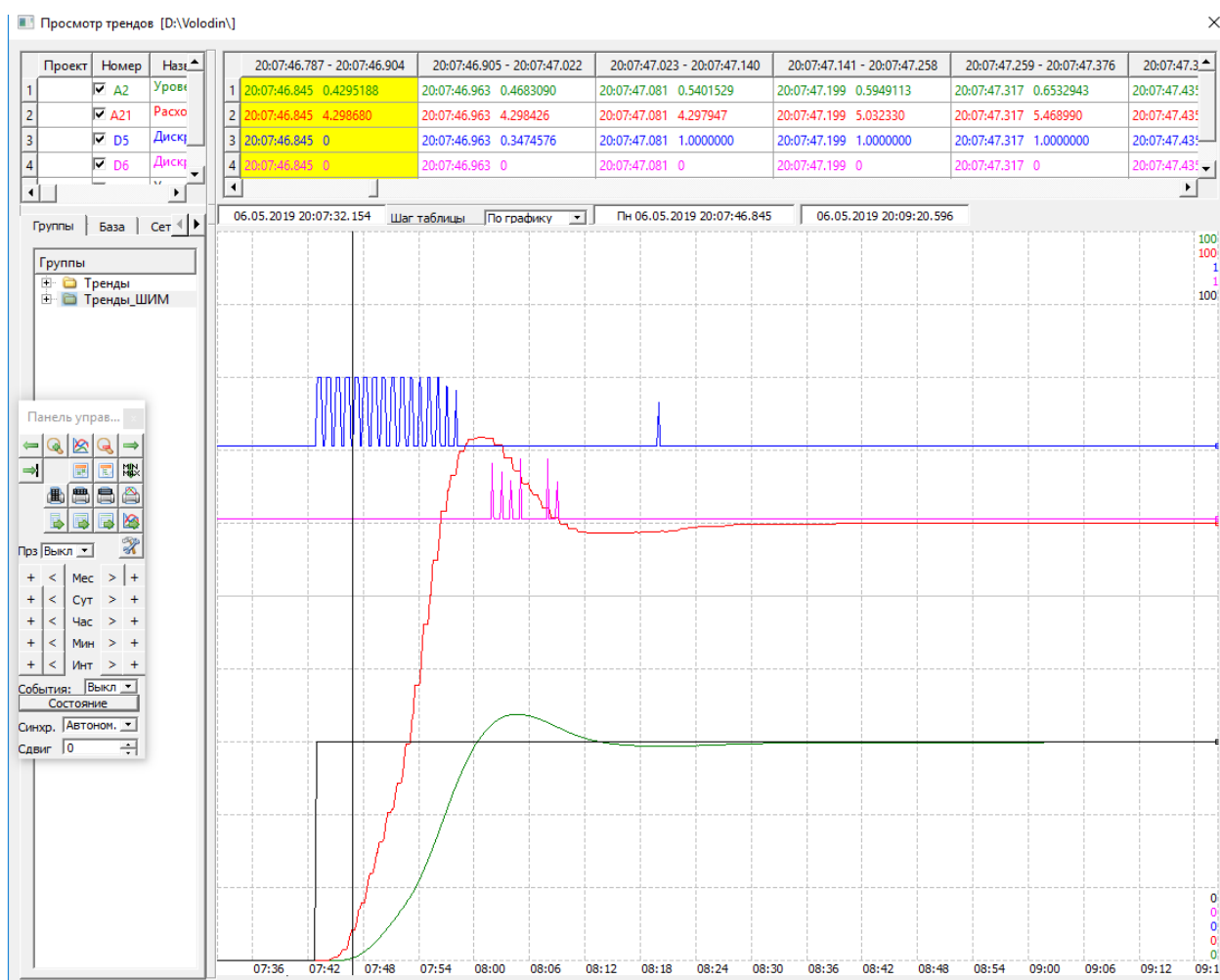


Рисунок 3 – Выход на уставку САР с ОР интегрального типа

Графики на рисунке 3: зелёный – уровень в основном баке, красный – расход холодной воды, чёрный – уставка регулятора, синий – импульсы ШИМ на открытие задвижки, розовый – импульсы ШИМ на закрытие задвижки.

Показатели качества: $\delta = 9\%$, $\varepsilon = 0$ о.е., $t_{рег} = 30$ с, где δ – перерегулирование, ε – величина рассогласования, $t_{рег}$ – время регулирования.

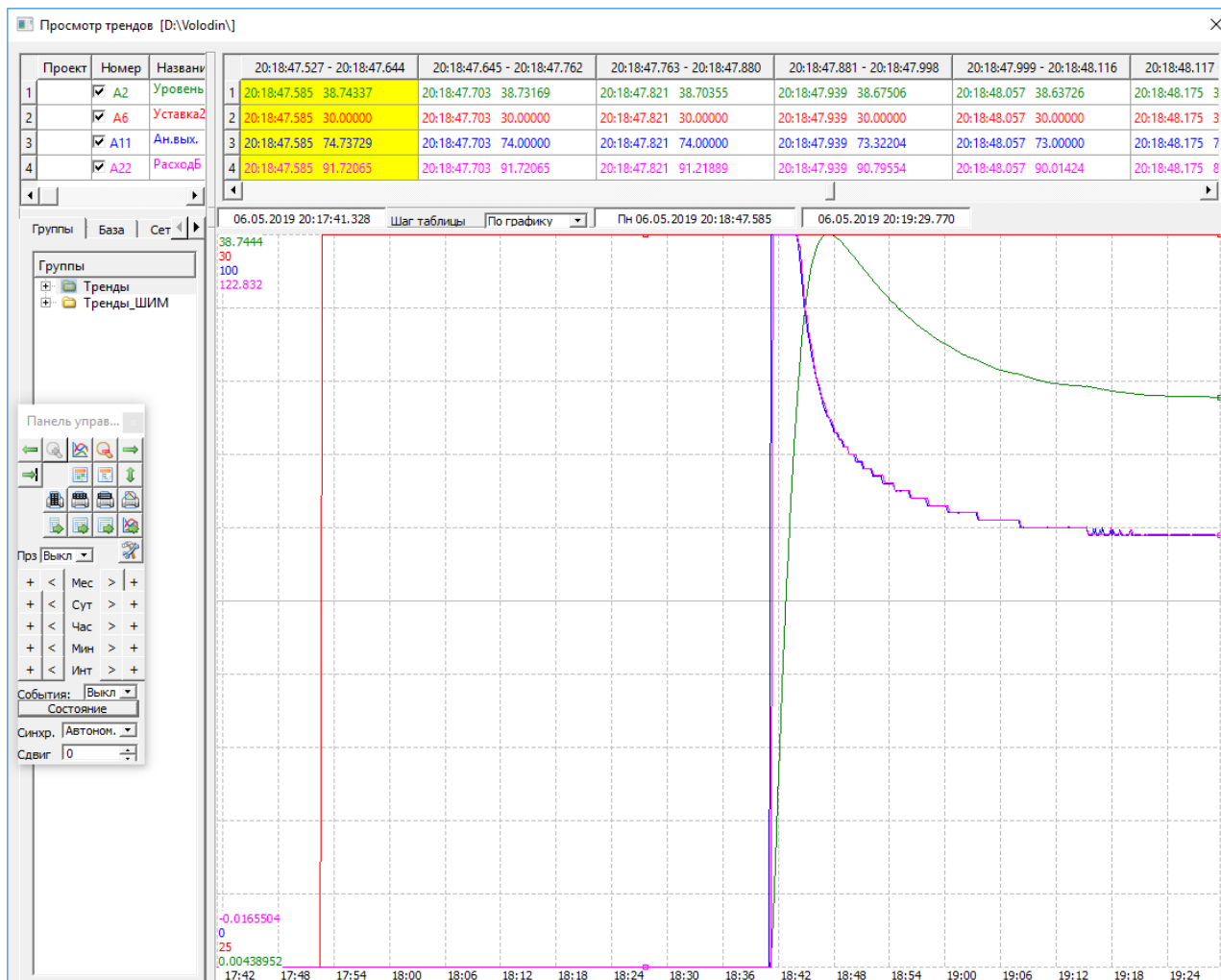


Рисунок 4 – Выход на уставку САР с ОР пропорционального типа

Графики на рисунке 4: зелёный – уровень в основном баке, красный – уставка регулятора, синий – аналоговый выход МВ100, розовый – расход горячей воды.

Показатели качества: $\delta = 24.8\%$, $\varepsilon = 0$ о.е., $t_{рег} = 37с$, где δ – перерегулирование, ε – величина рассогласования, $t_{рег}$ – время регулирования.

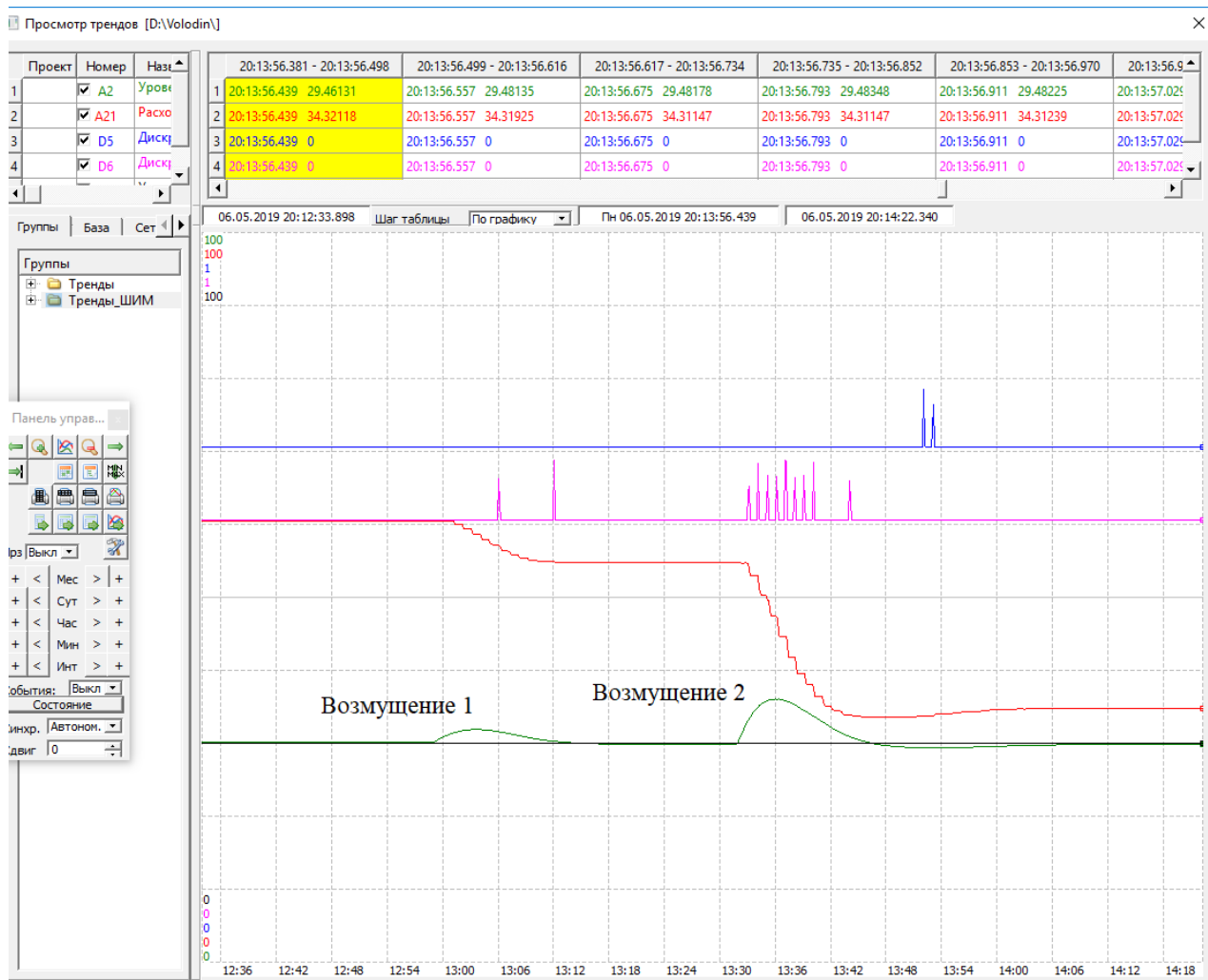


Рисунок 5 – Обработка возмущений САР с ОР интегрального типа

Графики на рисунке 5: зелёный – уровень в основном баке, красный – расход холодной воды, чёрный – уставка регулятора, синий – импульсы ШИМ на открытие задвижки, розовый – импульсы ШИМ на закрытие задвижки.

Показатели качества при возмущении 1: $\delta = 5.3\%$, $\varepsilon = 0$ о.е., $t_{отр} = 13$ с, где δ – перерегулирование, ε – величина рассогласования, $t_{отр}$ – время отработки возмущения. Снижение расхода холодной воды на 5 о.е.

Показатели качества при возмущении 2: $\delta = 11.4\%$, $\varepsilon = 0$ о.е., $t_{отр} = 31$ с, где δ – перерегулирование, ε – величина рассогласования, $t_{отр}$ – время отработки возмущения. Снижение расхода холодной воды на 20 о.е.

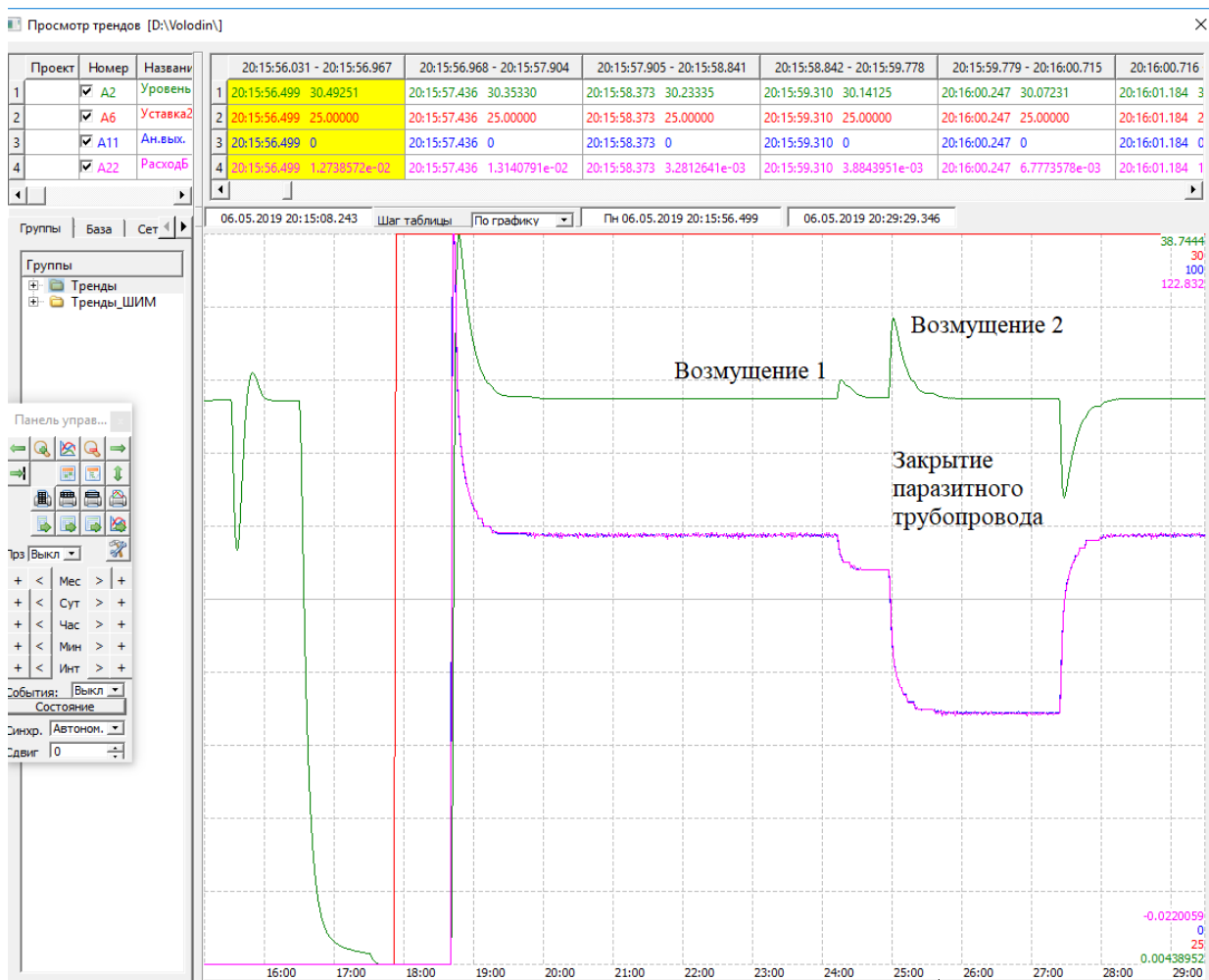


Рисунок 6 – Обработка возмущений САР с ОР пропорционального типа

Графики на рисунке 6: зелёный – уровень в основном баке, красный – уставка регулятора, синий – аналоговый выход МВ100, розовый – расход горячей воды.

Показатели качества при возмущении 1: $\delta = 2.8\%$, $\varepsilon = 0$ о.е., $t_{отр} = 30$ с, где δ – перерегулирование, ε – величина рассогласования, $t_{отр}$ – время отработки возмущения. Снижение расхода горячей воды на 5 о.е.

Показатели качества при возмущении 2: $\delta = 12.5\%$, $\varepsilon = 0$ о.е., $t_{отр} = 53$ с, где δ – перерегулирование, ε – величина рассогласования, $t_{отр}$ – время отработки возмущения. Снижение расхода горячей воды на 13 о.е.

Анализируя тренды исследуемой системы на рисунках 3 и 4, на которых представлен выход на уставку САР с ОР интегрального и пропорционального типов соответственно, видно, что САР с ОР пропорционального типа даёт худшее качество управления (перерегулирование практически 25% при 9% у САР с ОР интегрального типа при приблизительно равном времени регулирования), что выражается в повышенном расходе рабочей среды – это может привести к снижению экономических показателей качества (например, если рабочей средой являются химические реагенты), к повышенным тепломеханическим нагрузкам на технологическое оборудование и к существенным по величине обратным связям объекта управления (например, при неоптимальном перемещении поглощающих стержней системы управления и защиты ядерного реактора усложняется процесс подавления ксеноновых колебаний мощности реактора).

Хуже качество управления САР с ОР пропорционального типа и при отработке малых и больших возмущений – время отработки возмущений системы с ОР данного типа значительно превышает время отработки возмущений системы с ОР интегрального типа (тренды на рисунках 5 и 6).

Таким образом, необходимо на этапе параметрического синтеза регуляторов САР учитывать и тип управляющего воздействия для сокращения времени пусконаладочных работ системы и для повышения экономической/технической эффективности САР.

Список использованных источников

1. Стефани Е.П. Основы расчёта настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. Изд. 2-е, перераб. / Е.П. М.: «Энергия», 1972. 376 с.: ил.
2. Петрова Т.И. и др. Технология организации водно-химического режима атомных электростанций: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 272 с.: ил.

**КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

Гаврина О.А., Горбачев Н.В., Уртаев Г.О.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ,
kluev-roman@rambler.ru

Аннотация: В работе приведены результаты анализа качества электроэнергии в системе электроснабжения предприятия цветной металлургии. Установлено, что снижение уровня высших гармоник в системе электроснабжения может быть обеспечено за счет оптимизации схемных решений системы электроснабжения и внедрения технических средств, в частности узкополосных резонансных фильтров, фильтрокомпенсирующих и фильтросимметрирующих устройств.

Ключевые слова: качество энергии, ток, напряжение, печь.

**COMPLEX ANALYSIS OF INDICATORS OF THE QUALITY OF ELECTRIC
ENERGY IN THE SYSTEM OF ELECTRICAL SUPPLY
OF NON-FERROUS METALLURGY ENTERPRISES**

Gavrina O.A., Gorbachev N.V., Urtaev G.O.

North Caucasian Institute of mining and metallurgy
(State Technological University), Vladikavkaz

Abstract: The paper presents the results of the analysis of the quality of electricity in the power supply system of non-ferrous metallurgy enterprises. It has been established that reducing the level of higher harmonics in the power supply system can be achieved by optimizing the circuit design of the power supply system and introducing technical means, in particular narrow-band resonant filters, filter compensating and filtering devices.

Keywords: energy quality, current, voltage, furnace.

Требования к качеству электроэнергии регламентированы ГОСТ В процессе преобразования, распределения и потребления электроэнергии имеют место искажения формы синусоидальных токов и напряжений. Главной причиной искажений на ОАО «Электроцинк» являются вентильные преобразователи, электродуговые и индукционные печи, генерирующие в СЭС высшие гармоники токов и напряжений.

ВГ вызывают дополнительные потери активной мощности во всех элементах СЭС, ускоренное старение изоляции электродвигателей, трансформаторов, кабелей, ухудшается коэффициент мощности, нарушается работа устройств автоматики, компьютерной техники, счетчиков электроэнергии.

Из-за ускоренного старения изоляции за короткий срок выходят из строя конденсаторные батареи.

Для ОАО «Электроцинк» с большим удельным весом нелинейных нагрузок (около 70%) исследование КЭ и влияния ВГ на надежность работы электрооборудования является важной и актуальной проблемой.

Кафедрой ЭПП СКГМИ (ГТУ) частично выполнены исследования КЭ и ВГ по 6-ти и 12-ти фазным вентильным преобразователям, индукционным и дуговым шликерным печам.

Измерение показателей КЭ проводились с помощью прибора ПКК-57 на ГПП «Э-1», «Э-2» и на цеховых подстанциях завода. Получены значения тока, напряжения, мощности, расхода активной и реактивной энергии, коэффициентов мощности индуктивной и емкостной нагрузки, значения коэффициентов несинусоидальности и спектральный состав по напряжению и току по 11-и регулируемым 6-ти и 12-ти фазным вентильным преобразователям, 5-и индукционным и 2-м дуговым печам.

В качестве примера по выпрямительному агрегату ВК-11, спектральный состав по току и напряжению по всем фазам представлен в таблице 1.

Таблица 1

Номер гармоники, n	Спектральный состав				
	по току, ($\frac{I_n}{I_1}, \%$)			по напряжению, ($\frac{U_n}{U_1}, \%$)	
	Фаза А	Фаза В	Фаза С	U ₁₂	U ₂₃
1	100	100	100	100	100
3	-	-	-	-	-
5	24,88	24,44	25,86	1,09	1,02
7	-	-	-	1,22	1,1
9	-	-	-	-	-
11	-	-	-	1,8	1,73
13	-	-	-	1,86	1,85

Из табл. 1 видно, что в выпрямительном агрегате появляются высшие гармоники по току (3-я), по напряжению (5, 7, 11, 13).

По индукционным печам электролитного цеха измерения проведены при включенных и отключенных батареях статических конденсаторов (БСК). Результаты по индукционной печи №1 приведены на рис. 1, 2.

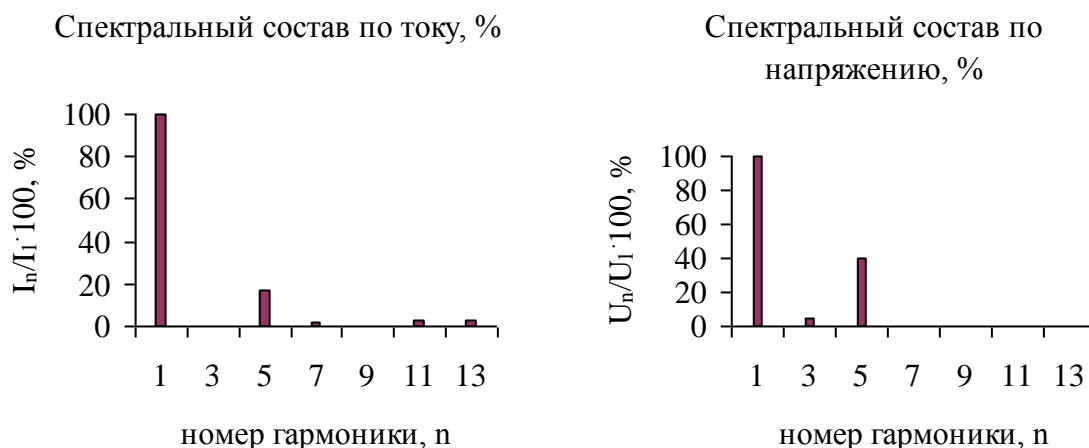


Рисунок 1 – Спектры токов и напряжений при включенных БСК



Рисунок 2 – Спектр напряжений при отключенных БСК

Из рис. 1, 2 видно, что при выключении БСК на индукционных печах возникают помимо 3-й и 5-й гармоник по напряжению – 7, 11, 13, 17, 19 гармоники, процентное содержание которых составляет от 0,6% до 2,55%. При включенных БСК процентное содержание 3-й гармоники – 4,78%, 5-й – 40,22%.

Проведены измерения по шликерным печам свинцового отделения. Так, по печи №1 результаты представлены на рис. 3.

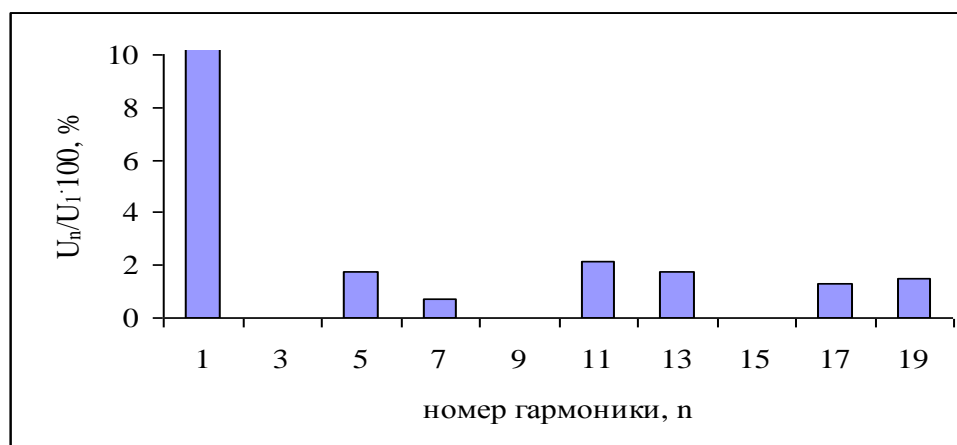


Рисунок 3 – Спектр напряжений шликерной печи

Для шликерных печей характерно влияние 5, 7, 11, 13, 17, 19-й гармоник по напряжению; по току – высших гармоник не наблюдается.

Результаты предварительных исследований КЭ и ВГ позволяют сделать следующие выводы:

1. СЭС ОАО «Электроцинк» перегружена ВГ, уровень которых по отдельным источникам ВГ значительно превышает допустимые значения по ГОСТ 13109-97 (п. 5.4).

2. Наличие ВГ в СЭС существенно снижает надежность и срок работы электрооборудования. Так, снижение среднего времени наработки на отказ составляет: для силовых трансформаторов до 10÷15%, двигателей до 20%, кабелей до 30÷50%, конденсаторных батарей до 100%.

3. Снижение уровня ВГ в СЭС может быть обеспечено за счет оптимизации схемных решений СЭС и внедрения технических средств, в частности узкополосных резонансных фильтров, фильтрокомпенсирующих (ФКУ) и фильтросимметрирующих (ФСУ) устройств.

4. На основании технико-экономического анализа электрооборудования в СЭС ОАО «Электроцинк» установлено, что ожидаемый экономический эффект от снижения уровня ВГ составляет 8-9 млн. рублей.

5. Рекомендуется продолжить работу по теме исследования с последующей передачей результатов работы для внедрения в ОАО «Электроцинк».

Перечень исследованных объектов ОАО «Электроцинк»

ВК-2 (фидер Э121).

ВК-7.

ВК-5.

СД (п/ст 14, фидер Э106).

АСД (п/ст 2А, фидер Э110).

Индукционные печи №1, 2, 3, 4, 6 (электролитный цех).

Фидер ввода №2, ячейка 4 (Ф-Э232 от ГПП «Э-2») (ИЦ-1, 2, 6 – работают, ИЦ-3, 4 – выключены).

Шликерная печь №1 (п/ст 13, фидер 1316).

Шликерная печь №2 (п/ст 12).

Дымосос №2 (п/ст 12, Ф1220).

БСК-2 (п/ст 13, фидер 1312).

Ввод №2 от п/ст «Э-2», ячейка 7, фидер Э207.

П/ст №4, ввод, Ф0803 от п/ст №8 (вельцех).

П/ст №4, Ф0406, трансформатор 1 (вельцех).

П/ст №4, Ф0405, трансформатор 2 (вельцех).

П/ст №5, фидер 0503, трансформатор Т2.

П/ст 2А, ввод №1, фидер Э110 от ГПП «Э-1».

«Э-2», ВЛ-101, фидер Э201, трансформатор Т1.

«Э-2», ВК-10, фидер Э229.

«Э-2», ВК-11, фидер Э227.

Результаты аналогичных исследований представлены в [1-24].

Список использованных источников

1. Ключев Р.В. Исследование несинусоидальных режимов возникающих в процессе нагрева водорода в электрических печах на предприятиях твердосплавного производства // Труды молодых ученых, вып. 2, Владикавказский научный центр РАН и Правительства РСО-А, Владикавказ, 2009, с. 55-62.

2. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Васильев Е.И. Определение фактического вклада потребителя и системы в несинусоидальность напряжений предприятий цветной металлургии на основе активного эксперимента – включения трансформаторов на параллельную работу // Аудит и финансовый анализ, №4, 2011, с. 464-467.

3. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Котова О.А. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения с нелинейными нагрузками // *Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения»*, 2011, Дагестан, с. 31-38.
4. Ключев Р.В. Анализ электропотребления на предприятиях цветной металлургии // *Известия вузов. Электромеханика*. 2012. №2. С.65-67.
5. Ключев Р.В., Пожиганов А.Н. Исследование качества электроэнергии при производстве твердых сплавов // *Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых, Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО УГТУ-УПИ*, 2012, с. 133-136.
6. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch., Madaeva M.Z. Rank analysis of higher harmonics voltage spectrum of metallurgy enterprises. *Advances in Engineering Research*, volume 182. VIII All-Russian Science and Technology Conference "Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus" (CIGGG 2018). Atlantis Press. pp. 169-174.
7. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Sokolov A.A., Madaeva M.Z., Khadzhiev A.A. Experimental and analytical study of highest harmonic components of voltage of industrial enterprises. *Advances in Engineering Research*, volume 182. VIII All-Russian Science and Technology Conference "Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus" (CIGGG 2018). Atlantis Press. pp. 175-179.
8. Гаврина О.А., Маркин А.С. Электробалансы и повышение эффективности режимов электропотребления промышленных предприятий // В сборнике: *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Материалы конференции*. 2017. С. 515-518.
9. Ключев Р.В., Гаврина О.А. Задачи построения единой промышленно-энергетической системы // В сборнике: *Наука, образование, общество: актуальные вопросы и перспективы развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 4 частях. ООО «АР-Консалт»*. 2015. С. 68-69.
10. Ключев Р.В., Котова О.А., Гаврина О.А. Результаты эффективного управления единой промышленно-энергетической системой в горных территориях // В сборнике: *Кибернетика энергетических систем Сборник материалов XXXVII сессии семинара*. 2015. С. 9-12.
11. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Лысоконь Э.С., Тараник А.В. Результаты проведения энергоаудита в системе электроснабжения водоснабжающего предприятия РСО-АЛЛАНИЯ // В сборнике: *WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS сборник статей XIX Международной научно-практической конференции* : в 3 ч.. 2018. С. 175-179.
12. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Лагкуев Д.Х., Теблов С.К., Цакоев М.Т. Использование нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии в учебном процессе кафедры "Электроснабжение промышленных предприятий" при подготовке магистров // В сборнике: *Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина*. 2017. С. 827-831.
13. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Джиникаев А.О., Икаев А.Э., Теблов С.К. Использование ветроэлектростанции для электроснабжения потребителей в горных территориях // В сборнике: *Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И.*

(1945–2015) – Даниловских чтений. Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. 2017. С. 756-759.

14. Гаврина О.А., Босиков И.И., Берко И.А. Разработка методов по улучшению использования электрооборудования природно-промышленной системы горно-перерабатывающего комплекса // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 2 (82). С. 12-19.

15. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В. Экспертно-кластерный анализ технологических показателей на предприятиях по производству твердых сплавов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. №4 (84). С. 15-22.

16. Сидоров Д.В., Гаврина О.А., Берко И.А., Галкина О.Ю. Обзор методов построения математических моделей статических режимов для управления непрерывными технологическими процессами // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 4. № 12. С. 9-12.

17. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Цомаев С.М., Чехов З.Р. Расчет дистанционной защиты воздушных линий напряжением 110 кВ // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. 2016. С. 295-298.

18. Гаврина О.А., Ключев Р.В., Лысоконь Э.С., Гудиев Т.Т. Анализ потерь электроэнергии в распределительных сетях 6 кВ предприятия нефтегазовой отрасли // В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 407-410.

19. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A. Development of mathematical model for specific power consumption of resistance furnaces at non-ferrous metallurgy enterprises // В сборнике: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) electronic edition. 2018. С. 8501831.

20. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch. System analysis of power consumption by nonferrous metallurgy enterprises on the basis of rank modeling of individual technocenosis castes // В сборнике: MATEC Web of Conferences 2018. С. 04018.

21. Гаврина О.А., Бестаев А.С., Бигаев Р.К. Результаты проведения комплексного теплоэнергетического обследования горно-металлургического предприятия // В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей XIX Международной научно-практической конференции : в 2 ч.. 2019. С. 86-90.

22. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Кортиев Р.А. Система анализа надежности промышленно-технической системы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 66-74.

23. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В., Лысоконь Э.С. Концепция функционирования единой промышленно-энергетической системы в горных территориях // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 55-65.

24. Босиков И.И., Цидаев Б.С., Гаврина О.А. Разработка методов для повышения эффективности оценки, анализа и разработки месторождений железистых кварцитов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № S25. С. 162-170.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ РСО-АЛАНИЯ

Гаврина О.А., Лысоконь Э.С. Видищев В.Н.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ,
kluev-roman@rambler.ru

Аннотация: В работе приведены расчеты по бору ветроэнергетической установки для электроснабжения потребителей в горных территориях РСО-Алания. При расчёте ветроэлектростанции учтено изменение скорости ветра с увеличением высоты над поверхностью земли, а также изменение мощности ветроустановки при разных скоростях ветра, проведена оценка экономических характеристик.

Ключевые слова: ветрогенератор, срок окупаемости, электростанция.

USE OF WIND POWER PLANTS FOR ELECTRICAL SUPPLY OF CONSUMERS OF RNO-ALANIA

Gavrina O.A., Lysokon E.S. Vidishev V.N.

*North Caucasian Institute of mining and metallurgy
(State Technological University), Vladikavkaz*

Abstract: *The paper presents the calculations for the boron wind power plant for power supply to consumers in the mountainous territories of North Ossetia-Alania. When calculating the wind farm, the change in wind speed with increasing height above the ground, as well as the change in wind power at different wind speeds was taken into account, and economic characteristics were evaluated.*

Keywords: *wind generator, payback period, power plant.*

На сегодняшний день ветроэнергетика является одним из самых востребованных способов использования альтернативных источников энергии. Однако несмотря на благоприятные природные условия и большую привлекательность ветроэнергетики, в России до сих пор практически нет ни огромных ветропарков, ни единичных ВЭС вокруг сельских поселков и дачных участков.

В работе будут рассмотрены вопросы расчета ветровой электростанции (ВЭС), обеспечивающей основную подачу электроэнергии для потребителей в горных территориях [1-18]; произведен расчет и выбор ветроэнергетической установки (ВЭУ), обеспечивающей основную подачу электроэнергии с необходимым качеством, напряжением 220 и 380 В и частотой 50 Гц для потребителей в горных территориях РСО-Алания.

Ветроустановка будет рассчитана для села Ахсарисар, расположенного на правом берегу реки Урух, Находится в 9 км к юго-западу от районного центра - Чикола и в 80 км к западу от Владикавказа, у входа в Дигорское ущелье.. Село входит в состав РСО-Алания. Численность постоянного населения по состоя-

нию на 1 января 2019 года составила 361 человек (50 домов). В селе есть больница, школа, детский сад, дом культуры, отделение связи.

Наибольшая среднегодовая скорость ветра по РСО-А наблюдалась в с. Даргавс, поэтому расположим проектируемую ВЭС именно там. Был выбран ветрогенератор CondorAir номинальной мощностью 15, 18, 20, 30 и 50 кВт.

Были рассчитаны мощности, развиваемые рассматриваемыми ветрогенераторами при среднегодовой скорости ветра $v_{cp} = 7 \text{ м/с}$ ($C_p = 0,45$; $\eta = 0,9$), а также рассчитано необходимое количество и стоимость ветряков. Данные расчёта представлены в таблице 1. Наиболее оптимальным вариантом является ВЭУ мощностью 18 кВт. В табл. 1. представлены данные для выбора ветрогенератора.

Таблица 1

Ветрогенератор	P_n , кВт	Диаметр ветроколеса D, м	$P_{ВЭУ}$ при $v=7 \text{ м/с}$	Кол-во ВЭУ, N	Мощность, развиваемая N ВЭУ $P_{общ}$, кВт	Стоимость, млн руб.	Общая стоимость, млн руб.
CondorAir 380-15	15	9,5	5,93	16	94,8	0,935	14,96
CondorAir 380-18	18	11,0	7,94	12	95,3	1,155	13,86
CondorAir 380-20	20	11,5	8,68	11	95,5	1,320	14,52
CondorAir 380-30	30	13,0	11,1	9	99,9	1,790	16,11
CondorAir 380-50	50	14,5	13,8	7	96,6	2,850	19,95

Выбор ветрогенератора

Суммарная суточная выработка ВЭУ составит:

$$E_{\text{сут.ВЭУ}} = 12 \cdot P_{\text{ВЭУ}} \cdot T = 12 \cdot 7,94 \cdot 24 = 2287,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч.} \quad (1)$$

Это полностью обеспечивает суточное энергопотребление объекта. Выбираем ветрогенератор с горизонтальной осью вращения CONDORAIRWES 380/50-18, характеристики которого представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики ветрогенератора CONDORAIRWES 380/50-18

Диаметр ветроколеса, м	11
1	2
Высота лопасти, м	5,5
Номинальное число оборотов, об/мин	25-30
Номинальная мощность, кВт	18
Максимальная мощность, кВт	19

Стартовая скорость ветра, м/с	2,5
Номинальная скорость ветра, м/с	9
Рабочая скорость ветра, м/с	3-20
Защита от ураганных ветров	автоматическая
Автоматическое ориентирование на ветер	да
Высота мачты, м	18
Масса ВЭС (без мачты), кг	1300
Количество лопастей	3
Коэффициент использования энергии ветра	> 0,42
Тип генератора	трехфазный генератор на постоянных магнитах
Частота генератора, Гц	0-50
Ток с генератора	Переменный
Номинальный ток, А	70
Максимальный ток, А	85
Напряжение с генератора min-max, В	170-420
КПД	> 0,85
Уровень шума не более, Дб	55
Предельная скорость ветра, м/с	35

Проведём расчёт требуемых сечений кабеля от ВЭУ до щита управления.
Ток кабеля ВЭУ № 1, 5, 9 при максимальной мощности:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{18000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 27,4 \text{ А.} \quad (2)$$

Ток от каждого следующего ветроагрегата будет удваиваться вследствие увеличения протекающей по нему мощности в 2 раза [12]. Тогда ток от ВЭУ № 2, 6, 10:

$$I = \frac{2 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2 \cdot 18000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 54,7 \text{ А.} \quad (3)$$

Ток кабеля ВЭУ № 3, 7, 11:

$$I = \frac{3 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{3 \cdot 18000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 82,1 \text{ А.} \quad (4)$$

Ток кабеля ВЭУ № 4, 8, 12:

$$I = \frac{4 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4 \cdot 18000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 109,4 \text{ А.} \quad (5)$$

Выбираем четырёхжильный кабель марки ВВГ сечением 3, 10, 25 и 35 мм² с длительно допустимым током $I_{\text{доп}} = 28, 60, 100$ и 125 А.

Условие: $I_{\text{доп}} > I_{\text{расч}}$ выполняется для всех выбранных кабелей.

Для оценки экономических характеристик ветроэлектростанции C ведём всё оборудование в таблицу с указанием стоимости. Общие капиталовложения K составляют 40 651 254 рубля (таблица 3).

Рассчитаем себестоимость электроэнергии, производимой проектируемой ВЭС:

$$C_{эл} = \frac{P_n \cdot K + C}{W} \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}, \quad (6)$$

где P_n – нормативный коэффициент рентабельности;

K – общие капиталовложения;

C – общегодовые эксплуатационные расходы;

W – общее количество электроэнергии, вырабатываемой ВЭС в течение года.

Учитывая, что экономический срок службы оборудования T составляет 20 лет, нормативный коэффициент рентабельности:

$$P_n = \frac{1}{T} = \frac{1}{20} = 0,05. \quad (7)$$

Таблица 3

Экономические характеристики ветроэлектростанции

№	Номенклатура товара	Кол-во, шт.	Цена за шт., руб.	Сумма, руб.
1	Ветрогенератор <i>CONDOR AIRWES 380/50-18</i>	12	1 155 000	13 860 000
2	АКБ <i>EnergyWind 48-400</i>	119	161 040	19 163 760
3	Инвертор <i>DS492V THDx 3 фазы</i>	1	687 000	687 000
4	Стеллаж для АКБ <i>500мм*700мм*500мм* 2 полки</i>	5	2 550	12 750
5	Кабель			152 535
Итого оборудование				33 876 045
6	Строительно-монтажные работы (20 % от стоимости оборудования)			6 775 209
Итого				40 651 254

Общегодовые эксплуатационные расходы C рассчитываются как сумма годовых расходов на эксплуатацию ВЭС $C_{экс}$ и на плановый ремонт $C_{рем}$. Для эксплуатации ВЭС необходимо 36 специалистов со средней заработной платой 25 000 рублей в месяц, что составит 900 000 рублей в год. Затраты на текущий ремонт могут быть приняты в размере 1 % от стоимости оборудования, то есть 4 065 125 рублей в год. Тогда:

$$C = C_{экс} + C_{рем} = 900000 + 4065125 = 4965125 \text{ руб.} \quad (8)$$

Общее количество электроэнергии, вырабатываемой ВЭС в течение года:

$$W = 365 \cdot E_{\text{сум.ВЭУ}} = 365 \cdot 2287,2 = 834828 \text{ кВт}\cdot\text{ч.} \quad (9)$$

Себестоимость электроэнергии, производимой ВЭС составит:

$$C_{эл} = \frac{0,05 \cdot 40651254 + 4965125}{834828} = 8,4 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч.}$$

Рассчитаем срок окупаемости ВЭС:

$$T_{окуп} = \frac{K + C \cdot T}{P}, \quad (10)$$

где P – прибыль без вычета затрат на покупку ВЭС, рассчитывается из стоимости электроэнергии в данном районе (стоимость 1 кВт·ч электроэнергии для сельских жителей РСО – Алания составляет 2,64 рубля) и общего количества электроэнергии, вырабатываемого ВЭС в течение года W :

$$P = 2,64 \cdot W \cdot T = 2,64 \cdot 834828 \cdot 20 = 44078918 \text{ руб.} \quad (11)$$

Тогда срок окупаемости составит:

$$T_{окуп} = \frac{40651254 + 4965125 \cdot 20}{44078918} = 3,2 \text{ года.}$$

При расчёте ветроэлектростанции учтено изменение скорости ветра с увеличением высоты над поверхностью земли, а также изменение мощности ветроустановки при разных скоростях ветра, проведена оценка экономических характеристик.

Список использованных источников

1. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Босиков И.И., Лысоконь Э.С. Энергообеспечение потребителей за счет использования солнечных электростанций // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли». Том III (Альметьевск, 14-17 ноября 2018 г.). - Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2018. С. 403-407.
2. Гаврина О.А., Маркин А.С. Электробалансы и повышение эффективности режимов электропотребления промышленных предприятий // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Материалы конференции. 2017. С. 515-518.
3. Ключев Р.В., Гаврина О.А. Задачи построения единой промышленно-энергетической системы // В сборнике: Наука, образование, общество: актуальные вопросы и перспективы развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 4 частях. ООО «АР-Консалт». 2015. С. 68-69.
4. Ключев Р.В., Котова О.А., Гаврина О.А. Результаты эффективного управления единой промышленно-энергетической системой в горных территориях // В сборнике: Кибернетика энергетических систем Сборник материалов XXXVII сессии семинара. 2015. С. 9-12.
5. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Лысоконь Э.С., Тараник А.В. Результаты проведения энергоаудита в системе электроснабжения водоснабжающего предприятия РСО-АЛАНИЯ //

В сборнике: WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS сборник статей XIX Международной научно-практической конференции : в 3 ч.. 2018. С. 175-179.

6. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Лагкуев Д.Х., Теблов С.К., Цакоев М.Т. Использование нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии в учебном процессе кафедры "Электроснабжение промышленных предприятий" при подготовке магистров // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. 2017. С. 827-831.

7. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Джиникаев А.О., Икаев А.Э., Теблов С.К. Использование ветроэлектростанции для электроснабжения потребителей в горных территориях // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. 2017. С. 756-759.

8. Гаврина О.А., Босиков И.И., Берко И.А. Разработка методов по улучшению использования электрооборудования природно-промышленной системы горно-перерабатывающего комплекса // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 2 (82). С. 12-19.

9. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В. Экспертно-кластерный анализ технологических показателей на предприятиях по производству твердых сплавов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. №4 (84). С. 15-22.

10. Сидоров Д.В., Гаврина О.А., Берко И.А., Галкина О.Ю. Обзор методов построения математических моделей статических режимов для управления непрерывными технологическими процессами // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 4. № 12. С. 9-12.

11. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Цомаев С.М., Чехов З.Р. Расчет дистанционной защиты воздушных линий напряжением 110 кВ // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. 2016. С. 295-298.

12. Гаврина О.А., Ключев Р.В., Лысоконь Э.С., Гудиев Т.Т. Анализ потерь электроэнергии в распределительных сетях 6 кВ предприятия нефтегазовой отрасли // В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 407-410.

13. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A. Development of mathematical model for specific power consumption of resistance furnaces at non-ferrous metallurgy enterprises // В сборнике: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) electronic edition. 2018. С. 8501831.

14. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch. System analysis of power consumption by nonferrous metallurgy enterprises on the basis of rank modeling of individual technocenosis castes // В сборнике: MATEC Web of Conferences 2018. С. 04018.

15. Гаврина О.А., Бестаев А.С., Бигаев Р.К. Результаты проведения комплексного теплоэнергетического обследования горно-металлургического предприятия // В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей XIX Международной научно-практической конференции : в 2 ч.. 2019. С. 86-90.

16. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Кортиев Р.А. Система анализа надежности промышленно-технической системы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 66-74.

17. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В., Лысоконь Э.С. Концепция функционирования единой промышленно-энергетической системы в горных территориях // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 55-65.

18. Босиков И.И., Цидаев Б.С., Гаврина О.А. Разработка методов для повышения эффективности оценки, анализа и разработки месторождений железистых кварцитов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № S25. С. 162-170.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Дубинин В.Н.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), г. Владикавказ,
dubinin_vn@mail.ru

Аннотация: В работе рассмотрен вопрос энергосбережения путём компенсации реактивной мощности. Проведён системный анализ основных мероприятий естественной и искусственной компенсации, с определением их позитивных и негативных эффектов – в зависимости от условий их реализации. Описано влияние естественной компенсации на срок службы электрооборудования и надёжность работы (трансформаторы и асинхронные двигатели), и на качество электроэнергии (трансформаторы). Приведён пример неэффективности комплексного решения проблем энергосбережения – с помощью многофункционального энергосберегающего мероприятия (гибридный фильтр высших гармонических). Сделаны выводы о необходимости комплексного подхода к энергосбережению.

Ключевые слова: энергосбережение, компенсация реактивной мощности, оптимизация загрузки, надёжность работы, срок службы, качество электроэнергии.

SYSTEM ANALYSIS OF ENERGY SAVING IN INDUSTRY

Dubinin V.N.

*North Caucasian Institute of mining and metallurgy
(State Technological University), Vladikavkaz*

Abstract: *The paper considers the issue of energy saving by compensating reactive power.*

A system analysis of the main measures of natural and artificial compensation, with the definition of their positive and negative effects – depending on the conditions of their realization are made. The effect of natural compensation on the service life of electrical equipment and reliability of operation (transformers and asynchronous motors) and on the quality of electric power (transformers) is described. An example of the inefficiency of the integrated solution to the problems of energy saving is given – with the help of a multifunctional energy saving measure (hybrid filter a higher harmonic). The conclusions about the need for an integrated approach to energy saving are made.

Key words: *energy saving, reactive power compensation, load optimization, reliability of operation, service life, quality of electric power.*

В настоящее время очень актуален вопрос энергосбережения – ввиду продолжающегося увеличения электропотребления, так как энергосбережение требует меньше затрат финансов, чем увеличение генерации электроэнергии (ЭЭ). Это объясняется тем, что энергосбережение касается, в основном, лишь только этапа потребления ЭЭ. А расширение генерации ЭЭ касается не только этапа генерации, но и этапа передачи ЭЭ (её технической возможности), а именно этот этап – тоже важен, ведь он тоже определяет объём генерируемой ЭЭ (её возможной передачи).

Исходя из статистики [1], самыми распространёнными энерго-сберегающими мероприятиями в промышленности являются организационные, так как они обладают меньшим сроком окупаемости (зачастую – ввиду малых затрат финансов), что и снижает риски вложения финансов. Но, при этом не всегда учитываются изменения характеристик энергосберегающих мероприятий (износ и надёжность работы). Кроме того, важен учёт и фактического срока службы энергосберегающих мероприятий (именно в текущих условиях эксплуатации), ведь мероприятия с малым фактическим сроком службы (особенно при их последовательном присоединении) – снижают надёжность работы системы электроснабжения (СЭС). Т.е. у таких мероприятий изменяются соотношения времени второго этапа эксплуатации с высокой надёжностью работы (нормальная эксплуатация) и времени первого и третьего этапов эксплуатации с малой надёжностью работы (соответственно – этапы приработки и интенсивного износа) [2]. Это и является последствием малого срока службы (сокращается время периода второго этапа эксплуатации), что и снижает общую надёжность работы СЭС во время эксплуатации таких энергосберегающих мероприятий.

К основным организационным мероприятиям относятся именно оптимизация нагрузок асинхронных двигателей (АД) и трансформаторов – т.е. естественная компенсация реактивной мощности (РМ). Это объясняется тем, что компенсация РМ обладает значительным потенциалом энергосбережения и 60-80% потребления РМ – это следствие эксплуатации трансформаторов и АД [3]. В промышленности средняя РМ составляет примерно 90% активной мощности, а при некоторых технологических процессах может достигать и 117%, что и влечёт за собой немалые потери активной мощности (рис. 1) [4].

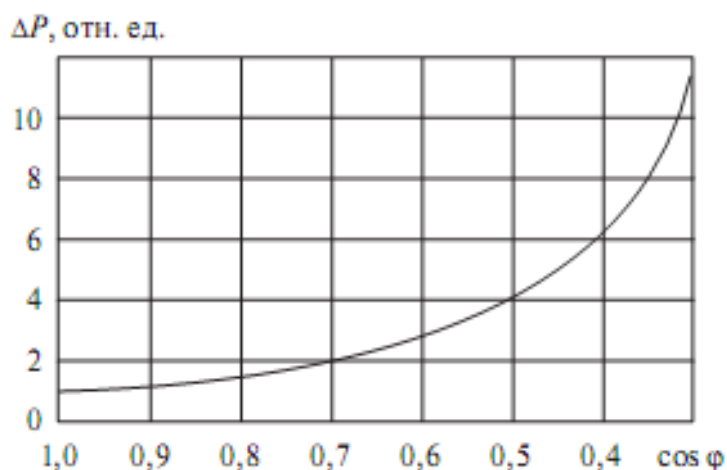


Рисунок 1 – Влияние $\cos \varphi$ на относительные потери активной мощности

Однако при оптимизации загрузки АД и трансформаторов также необходимо учитывать факты её зависимости от качества ЭЭ (КЭ) [5] и влияния на интенсивность отказа (рис. 2 [6]), что приводит к снижению надёжности работы и уменьшению срока службы.

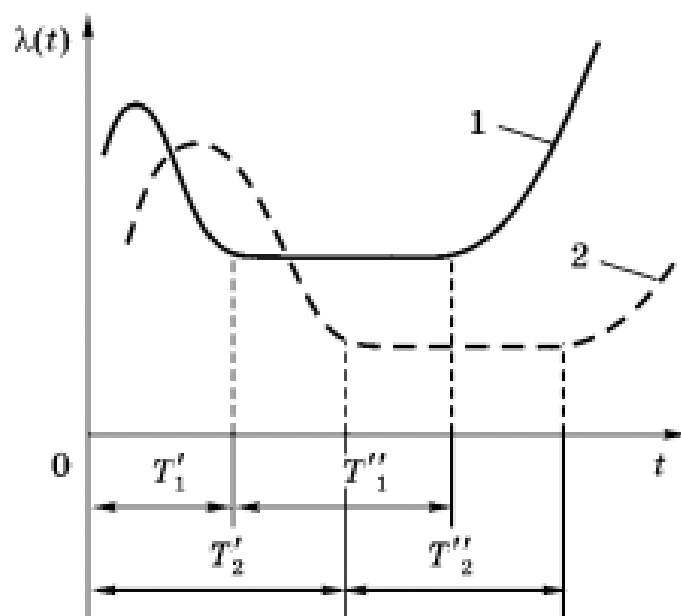


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности отказа электрических аппаратов от загрузки (1 – номинальный режим; 2 – недогруженный режим)

Оптимизация загрузки трансформатора путём его замены на менее мощный – наиболее эффективна при его высокой изношенности (т.е. замена изношенного трансформатора на новый, меньшей мощности). Это не только снижает потери ЭЭ, но и повышает надёжность его работы и снижает затраты финансов на эксплуатацию – в связи с обновлением трансформатора. А вот отключение одного из двух параллельно работающих трансформаторов при снижении нагрузки – не всегда эффективно. Здесь обычно сравнивают нагрузочные потери ЭЭ и потери ЭЭ холостого хода. Но при этом нужно ещё учитывать перенапряжения при отключении трансформатора без нагрузки (рис. 3 [7]) – ведь это приводит к снижению срока службы трансформатора и выключателей.

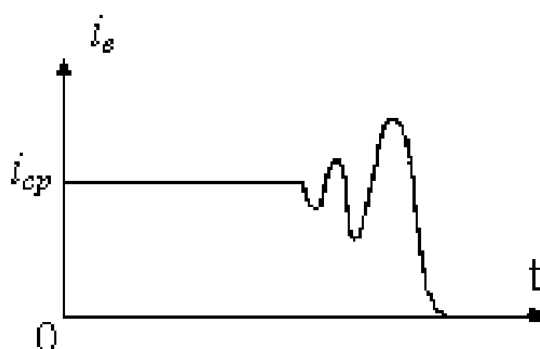


Рисунок 3 – Изменение тока в выключателе при отключении трансформатора без нагрузки

Кроме того, при отключении одного из двух трансформаторов, работающих параллельно, снижается общая мощность источника питания (мощность короткого замыкания), что в определённых случаях (наличие больших нели-

нейных, несимметричных и резкопеременных нагрузок – что характерно для промышленности и особенно металлургии) приводит к снижению КЭ [8] и соответственно, к увеличению потерь ЭЭ на этапе потребления и снижению срока службы потребляющего электрооборудования. Кроме того, при этом снижается и функциональная надёжность работы СЭС, так как при отключении одного из двух трансформаторов в структуре функциональной цепи работы СЭС появляется дополнительное последовательное звено – автоматическое включение резерва (АВР). И тогда надёжность работы СЭС уже зависит не только от надёжности работы трансформаторов и питающих линий, но и от надёжности срабатывания АВР и успешности включения второго трансформатора.

А оптимизация загрузки АД реализуется, в основном:

- заменой на менее мощный АД;
- внедрением частотно-регулируемого привода (ЧРП).

При этом эффективность таких мероприятий тоже значительно зависит от условий их реализации. Замена на менее мощный АД – также наиболее эффективна при замене изношенного АД (снижение потерь ЭЭ и затрат финансов на эксплуатацию). А внедрение ЧРП – эффективно именно при необходимости регулировки и поддержания стабильности давления, потока, скорости и т.д. ЧРП также обеспечивает плавный пуск АД, что исключает отклонения напряжения в питающей сети – при пуске АД. Но при этом ЧРП является источником высших гармонических (ВГ) [9] (что плохо для СЭС), чувствителен к провалам напряжения [10] и не обеспечивает высокое КЭ в питании АД (при ВГ и несимметрии напряжения на этапе распределения ЭЭ – что актуально для промышленности), а это приводит к увеличению потерь ЭЭ в АД и к снижению его срока службы.

А искусственная компенсация РМ (батареи статических конденсаторов (БСК), фильтры ВГ и др.) повышает и КЭ в питании АД:

- сглаживает провалы напряжения (накоплением ЭЭ);
- снижает ВГ (фильтрацией);
- снижает отклонения напряжения (регулировкой степени компенсации РМ);
- снижает несимметрию напряжения (пофазной компенсацией РМ).

И эффективность такой искусственной компенсации РМ тоже значительно зависит от места реализации – ввиду изменения соотношений технического и экономического эффектов её реализации [11].

При этом внедрение БСК может привести к возникновению резонанса (при наличии ВГ), что и снижает надёжность работы СЭС. Поэтому необходимо решать и проблему ВГ – что важно и полезно не только для БСК, но и для распределительной СЭС (исключение износа электрооборудования и потерь ЭЭ). Тогда такое комплексное решение и обеспечит структурность энергосбережения [12], с реализацией его максимального возможного потенциала. Такое решение может быть реализовано многофункциональным мероприятием – в виде гибридного фильтра [5] (фильтрация ВГ и компенсация РМ). Но при этом необходимо учитывать, что в некоторых случаях многофункциональные меро-

приятия тоже не всегда эффективны – так как не всегда могут быть задействованы все их функции, и некоторые из их функций также могут быть менее эффективны в сравнении с функциями отдельных однофункциональных мероприятий. В качестве примера, рассмотрим вариант компенсации РМ (гибридным фильтром ВГ) для АД – при протяжённой радиальной питающей линии от подстанции (ПС) с проблемой ВГ в вышестоящей распределительной сети:

- при индивидуальной компенсации (ИК) РМ непосредственно у АД (рис.4 а)) – снижается поток РМ, но не снижаются ВГ в питающей линии.
- при компенсации РМ на шинах питающей ПС (рис.4 б)) – в этой питающей линии снижается ВГ, но не снижаются потоки РМ.

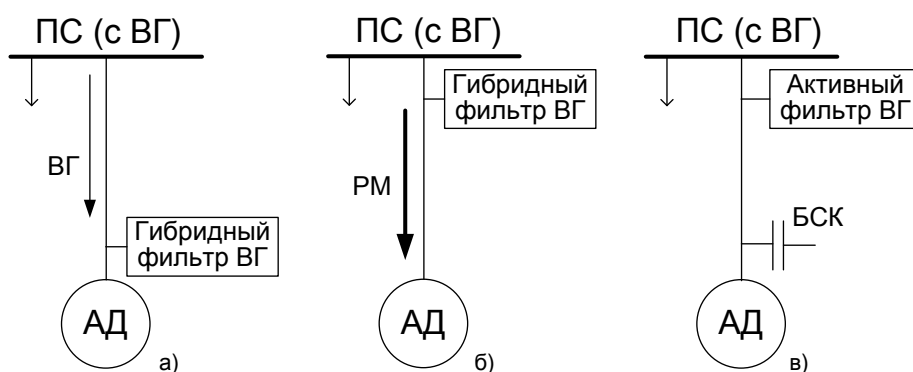


Рисунок 4 – Варианты компенсации РМ для АД с радиальной питающей линией

Поэтому, в данном случае всё же лучше решить эти проблемы отдельно, с помощью однофункциональных мероприятий (рис.4 в)) – БСК (ИК РМ) и активный фильтр (фильтрация ВГ на шинах ПС).

Кроме того, многофункциональные мероприятия не совсем надёжны, так как при их отказе происходит исчезновение сразу нескольких результатов их функций – т.е. немалый масштаб отказа (в отличие от однофункциональных). Это особенно важно на этапе проектирования СЭС – ведь это повлечёт за собой перегрузку элементов СЭС, рассчитанных с учётом уже реализуемых функций этих многофункциональных мероприятий. А на этапе эксплуатации это уже не так важно: при отказе – будет лишь "возврат" к штатной предыдущей ситуации в СЭС (до внедрения многофункционального мероприятия), если это не сопровождалось изменениями в вышестоящих звеньях СЭС. А вот оптимизация загрузки трансформаторов или АД (изменение схемной реализации – путём снижения их мощностей) – уже не обладает таким явным эффектом "возврата", но при этом и не влечёт за собой увеличение составляющих элементов СЭС. А вот искусственная компенсация РМ приводит к увеличению числа элементов в СЭС, что также повышает вероятность возникновения аварийных ситуаций в СЭС (увеличение числа точек вероятного возникновения короткого замыкания).

В связи с этим, необходим комплексный подход для выбора энергосберегающих мероприятий – с учётом текущей и прогнозируемой ситуации в СЭС и условий эксплуатации (как самих энергосберегающих мероприятий, так и дру-

гого электрооборудования СЭС), что тогда и приведёт к реализации максимально возможного потенциала энергосбережения и повышению общей эффективности электроснабжения в промышленности.

Список использованных источников

1. Зайцев В.В., Сайкина Л.Б. Реализация политики энергосбережения в промышленности. // Энергосовет, 2013. № 3(28), май-июнь. С. 63-71.
2. Александров Д.С., Щербаков Е.Ф. Надёжность и качество электроснабжения предприятий: учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 155 с.
3. Беляевский Р.В. Вопросы компенсации реактивной мощности: учебное пособие [Электронный ресурс]. – Кемерово: КузГТУ, 2011. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с экрана. – 132 с.
4. Шведов Г.В., Сипачева О.В., Савченко О.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / под ред. Ю.С. Железко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.
5. Жежеленко И.В., Шидловский А.К., Пивняк Г.Г., Саенко Ю.Л., Нойбергер Н.А. Электромагнитная совместимость потребителей. Монография – М.: Машиностроение, 2012. – 351 с.
6. Аполлонский С.М., Куклев Ю.В. Надёжность и эффективность электрических аппаратов: учебное пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2011. – 448 с.
7. Халилов Ф.Х. Классификация перенапряжений. Внутренние перенапряжения. Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Издание НОУ “Центр подготовки кадров энергетики”, 2012. – 80 с.
8. Веселов А.Е., Ярошевич В.В., Фастий Г.П. Повышение эффективности работы промышленных систем электроснабжения при использовании токоограничивающих устройств // Вестник МГТУ, том 14, №3, 2011. С. 535-545.
9. Татаринев Д.Е. Анализ и методы обеспечения электромеханической совместимости электроприводов переменного тока // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014: в 2т.– Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2014. Т.1 – 504 с. С. 244-247.
10. Шонин О.Б., Новожилов Н.Г., Крыльцов С.Б. Повышение устойчивости асинхронного электропривода с бездатчиковой скалярной системой управления при провалах напряжения сети // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 11. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – 592 с.
11. Дубинин В.Н. Об эффективности электроснабжения промышленных предприятий // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2016. №2(190). – 122 с. С. 49-52.
12. Дубинин В.Н. О структурности энергосбережения // Повышение эффективности процессов производства, распределения и потребления электроэнергии для устойчивого развития мировой энергетики [Электронный ресурс]: Сборник материалов Международного семинара, проводимого в рамках подготовки IX Международной научно-практической конференции "Горные территории: приоритетные направления развития" (октябрь 2018 г.) / под общей ред. Р.В. Ключева; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)». – Электрон. дан. (26,3 Мб). – Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2018. – 212 с. С. 188-191.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВЫХ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ильин Р.А., Шишкин Н.Д.

Лаборатория нетрадиционной энергетики Отдела энергетических проблем
Саратовского научного центра РАН (ОЭП СЦ РАН)
при Астраханском государственном техническом университете (АГТУ), г. Астрахань
kaften.astu@mail.ru

Аннотация: Работа посвящена разработке усовершенствованных вертикально-осевых ветроэнергетических установок на основе проведенного анализа их энергетической эффективности и аэродинамических параметров. Задачами работы явились: анализ аэродинамических параметров вертикально-осевых ветроэнергетических установок, оценка их энергетической эффективности и разработка практических рекомендаций по повышению эффективности различных типов ветроэнергетических установок при проектировании их конструкций для энергоснабжения автономных объектов.

Ключевые слова: вертикально осевые ветроэнергоустановки, роторы Дарье, карусельные роторы, роторы Савониуса, комбинированные ветроэнергоустановки, энергетическая эффективность, автономное энергоснабжение

DEVELOPMENT AND DEPLOYMENT OF VERTICALLY AXIAL WIND-MILL ELECTRIC GENERATING UNITS FOR POWER SUPPLY OF AUTONOMOUS OBJECTS

Ilyin R.A., Shishkin N.D.

Laboratory of nonconventional power of Department of power problems of the Saratov scientific center RAS (OEP SNTs RAS) at the Astrakhan State Technical University (ASTU), Astrakhan

Abstract: *Work is devoted to development of advanced vertically axial wind power installations on the basis of the carried-out analysis of their power efficiency and aerodynamic parameters. Tasks of work were: the analysis of aerodynamic parameters of vertically axial wind power installations, assessment of their power efficiency and development of practical recommendations about increase in efficiency of various types of wind power installations at design of their designs for power supply of autonomous objects.*

Keywords: *vertical axis wind turbines, Darrieus rotors, turning rotors, Savonius rotors, windmill, energy efficiency, an autonomous energy supply*

В настоящее время во многих странах мира, в том числе и в России все более широкое применение находят децентрализованные системы энергоснабжения для автономных энергообъектов. В качестве источника энергии могут использоваться установки на возобновляемых источниках энергии. В работе рассмотрены вертикально-осевые (ВО) ветроэнергетические установки (ВЭУ) [1-4]. Достоинствами ВО ВЭУ по сравнению с ВЭУ с горизонтальной осью вращения является отсутствие необходимости использовать направляющие механизмы. Широко распространены ВО ВЭУ, имеющие 2 основных типа рото-

ра: с вертикальными лопастями крылового профиля типа Н-Дарье и с вертикальными полуцилиндрическими лопастями карусельного типа (ротор Савониуса). Последний можно рассматривать, как частный случай ротора карусельного типа при диаметре ротора, не превышающем двух диаметров лопастей [4-7]. Преимущество роторов Н-Дарье - их быстроходность, а недостаток - невозможность самозапуска из-за малого пускового момента. Преимущество роторов Савониуса - возможность их самозапуска из-за большого пускового момента, а недостаток - малая скорость вращения. Для совершенствования конструкций ВО ВЭУ требуется исследование аэродинамики их лопастей и энергетических характеристик.

Вращение роторов Н-Дарье по мнению большинства исследователей осуществляется за счет подъемной силы, возникающей в крыловом профиле лопасти [5-12]. Однако, некоторые авторы [13-16] считают, что подъемная сила возникает лишь на небольшой части круговой траектории крыловой лопасти, а на большей части траектории происходит обтекание лопасти пульсирующим потоком, аналогичным возникающему при взаимодействии горизонтального потока воздуха с машущим крылом птиц. Исходя из работ [13-15], такие пульсации порождает крыло шириной b , колеблющееся по синусоидальному закону с амплитудой колебаний, определяемой по формуле

$$A = \frac{D_D}{2Z}, \quad (1)$$

где D_D – диаметр ротора Н-Дарье, м;

Z - коэффициент быстроходности, выражающий соотношение между окружной скоростью лопасти и скоростью ветра.

Коэффициент быстроходности можно определить по формуле

$$Z = \frac{\omega D_D}{2V} = \frac{\pi n D_D}{60V}, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вращения ротора, c^{-1} ;

V – скорость ветра, м/с; n - частота вращения ротора, об./мин.

В работе [15] отмечается, что максимальная мощность ротора Н-Дарье достигается при значении $Z=2,5$, а его геометрические параметры соответствуют относительной ширине крыла $0,2 \leq 2b/D_D \leq 0,3$. Отсюда следует, что относительная амплитуда $1 < A/b < 2$.

По мнению авторов, для сокращения аэродинамического сопротивления за счет уменьшения потерь от больших вихрей, образующихся на концах лопастей, можно использовать концевые элементы лопастей (закрылки) различной геометрии, подобные крыльям птиц (поз. 8, рис.1). Задняя часть лопасти имеет чаще всего треугольные, скругленные или прямоугольные окончания. По-видимому, за счет длительной эволюции появились такие крылья, позволяющие за счет совершенной аэродинамики снизить расходы энергии на полет. Этот опыт можно попробовать распространить и на схожие технические объекты, такие как лопасти роторов Н-Дарье, карусельного ротора и ротора Савониуса.

Авторами создана лабораторная установка и проведены эксперименты по оценке влияния зигзагообразных закрылков на работу ротора Н-Дарье (рис. 1).

На рис. 1,а показан аэродинамический канал (труба) 1 длиной 2,00 м прямоугольного сечения 0,74 x 0,46 м, снабженный двумя вентиляторами 2 и решеткой 3 для выравнивания скорости потока. На рис. 1,б показан лабораторный стенд с ротором Н-Дарье диаметром $D_D = 0,30$ м, с тремя лопастями 4 с шириной профиля $b_D = 0,100$ м толщиной профиля $\delta_D = 0,012$ м, снабженный микроэлектрогенератором (микро-электродвигателем) постоянного тока 5 с клиноремненным мультипликатором 6 с передаточным отношением $z_M = 7,09$ для соответствующего повышения частоты вращения вала электрогенератора. Микроэлектродвигатель постоянного тока имел при номинальном напряжении 6,0 В номинальную частоту вращения вала 2400 об./мин. Для измерения частоты вращения по напряжению выдаваемому электрогенератором использовался цифровой вольтметр (мультиметр) 7. На рис. 1,в показан аналогичный лабораторный стенд с ротором Н-Дарье с лопастями, имеющими закрывки 8 в форме треугольных зигзагов с высотой выступов 10 мм. На рис. 1,г показан этот стенд, помещенный в аэродинамический канал.

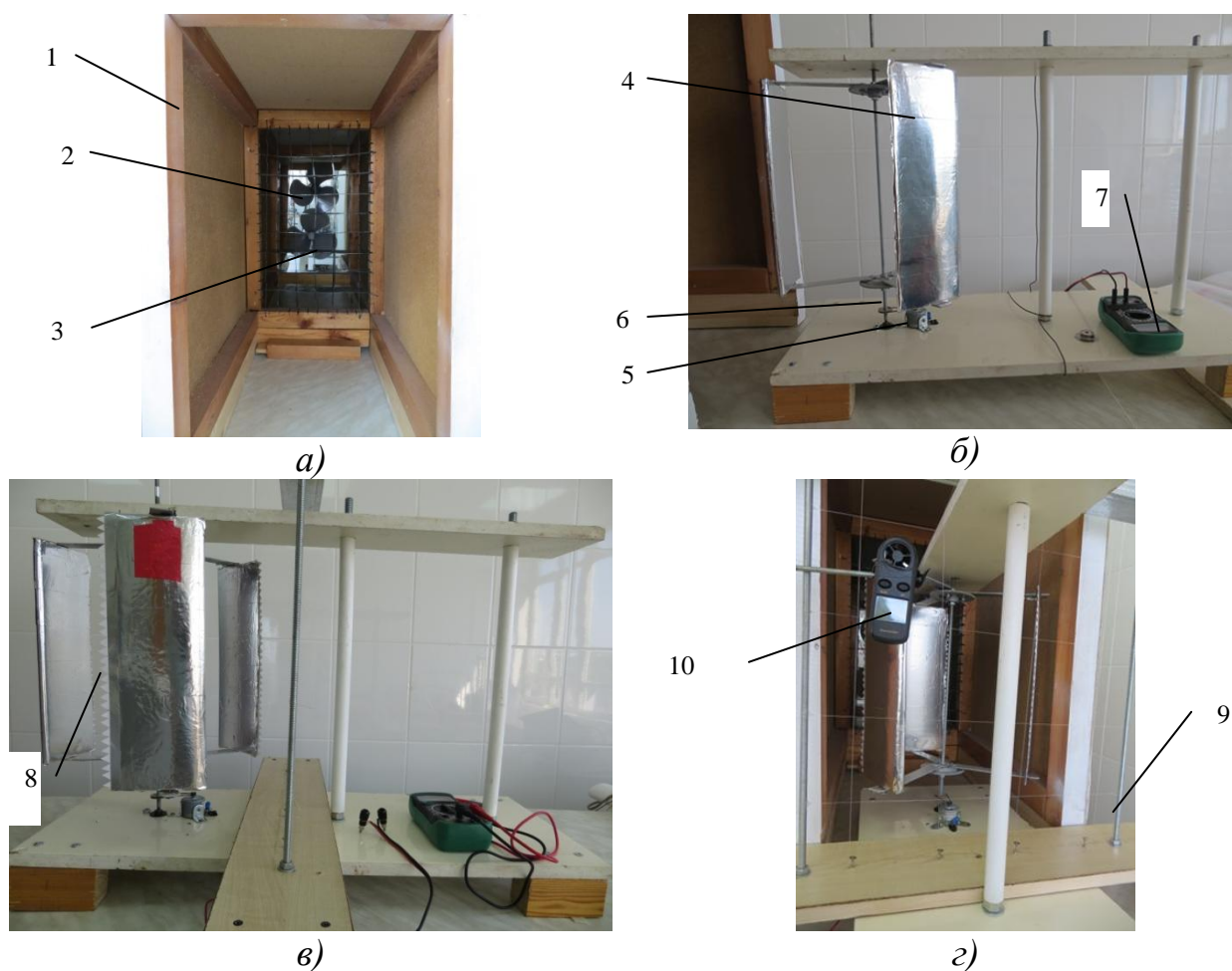


Рисунок 1 – Лабораторная установка:

а) аэродинамический канал; б) стенд с ротором Н-Дарье; в) стенд с ротором Н-Дарье с лопастями с закрывками; г) стенд с ротором Н-Дарье с лопастями, имеющими закрывки в аэродинамическом канале: 1 – аэродинамический канал; 2 – вентиляторы; 3 – решетка; 4 – лопасти; 5 – микроэлектрогенератор; 6 – клиноремненной мультипликатор; 7 – цифровой вольтметр; 8 – закрывки; 9 – координатное устройство; 10 – цифровой анемометр.

На этом рисунке показано также координатное устройство 9 в виде рамки, сформированных из толстых синтетических нитей. С помощью цифрового анемометра 10 на кронштейне, также показанного на рис. 1,г, измерялась скорость воздушного потока в 9 точках центрах 9 квадратов, размером 0,10 x 0,10 м. По результатам этих замеров определялась средняя скорость воздушного потока в сечении аэродинамического канала \bar{V} .

Были проведены 3 серии экспериментов по определению частоты вращения n_0 ротора Н-Дарье при нулевом угле атаки лопастей $\alpha = 0^\circ$, частоты вращения n_1 при оптимальном угле атаки лопастей $\alpha = 4^\circ$ и частоты вращения n_2 при оптимальном угле атаки лопастей $\alpha = 4^\circ$ при наличии закрылков в форме треугольных зигзагов высотой 10 мм в зависимости от изменения средней скорости воздушного потока \bar{V} . Результаты экспериментов по определению частоты вращения ротора Н-Дарье в зависимости от конструкции лопастей и скорости воздушного потока приведены в табл. 1.

Таблица 1

Частота вращения ротора Н-Дарье в зависимости от конструкции лопастей и скорости воздушного потока

№	\bar{V} , м/с	n_0 , об/мин.	n_1 , об/мин.	n_2 , об/мин.	n_1/n_0	n_2/n_1
1	4,1	89	102	130	1,15	1,27
2	4,8	150	169	188	1,13	1,15
3	4,9	160	182	212	1,14	1,23
4	5,1	177	209	235	1,18	1,12
5	5,4	200	243	280	1,22	1,15
6	5,7	245	290	360	1,18	1,24
Средние значения					1,17	1,19

Как видно из табл. 1 при увеличении средней скорости воздушного потока \bar{V} с 4,1 до 5,7 м/с, т. е. в 1,4 раза частота вращения n_0 увеличивается с 89 до 245 об/мин. т.е. в 2,75 раза, частота вращения n_1 увеличивается с 102 до 290 об/мин., т.е. в 2,81 раза, а частота вращения n_2 увеличивается с 130 до 260 об/мин., т.е. в 2,77 раза. Таким образом, частота вращения ротора n во всех сериях экспериментов увеличивается пропорционально кубу средней скорости воздушного потока \bar{V} . При оптимальном угле атаки лопастей $\alpha = 4^\circ$ частота вращения ротора Н-Дарье увеличивается в среднем на 17 %, а при наличии закрылков в форме треугольных зигзагов высотой 10 мм частота вращения ротора дополнительно увеличивается в среднем на 19 %. Это объясняется тем, что зигзагообразные закрылки разбивают крупные вихри, образующиеся в кормовой части крыловидного профиля лопастей при их вращении. Этот эффект приведет к существенному росту энергетической эффективности роторов Н-Дарье. Таким образом, лопасти крылового профиля ротора Н-Дарье целесообразно располагать с оптимальным углом атаки $\alpha = 4^\circ$ и снабжать их закрылками в форме треугольных зигзагов. Следует также отметить, что при наличии этих закрылков ротор Н-Дарье начинал самостоятельно запускаться без использования дополнительного ротора Савониуса или карусельного ротора.

Вращение карусельных роторов осуществляется за счет разности сил лобового сопротивления, действующих на лопасти, расположенные по разным сторонам от оси ротора. Авторами на лабораторной установке были проведены также эксперименты по оценке влияния зигзагообразных закрылков на работу карусельных роторов (рис. 2).



Рисунок 2 – Лабораторная установка по исследованию частоты вращения карусельного ротора:

а) лабораторный стенд с ротором карусельного типа; б) лабораторный стенд с ротором карусельного типа с лопастями, имеющими закрылки, помещенный в аэродинамический канал:

1 - полуцилиндрические лопасти; 2 – вал; 3 - плоские траверсы;
4 – закрылки; 5 – аэродинамический канал.

На рис. 2,а показан лабораторный стенд с ротором диаметром 0,30 м карусельного типа. 3 полуцилиндрические лопасти 1 диаметром 0,10 м имеют высоту 0,20 м и прикрепляются к валу 2 сверху и снизу с помощью плоских траверс 3. На рис. 2,б показан тот же лабораторный стенд с ротором карусельного типа с лопастями 2, имеющими закрылки 4 в форме треугольных зигзагов, помещенный в аэродинамический канал 5.

Скорость воздушного потока определялась помощью цифрового анемометра и координатного устройства как и на ранее описанной лабораторной установке по исследованию частоты вращения ротора Н-Дарье (рис. 1, г) и на рис. 2, г они не показаны.

Были проведены 2 серии экспериментов по определению частоты вращения n_0 карусельного ротора с полуцилиндрическими лопастями и частоты вращения n_1 карусельного ротора с полуцилиндрическими лопастями с закрылками в форме треугольных зигзагов. Результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2 при увеличении средней скорости воздушного потока \bar{V} с 2,2 до 4,9 м/с, т. е. в 2,3 раза частота вращения n_0 увеличивается с 25 до 80 об./мин. т.е. в 3,2 раза, частота вращения n_1 увеличивается с 37 до 93 об/мин., т.е. в 2,5 раза.

Таким образом, частота вращения ротора n во всех сериях экспериментов увеличивается практически пропорционально средней скорости воздушного потока \bar{V} .

При наличии закрылков в форме треугольных зигзагов небольшой высоты (10 мм) частота вращения ротора увеличивается в среднем на 31 %. Это объясняется тем, что зигзагообразные закрылки разбивают крупные вихри, образующиеся за внутренними поверхностями полуцилиндрических лопастей при вращении ротора. Этот эффект приводит к значительному уменьшению аэродинамических потерь и способствует повышению частоты вращения. Это позволит существенно повысить энергетическую эффективность ротора карусельного типа.

Таблица 2

Частота вращения ротора карусельного типа в зависимости от конструкции лопастей и скорости воздушного потока

№	\bar{V} , м/с	n_0 , об/мин.	n_1 , об/мин.	n_1/n_0
1	2,2	25	37	1,48
2	2,5	27	41	1,51
3	2,7	38	54	1,42
4	2,8	44	51	1,15
5	3,3	59	69	1,17
6	3,5	50	71	1,42
7	3,8	68	79	1,16
8	4,0	64	82	1,28
9	4,9	80	93	1,16
Среднее значение				1,31

Таким образом, полуцилиндрические лопасти ротора карусельного типа целесообразно снабжать закрылками в форме треугольных зигзагов. В дальнейшем будет более детально изучено влияние закрылков с выступами различной формы и размеров на аэродинамические параметры лопастей крылового профиля и цилиндрической формы, в том числе и для роторов Савониуса на коэффициент мощности роторов.

Роторы Н-Дарье имеют достаточно высокую частоту вращения, что удобно для агрегирования их с электро- и теплогенераторами. Карусельный ротор и ротор Савониуса имеют большой вращающий момент и малую частоту вращения, поэтому они наиболее эффективно могут применяться для привода насосов, мельниц, механических теплогенераторов (при наличии мультипликатора) и других машин. Кроме того, карусельные роторы и роторы Савониуса могут использоваться в качестве пускового устройства ротора Н-Дарье [8, 9, 15, 16]. Карусельный ротор (или ротор Савониуса) создает положительный вращающий момент для всех частот вращения. Поэтому запуск ротора Н-Дарье может быть осуществлен при гораздо меньших скоростях вращения. Такой комбинированный ротор может быть скомпонован с электрогенератором, а также с механическим теплогенератором и использован в системах электро- и теплоснабжения различных объектов. Он может быть агрегирован с насосами различных конструкций и использован для подъема различных жидкостей из поверхностных и подземных источников, в том числе, для добычи нефти из скважин.

Таким образом, в заключении работы можно сказать следующее:

1. Впервые выполнены экспериментальные исследования в лабораторной аэродинамической трубе по оценке влияния зигзагообразных закрылков на работу ротора Н-Дарье и карусельного ротора. Установлено, что при оптимальном угле атаки лопастей $\alpha = 4^\circ$ частота вращения ротора Н-Дарье увеличивается в среднем на 17 %, при наличии закрылков в форме треугольных зигзагов частота вращения ротора Н-Дарье увеличивается в среднем на 19 %, а карусельного ротора в среднем на 31%. Это объясняется тем, что зигзагообразные закрылки разбивают крупные вихри, образующиеся в кормовой части крыловидного профиля лопастей или за внешней образующей полуцилиндрических лопастей при вращении роторов. Таким образом, ВО ВЭУ целесообразно снабжать закрылками в форме треугольных зигзагов небольшой высоты.

3. Целесообразно перейти к одноярусной конструкции ротора Н-Дарье с траверсами только внизу для присоединения ротора к валу электрогенератора и тонкому плоскому бандажу для крепления лопастей в верхней части ротора.

При наличии закрылков в форме треугольных зигзагов частота вращения роторов может увеличиться на 19-31 %, что позволит повысить эффективность работы конструкций ВО ВЭУ.

Роторы Н-Дарье целесообразно агрегировать с роторами карусельного типа (роторами Савониуса) для запуска ротора при гораздо меньших скоростях вращения. Такой комбинированный ротор может быть использован в системах электро- и теплоснабжения различных объектов.

Список использованных источников

1. Семкин Б. В., Стальная М. И., Свит П. П. Использование возобновляемых источников энергии в малой энергетике. – Теплоэнергетика, № 2, 1996. – С. 6-7.
2. Шишкин Н.Д. Эффективное использование возобновляемых источников энергии для автономного теплоснабжения различных объектов : моногр./ Н. Д. Шишкин : Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2012. – 208 с.
3. Чивенков А.И., Лоскутов А.Б., Михайличенко Е.А. Анализ применения и развития ветроустановок // Промышленная энергетика, 2012, № 5. С. 57-63.
4. Шишкин Н.Д., Ильин Р.А. Анализ направлений повышения конкурентоспособности конструкций энергоэффективных ВЭУ различных типов / Вестник АГТУ. 2017. № 2.- С. 42-50.
5. Ляхтер В.М., Шполянский Ю.Б. Аэродинамика ортогональных ветроагрегатов // Сб. науч. Тр. Гидропроекта. – М.: 1988. – Вып. 129: Ветроэнергетические станции. – С. 113-127.
6. Соломин, Е.В. Методология разработки и создания вертикально-осевых ветроэнергетических установок: монография / Соломин, Е.В. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. – 2011. – 324 с.
7. Баклушин П.Г., Вашкевич К.П., Самсонов В.В. «Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик ортогональных крыльчатых ветроколес» // Сб. науч. тр. Гидропроекта М., 1988. С. 98-105.
8. Ершина А.К., Ершин Ш.А., Жалбасбаев У.К. Основы теории ветротурбины Дарье. – Алматы: КазгосИНТИ, 2001. – 148 с.
9. Абрамовский Е.Р. Аэродинамика ветродвигателей: Учеб. пособие / Е.Р. Абрамовский, С.В. Городько, Н.В. Свиридов. – Д.: ДГУ, 1987. – 220 с.
10. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред: 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Физматлит, 1994. – 448 с.

11. Белоцерковский С.М. Крыло в нестационарном потоке газа / С.М. Белоцерковский, Б.К. Скрипач, В.Г. Табачников. – М.: Наука, 1971. –352 с.
12. Волков Н.И. Аэродинамика ортогональных ветродвигателей: Учеб. пособие. – Сумы: ВВП «Мрия-1» ЛТД, 1996. – 198 с.
13. Горелов Д.Н. Энергетические характеристики ротора Дарье (обзор) // Теплофизика и аэромеханика. 2010. Т. 17, № 3. С. 325-333.
14. Горелов Д.Н. Проблемы аэродинамики ветроколеса Дарье // Теплофизика и аэромеханика. – 2003. – Т. 10, № 1. – С. 47-51.
15. Горелов Д.Н. Аэродинамика ветроколес с вертикальной осью вращения / Омский филиал института математики им. С. Л. Соболева СО РАН – Омск: Полиграфический центр КАН, 2012. – 68 с.
16. Шишкин Н.Д., Ильин Р.А. Анализ аэродинамических параметров и энергетической эффективности вертикально осевых ветродвигателей // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. 2018. № 2. – С.42-50.
17. Форандо Моди. Характеристики ветродвигателя Савониуса // Современное машиностроение серия А. 1988. № 10 С. 139-148.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ермаков М.А., Кишкин А.А., Потес Д.В., Мелкозеров М.Г.
Сибирский государственный университет науки и технологий, г. Красноярск,
mark.ermakov@gmail.com

Аннотация: В работе рассматривается вопрос использования аддитивных технологий для изготовления различных элементов энергетического оборудования. Оцениваются проблемы и перспективы данного направления. Приводится результат анализа применимости аддитивных технологий для изготовления рабочих колес паровых турбин.

Ключевые слова: аддитивные технологии; микротурбины; рабочее колесо турбины, технология изготовления.

PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE POWER EQUIPMENT MANUFACTURE

Ermakov M.A., Kishkin A.A., Potes D.V., Melkozzerov M.G.
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

Abstract: *This article discusses the use of additive technologies for the manufacture of various elements of power equipment. The problems and prospects of this direction are evaluated. The result of the analysis of the applicability of additive technologies for the manufacture of impellers of steam turbines is given.*

Keywords: *additive technologies; microturbines; turbine impeller, manufacturing technology.*

Дальнейшее развитие и совершенствование конструкций энергетических установок различных типов определяет необходимость применения современных подходов к изготовлению основных элементов этих установок.

Одним из таких перспективных подходов является применение аддитивных технологий 3D-печати.

В процессе печати 3D-принтер наслаивает полурасплавленный материал (пластик) на компьютеризированную форму в соответствии с информацией из цифрового файла.

Изначально аддитивные технологии использовались для создания моделей объектов и деталей.

Однако развитие и совершенствование этих технологий определяет возможность создания полноценного оборудования, пригодного к эксплуатации в рабочих условиях.

Применение аддитивных технологий позволяет улучшить технологичность конструкции, снизить потребление ресурсов и сократить время изготовления [1].

Одним из преимуществ 3D-печати является возможность изготовления деталей энергетического оборудования сложной геометрии – лопаток турбин, диффузоров, проточной части подводящих и отводящих устройств [2,3].

В рамках данной работы рассматривается возможность использования аддитивных технологий для печати рабочих колес турбин малой мощности (микротурбин). Это становится возможным вследствие специфических уровней мощностей установок.

В рабочем процессе реализуются температуры не более 100 °С, умеренные давления и динамические нагрузки, что существенно снижает требования по прочности и износостойкости основных деталей.

Для турбин рассматриваемого сегмента наиболее подходят технологии FDM- и SLA-печати.

В рамках исследования были изготовлены и протестированы рабочие колеса радиальной микротурбины с диаметрами до 100 мм и мощностью до 500 Вт.

На рис. 1 представлено изготовленное методом 3d-печати радиальное рабочее колесо микротурбины диаметром 100 мм.



Рисунок 1 – Изготовленное методом 3d-печати колеса микротурбинной установки

Данное рабочее колесо было испытано на экспериментальной установке на воздухе и показало приемлемые результаты по энергетическим характеристикам.

Качество, шероховатость поверхностей и отклонение прототипа от чертежа - зависит от уровня и стоимости оборудования, на котором непосредственно будет происходить изготовление. Но, тем не менее, даже 3D-принтеры любительского сегмента позволяют изготавливать различные изделия с отклонениями не более чем десятые доли миллиметра. Шероховатость при этом достигается химическими или слесарными методами.

Данный подход позволяет также существенно сократить массовую характеристику энергетического оборудования. По показателям плотности материалы для 3D печати во многом превосходят традиционно используемые, и имеют следующие значения: ABS-пластик 1005 кг/м³, PLA-пластик 1250 кг/м³, PVA-пластик 1360 кг/м³.

Таким образом, аддитивные технологии 3D-печати могут существенно изменить существующие технологии проектирования и производства энергетического оборудования. Уже на данном этапе развития возможно применение этих технологий при изготовлении рабочих колес микротурбин, работающих при сравнительно низких температурах и давлениях. Применение в печати прочных и стойких материалов позволит расширить этот диапазон на энергетическое оборудование различных классов [4].

Список использованных источников

1. Reddy Madara S., Selvan C.P. Review of Recent Developments in 3-D Printing of Turbine Blades // *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 2017, № 4 (7). p. 497-509. URL: <http://www.ejaet.com/PDF/4-7/EJAET-4-7-497-509.pdf>
2. Kokareva V.V., Smelov V. G., Agapovichev A. V., Sotov A. V., Sufiiarov V. S. Development of SLM quality system for gas turbines engines parts production // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 441 (2018), № 012024. doi:10.1088/1757-899X/441/1/012024.
3. Шишковский И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. СПб.: Питер, 2015. 348 с.
4. Зеленко М.А., Нагайцев М.В., Добыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. Пособие для инженеров. М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. 220 с.

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ТУРБИНАХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ С УЧЕТОМ РЕГЕНЕРАЦИИ ПОТЕРЬ ЭНТАЛЬПИИ

Кишкин А.А., Шевченко Ю.Н., Делков А.В., Куприянов А.В.
Сибирский государственный университет науки и технологий, г. Красноярск,
aa_kishkin@sibsau.ru

Аннотация: В работе анализируется вопрос учета потерь энергии на механическое трение в проточной части турбомашин. Приводятся расчетные зависимости для регенерации потерь энтальпии в турбомашинах с возвратом тепла в рабочий цикл.

Ключевые слова: турбина; рабочий процесс; математическое моделирование; регенерация потерь энтальпии.

MODELING OF THE WORKING PROCESS IN TURBINES OF VARIOUS TYPES TAKING INTO ACCOUNT THE REGENERATION OF THE LOSS OF ENTHALPY

Kishkin A.A., Shevchenko Yu.N., Delkov A.V., Kupriyanov A.V.
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

Abstract: *This article analyzes the issue of taking into account energy losses due to mechanical friction in the flow part of turbomachines. Calculated dependencies for the regeneration of the enthalpy loss in turbomachines with the return of heat to the working cycle are given.*

Keywords: *turbine; working process; mathematical modeling; enthalpy loss recovery.*

Качество и эффективность принимаемых на этапе проектирования схемных решений энергетического оборудования определяет в дальнейшем показатели мощности и КПД установок. В этой связи возрастает роль применения точных математических моделей рабочих процессов при расчете энергетических установок, учитывающих все специфические особенности.

В рамках данной работы рассматривается вопрос расчета потерь на механическое трение в проточных элементах турбоустановок и регенерации потерь энтальпии в тепловую энергию потерь рабочего тела. Данный вопрос в настоящее время является актуальным, так как отсутствуют достоверные данные, позволяющие оценить величину потерь на трение в турбомашинах и процент преобразования этих потерь в теплоту трения в цикле.

Известно, что при осуществлении рабочего процесса в турбине возникают необратимые механические потери [1]. Эти потери делят на внутренние, потери на утечки, потери с выходной скоростью и внешние. Внутренние потери представляют собой диссипированную энергию и сопровождаются изменением энтальпии потока [2]. Они характеризуются потерями на трение (главным образом - трением потока о диск в относительном движении и трением рабочего вещества в междисковом пространстве (дисковые потери)) и вихреобразование.

При этом существенную величину потерь составляют потери на трение в пограничном слое, приводящие к снижению скорости и к нагреву пограничного слоя. Это тепло частично уходит на нагрев конструкции турбины, а частично – возвращается в поток.

Таким образом, термодинамический процесс течения в рабочей полости турбины при наличии трения может быть классифицирован как процесс с подводом тепла в поток рабочего тела. Работа трения передается газу или пару и повышает его энтальпию [1]. При этом необходимо отметить, что данный процесс сопровождается высокой скоростью течения рабочего тела.

Расчетным путем оценить влияние регенерации энтальпии в виде тепловой энергии, подведенной к рабочему телу в цикле, можно с использованием коэффициента возврата потерь теплоты трения. Данный коэффициент определяется как отношение той части теплоты трения, которая используется для получения работы в цикле, к теоретической работе цикла.

Определение величины возвращаемой в цикл энергии вследствие сложности моделирования можно оценить только экспериментальным путем. Экспериментальная оценка возвращаемой части работы трения L_T составляет значение 15...20% от общей величины потерь на трение.

Учесть возврат потерь энтальпии в математической модели турбины возможно, если воспользоваться приемом [3] введения эквивалентной длины прямого участка на котором потеря напора на длине равна (эквивалентна) потери напора на соответствующем местном сопротивлении. Эквивалентная длина $l_{\text{ЭКВ}}$ может быть найдена из равенства потерь напора по длине h_T , определяемой по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_m = \lambda \frac{l_{\text{ЭКВ}}}{d_{\text{ЭКВ}}} \frac{v^2}{2} \quad (1)$$

и местным сопротивлением $h_{\text{М.П.}}$, учитываемым формулой:

$$h_{\text{М.П.}} = \xi_{\text{М.П.}} \frac{v^2}{2} \quad (2)$$

где λ – коэффициент потерь на трение по длине, $d_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный диаметр канала, v – скорость потока рабочего тела, $\xi_{\text{М.П.}}$ – коэффициент местных потерь.

Тогда при условии $h_T = h_{\text{М.П.}}$ получим:

$$l_{\text{ЭКВ}} = \left(\frac{\xi_{\text{М.П.}}}{\lambda} \right) d_{\text{ЭКВ}} \quad (3)$$

С использованием значения эквивалентной длины трения система определяющих уравнений для течения вязкой сжимаемой жидкости может быть представлена следующим образом [4]:

- уравнение движения:

$$\frac{P_{i+1}}{\rho_{i+1}} = \frac{P_i}{\rho_i} + \left(\frac{C_i^2}{2} - \frac{C_{i+1}^2}{2} \right) \frac{k-1}{k} - \lambda \left(\frac{\Delta l}{d_{\text{ЭКВ}}} \right) \frac{C_i^2}{2} \frac{k-1}{k} \quad (4)$$

- уравнение энергии:

$$C_p T_{i+1} = i_{i+1} = i_i + \left(\frac{C_i^2}{2} - \frac{C_{i+1}^2}{2} \right) + \lambda \left(\frac{\Delta l}{d_{\text{эКВ}}} \right) \frac{C_i^2}{2} \quad (5)$$

- уравнение состояния:

$$P_{i+1} \frac{1}{\rho_{i+1}} = RT_{i+1} \quad (6)$$

где P – давление,
 T – температура,
 R – газовая постоянная,
 C – абсолютная скорость потока в канале,
 ρ – плотность.

Система конечно-разностных уравнений (1)..(6) решается итерационным методом, в результате определяется поле скоростей и поле давлений для потока рабочего тела.

Таким образом, представленные выражения представляют собой математическую модель регенерации потерь энтальпии в проточной части турбомашин, и могут быть использованы для учета величины возврата потерь теплоты трения при расчете энергетической эффективности турбины.

Список использованных источников

1. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1986. 376 с.
2. Епифанова В.И. Компрессорные и расширительные турбомашинны радиального типа. М.: Машиностроение, 1984. 376 с.
3. Рабинович Е.З. Гидравлика. М.: Недра, 1980. 278 с.
4. Галеркин Ю.Б., Рекстин Ф.С. Методы исследования центробежных компрессорных машин. Л.: Машиностроение, 1969. 304 с.

ПАРОСИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ В МАЛОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Шевченко Ю.Н., Кишкин А.А., Куприянов А.В., Делков А.В.
Сибирский государственный университет науки и технологий, г. Красноярск,
gift_23j@mail.ru

Аннотация: В работе рассматривается вопрос применения микротурбинных паросиловых установок в системах распределенной энергетики. Анализируются достоинства и недостатки микротурбинных энергетических модулей. Приводится описание разработанной авторами паросиловой установки.

Ключевые слова: распределенная энергетика, турбина; паротурбинная установка, электроснабжение.

STEAM-POWERED UNITS IN A SMALL DISTRIBUTED POWER

Shevchenko Yu.N., Kishkin A.A., Kupriyanov A.V., Delkov A.V.
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

Abstract: *This article discusses the use of microturbine steam power plants in distributed energy systems. The advantages and disadvantages of microturbine power modules are analyzed. The description of the steam-powered installation developed by the authors is given.*

Keywords: *distributed power systems; turbine; steam turbine unit; electric power supply.*

В настоящее время в России имеются районы, отрезанные от сетей централизованного электроснабжения.

Проблема децентрализованных потребителей – в значительной удаленности от транспортных систем, что вызывает значительные трудности в доставке автономных энергоустановок и топлива для них. Большая часть децентрализованных потребителей использует бензиновые или дизельные генераторы, характеризующиеся низкими показателями по КПД и экологичности [1].

Решение проблемы энергоснабжения отдаленных районов может быть найдено с использованием компактных и мобильных энергетических установок. Децентрализованная энергетика в настоящее время активно развивается, что обусловлено удешевлением технологий использования низкопотенциальных и вторичных энергоресурсов и увеличением стоимости энергии от централизованных поставщиков [2].

В связи с этим вопросы проектирования и создания установок малой распределенной энергетики приобретают все большую популярность [3].

Для малых энергетических установок, можно выделить 4 типа источников энергии, являющихся перспективными для освоения и требующих разработки специфического подхода к их использованию в качестве энергетических ресурсов: геотермальное тепло; тепловая мощность солнечного излучения; тепловые выбросы промышленности; тепловые потоки от двигателей и аппаратуры [4].

Особенность вышеприведенных источников – наличие отличной от окружающей среды температуры, которой, впрочем, не достаточно для организации традиционных паросиловых циклов на водяном паре. Температурный напор, - разница между температурой теплового источника и окружающей средой, - для этих источников лежит в диапазоне 60-200 °С. В литературе такие источники получили название низкопотенциальных.

Перспективными и наиболее распространенными методами трансформации тепловой энергии в механическую и электрическую являются паросиловые циклы на турбомашинах. Такие циклы функционируют по принципу переноса тепла от источника к области теплосброса с выработкой энергии. При указанных температурных напорах паросиловой цикл возможно осуществить только с помощью специфических рабочих тел – органических (этанол, фреон, изобутан и т.д.). В зарубежных источниках такие системы получили название установок, реализующих органический цикл Ренкина.

Особенностью таких систем является наличие малого низкопотенциального перепада в цикле Карно, что обуславливает их специфические особенности. Низкие скорости, малые обороты определяют отсутствие требований к материалам для изготовления проточной части. Компактные размеры узлов позволяют ставить и успешно решать задачи оптимизации проточной части турбины. Малые расходы позволяют рассматривать в качестве базовых турбины трения – дисковые, вихревые, лабиринтно-винтовые.

В настоящей работе рассматривается вопрос применения паротурбинных установок малой мощности (микротурбин) для нужд распределенной энергетики.

Одним из перспективных источников тепловой энергии для целей применения в проектируемых микротурбинных модулях является тепло грунтовых вод, рек и водоемов. Данные источники тепла распространены повсеместно на территории России (Красноярский край, Иркутская, Московская, Калининградская области, Кавказе, и особенно – на Камчатке). При этом необходимо отметить, что для реализации паросилового цикла на органическом рабочем теле важна не температура воды, а температурный перепад между температурой воды и температурой окружающей среды. В этом плане источники геотермальной энергии с температурой воды в 25 °С являются перспективными для использования в зимний период года с температурой окружающей среды до -30 °С.

С реализацией данного подхода возможна реализация проектов электроснабжения северных регионов, где, несмотря на экстремально низкие температуры до -40 °С температура водоемов и рек для зимнего периода составляет порядка 4 °С. А для труднодоступных регионов – станций, поселков, рудников и буровых ввиду отсутствия возможности обеспечения централизованного электроснабжения применение подобных установок является единственно возможной эффективной альтернативой бензиновых и дизельных генераторов.

Для решения задачи создания эффективно действующей микротурбинной установки в целях реализации децентрализованной системы энергоснабжения

необходима разработка математической модели процессов с теплообменом, протекающих в проточной части турбины.

В результате возникает необходимость разработки соответствующего программно-алгоритмического обеспечения для проектирования высокоэффективных установок.

Список использованных источников

1. Казаков, А. В., Загорин, А. С., Новосельцев, П. Ю., Табакаев, Р. Б. Малая распределенная энергетика России: совместная выработка тепло- и электроэнергии // Вестник науки Сибири, № 4 (10), 2013. С. 13-18.

2. Гречухина И.А., Кирюшин П.А. Возобновляемые источники энергии как фактор трансформации глобальной энергетики // Интернет-журнал Науковедение, № 6 (31), 2015. с. 30.

3. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Халгаева Н.А. Возобновляемая энергетика как одно из направлений снижения антропогенной нагрузки в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории // География и природные ресурсы. 2016. № 3. С. 86–90.

4. Гамаюнов С.Н. Перспективные технологии распределенной энергетике в агробизнесе. Монография. Тверь: Триада, 2011. 160 с.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Клюев Р. В., Зурабов В.Т., Кочиева З.А.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ,
kluev-roman@rambler.ru

Аннотация: В статье приведены основные факторы, способствующие возникновению высших гармоник в электрических сетях крупных промышленных предприятий.

Приведены результаты измерения коэффициентов несинусоидальности напряжения насосных агрегатов на предприятии цветной металлургии.

Ключевые слова: нелинейные нагрузки, насос, несинусоидальность напряжения.

FEATURES OF THE EMERGENCE OF HIGHER HARMONICS IN ELECTRIC NETWORKS AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Klyuev R. V., Zurabov V.T., Kochieva Z.A.

*North Caucasian Institute of mining and metallurgy
(State Technological University), Vladikavkaz*

Abstract: *The article presents the main factors contributing to the emergence of higher harmonics in the electrical networks of large industrial enterprises. The results of measuring the non-sinusoidal coefficients of the voltage of pumping units at a non-ferrous metallurgy enterprise are given.*

Keywords: *nonlinear loads, pump, non-sinusoidal voltage.*

В различных странах нормирование допустимых значений несинусоидальности осуществляется по-разному: по коэффициенту несинусоидальности или по значениям отдельных гармоник напряжения (тока) в узлах сети. Второй способ представляется более перспективным, так как современные автоматизированные системы оказываются весьма чувствительными к воздействию отдельных гармоник напряжения. Наиболее целесообразным решением является сочетание обоих способов нормирования – по допустимым значениям гармоник тока (напряжения) и коэффициенту несинусоидальности напряжения.

ГОСТ предусматривает, что значения всех ПКЭ должны находиться в допустимых пределах с интегральной вероятностью 95% за установленные стандартом периоды времени.

Национальными нормами некоторых стран лимитируются значения гармоник тока, могущих проникать из электрических сетей потребителей в сети энергосистем, чтобы обязать потребителей ограничивать их в месте генерирования. Взаимное сопротивление на частоте (частотах) какой-либо гармоники канонического порядка может оказаться весьма малым, и гармоники тока из электрической сети предприятия с нелинейной нагрузкой могут

почти полностью проникать в сети энергосистемы и предприятий, где таких нагрузок нет.

На границе раздела балансовой принадлежности значения ПКЭ должны определяться по согласованию между договаривающимися сторонами (система-предприятие).

Можно допустить, то нелинейные нагрузки, преобразовывая некоторую часть потребляемой энергии при сетевой частоте в энергию при частотах ВГ, действуют как генераторы тока ВГ. Протекание ВГ тока, в питающей сети, вызывает падения напряжения ВГ, которые, накладываясь на основную гармонику, вызывают изменение формы кривой мгновенных значений напряжения от синусоиды.

Нелинейные нагрузки большой мощности у промышленно-производственных потребителей – это, прежде всего, неуправляемые (кремниевые диоды) и управляемые выпрямители (тиристоры) различного применения. При широко применяемом соединении диодов и тиристоров в трехфазные мостовые схемы существенным свойством выпрямителя является число входящих в его состав мостов и группы соединений выпрямительных трансформаторов, определяющих так называемое число фаз преобразователя, т.е. состав частотного спектра его тока, а тем самым – степень влияния его на сеть как источника ВГ.

Так, например, в Польше на несинусоидальность напряжения, особое влияние оказывают устройства металлургических заводов по производству цветных металлов и химических заводов, отличающиеся исключительно большими удельными мощностями или же сосредоточением большого их количества. Краткая характеристика этих потребителей представлена в таблице 1.

Таблица 1

**Группы приемников, оснащенных электронными устройствами
большой мощности**

№ п/п	Место установки энергоэлектронных устройств	Вид энергоэлектронного устройства и питаемого им приемника	Удельные номинальные мощности выпрямительных трансформаторов	Общая мощность приемников в объекте	Число фаз преобразователя <i>p</i>	Напряжение сети, питающей энергоэлектронные устройства
-	-	-	МВА	МВА	-	кВ
1	Металлургические заводы по производству цветных металлов и химические заводы	неуправляемые выпрямители (диодные), питающие электролизеры	5÷20	20÷100	12 или 24 или 48	6 или 30

Проведены комплексные исследования несинусоидальности напряжения в системе электроснабжения промышленного предприятия цветной металлургии. Измерения проводились на 5 насосах (нейтральные, кислые, на градирне), мощностью от 55 до 90 кВт, $n=1500$ об/мин.

С помощью прибора комплексного контроля ПКК-57 и анализатора электропотребления типа AR5 определены электрические параметры насосных агрегатов и определено искажение КЭ, наблюдающееся в системах электроснабжения (СЭС) насосов, вследствие наличия на заводе нелинейных приемников электроэнергии – вентильных преобразователей и индукционных печей, участвующих в технологическом процессе электролитного цеха.

Целью проведения измерений является оптимизация электрических параметров, разработка мероприятий по повышению эффективности использования электроэнергии на насосных агрегатах, расчет экономической эффективности от внедрения предложенных мероприятий.

На рис. 1, 2 приведен характер изменения мощностей и расхода электроэнергии во времени.

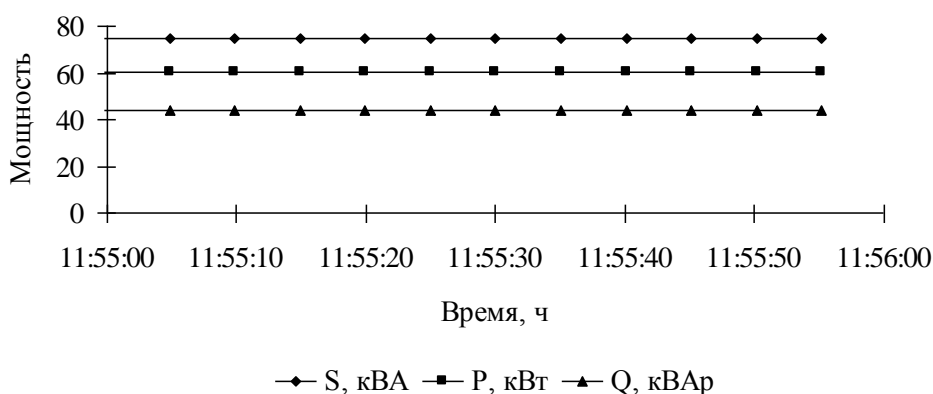


Рисунок 1 – Характер изменения мощностей во времени

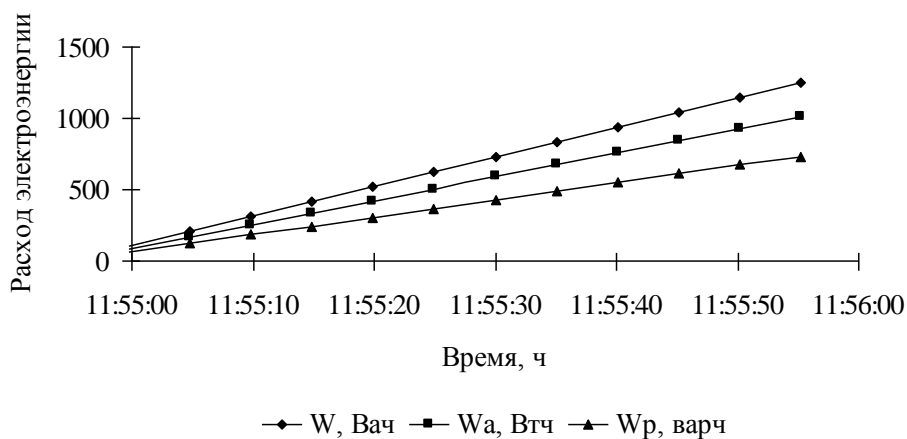


Рисунок 2 – Изменение расхода электроэнергии во времени

Коэффициент мощности равен 0,81.

На рис. 3 приведен характер изменения средних значений фазных и линейных напряжений во времени.

Изменение тока в отдельных фазах показано на рис. 4. Из рис. 4 видно, что наблюдается несимметрия токов, $I_{1cp}=113,7$ А; $I_{2cp}=112,8$ А; $I_{3cp}=119,1$ А. Вследствие этого в нулевом проводе протекает ток, значение которого составляет 3,79 А.

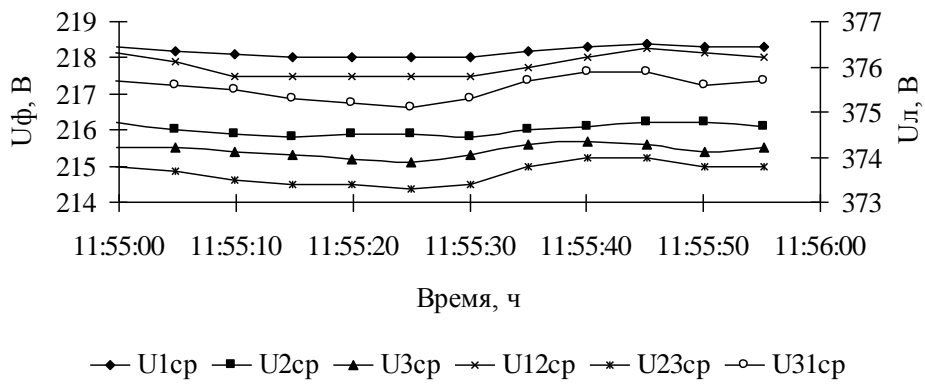


Рисунок 3 – Изменение фазных и линейных напряжений

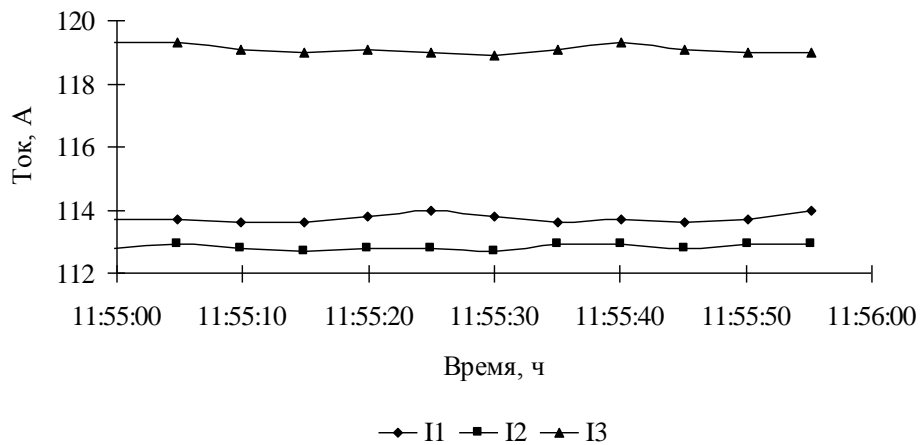


Рисунок 4 – Изменение фазных токов

Осциллограмма изменения фазных напряжений показана на рис. 5.

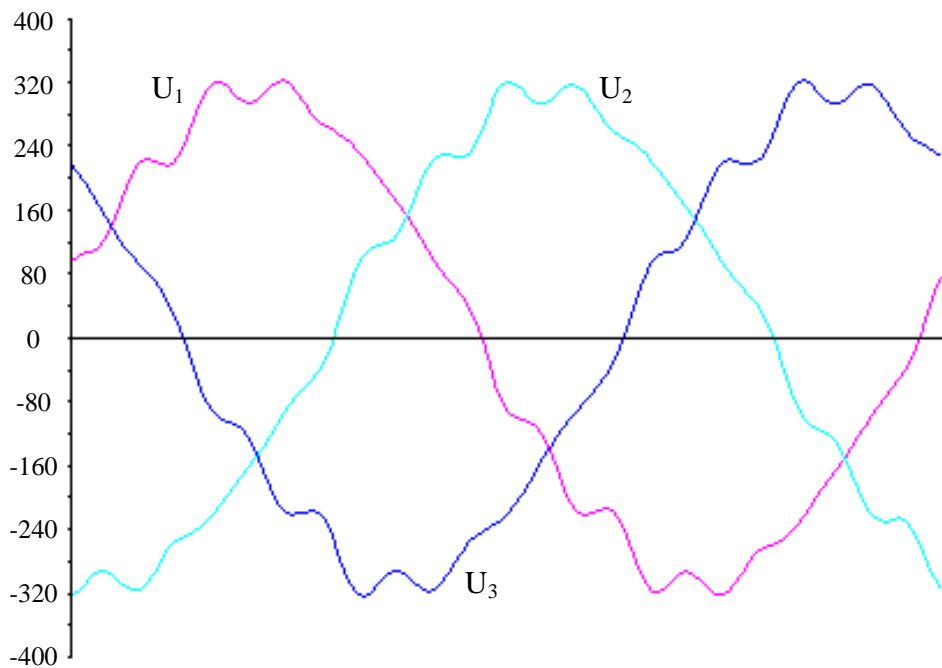


Рисунок 5 – Осциллограмма изменения фазных напряжений

Гистограмма изменения n -ой гармонической составляющей фазных напряжений приведена на рис. 6.

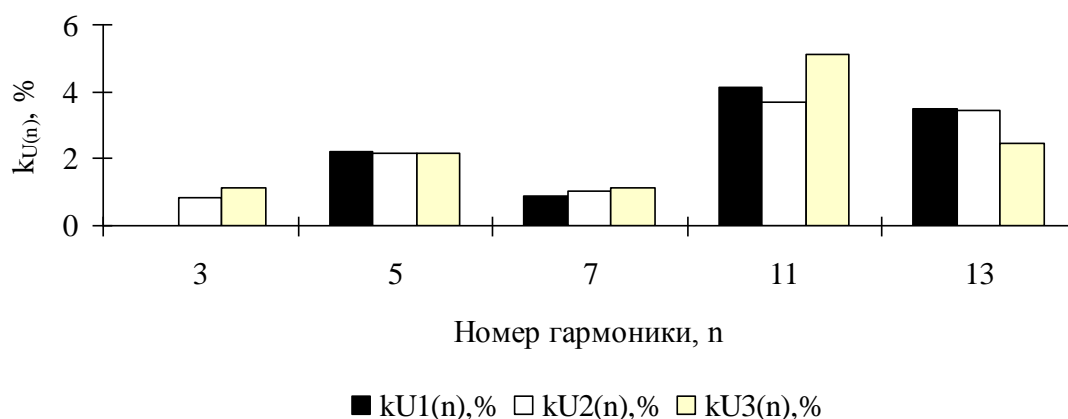


Рисунок 6 – Гистограмма изменения n -ой гармонической составляющей фазных напряжений

Из рис. 6 видно, что искажение синусоидальной формы кривой фазного напряжения происходит за счет наличия 3, 5, 7, 11 и 13-ой гармоники. Значения $k_{U(n)}$ изменяются в пределах от 0 до 5,14%. Наибольшее влияние оказывают 11 и 13 гармоники. Коэффициент несинусоидальности напряжения по отдельным фазам составил: $k_{U1} = 5,93$; $k_{U2} = 5,64$; $k_{U3} = 6,3$.

Осциллограмма изменения фазных токов показана на рис. 7.

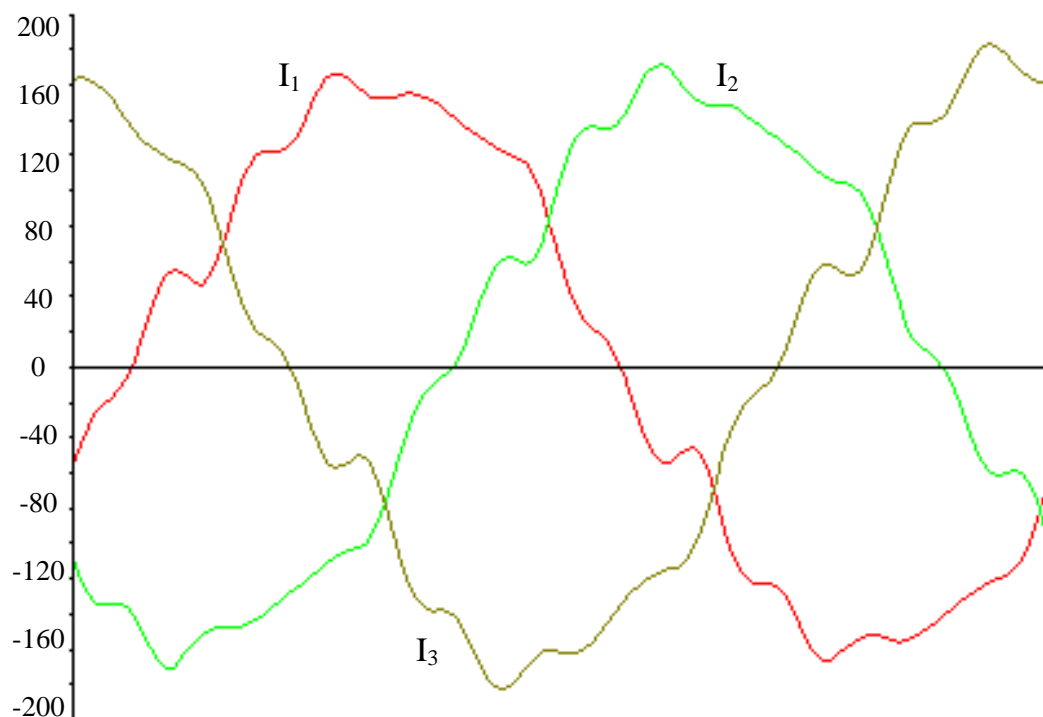


Рисунок 7 – Осциллограмма изменения фазных токов

Гистограмма изменения n -ой гармонической составляющей фазных токов приведена на рис. 8.

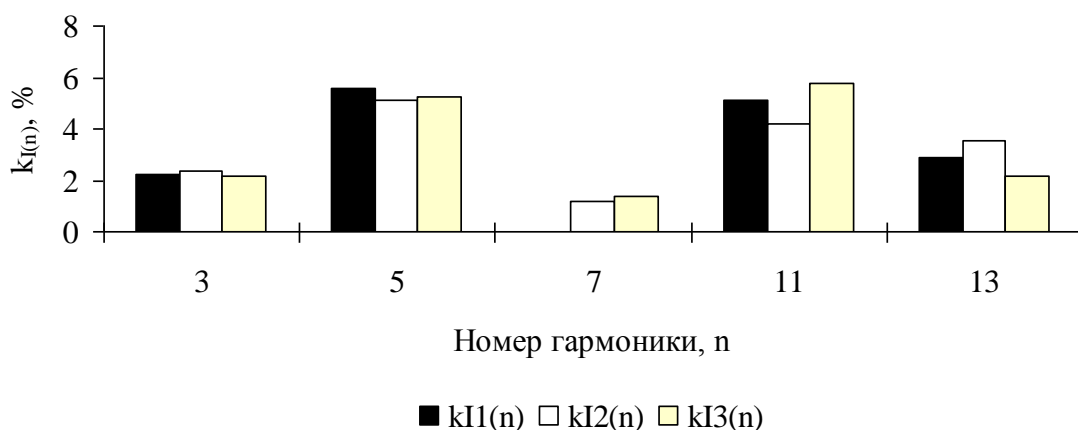


Рисунок 8 – Гистограмма изменения n -ой гармонической составляющей фазных токов

Из рис. 8 видно, что во всех фазах наблюдаются 3, 5, 11 и 13 гармонические составляющие по току. В фазах 2 и 3 наблюдается 7 гармоника. Значение $k_{I(n)}$ изменяется от 0 до 5,76%. Обобщенные результаты измерений электрических параметров и КЭ насосов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Обобщенная таблица результатов измерений электрических параметров и КЭ насосных агрегатов

Наименование параметра	Нейтральный насос		Насос градирни	Кислый насос	
	№2	№3		№1	№2
1	2	3	4	5	6
Р_{ном}, кВт	55	55	90	55	55
Scp, кВА	31,4	38,6	74,9	23,9	40,2
Pcp, кВт	24,2	26,6	60,6	15,9	31,1
Q, квар	19,9	28	44	17,8	25,5
cosφ	0,77	0,69	0,81	0,66	0,77
I₀, А	4,4	4,4	3,79	2,04	1,48
I_{1cp}, А	47,5	57,2	113,7	40,68	62,4
I_{2cp}, А	46,5	60,3	112,8	37,8	60,1
I_{3cp}, А	50,8	62,6	119,1	39,9	64,1
k_{U1(3)}, %	1,25	0,76	0	1,75	0,59
k_{U1(5)}, %	2,21	2,09	2,21	1,39	2,32
k_{U1(7)}, %	1,2	1,14	0,89	0	0,97
k_{U1(11)}, %	5,41	3,48	4,15	6,99	4,38
k_{U1(13)}, %	2,33	3,44	3,5	2,31	3,29
k_{U1}, %	6,53	5,5	5,93	7,69	6,06
k_{U2(3)}, %	0	0,32	0,82	1,36	0,59
k_{U2(5)}, %	2,26	2,19	2,15	0,93	2,13
k_{U2(7)}, %	0,99	0,82	1,03	0	1,18

1	2	3	4	5	6
$k_{U2(11)}, \%$	4,45	4	3,69	4,35	3,68
$k_{U2(13)}, \%$	3,53	3,57	3,44	2,87	3,6
$k_{U2}, \%$	6,19	5,86	5,64	5,47	3,73
$k_{U3(3)}, \%$	0,72	1	1,11	1,06	0,56
$k_{U3(5)}, \%$	2,2	2,11	2,15	1,17	2,2
$k_{U3(7)}, \%$	1,23	1,12	1,14	0	1,19
$k_{U3(9)}, \%$	0,19	0	0	0	0
$k_{U3(11)}, \%$	3,76	4,88	5,14	6,69	5,26
$k_{U3(13)}, \%$	3,33	2,51	2,45	3,58	2,31
$k_{U3}, \%$	5,66	6,06	6,3	7,75	6,29
$k_{II(3)}, \%$	3,36	2,3	2,25	2,31	2,36
$k_{II(5)}, \%$	5,06	6,7	5,59	3,92	4,83
$k_{II(7)}, \%$	1,28	2,52	0	1,04	0,91
$k_{II(11)}, \%$	5,82	3,48	5,09	7,6	4,19
$k_{II(13)}, \%$	2	3,26	2,91	1,8	2,24
$k_{I2(3)}, \%$	2,01	1,6	2,37	2,7	2,54
$k_{I2(5)}, \%$	5,67	6,76	5,13	3,57	4,57
$k_{I2(7)}, \%$	0,95	2,31	1,21	0	1,2
$k_{I2(11)}, \%$	5,42	4,15	4,21	4,43	3,37
$k_{I2(13)}, \%$	2,84	2,69	3,56	3,21	2,77
$k_{I3(3)}, \%$	3,18	1,91	2,16	2,35	1,79
$k_{I3(5)}, \%$	4,97	6,67	5,21	3,94	4,48
$k_{I3(7)}, \%$	1,3	2,33	1,36	0,62	1,16
$k_{I3(11)}, \%$	4,16	4,79	5,76	8,6	4,68
$k_{I3(13)}, \%$	3,41	2,11	2,15	3,21	1,66

Аналогичные исследования несинусоидальности напряжения проведены и для другого оборудования промышленных предприятий [1-24].

Список использованных источников

1. Ключев Р.В. Методы и средства улучшения показателей качества электроэнергии на промышленных предприятиях цветной металлургии // Тезисы докладов научно-технической конференции, посвященной 65-летию научно-исследовательского сектора, Владикавказ, 2004, с. 53-54.

2. Ключев Р.В. Влияние вентильного преобразователя на качество электроэнергии при изменении нагрузки питающего трансформатора в процессе электролиза цинковых растворов // Труды молодых ученых, вып. 4, Владикавказский научный центр РАН и Правительства РСО-А, Владикавказ, 2007, с. 38-45.

3. Ключев Р.В. Влияние вентильного преобразователя на качество электроэнергии при изменении нагрузки питающего трансформатора в процессе электролиза цинковых растворов // Труды молодых ученых, вып. 4, Владикавказский научный центр РАН и Правительства РСО-А, Владикавказ, 2007, с. 38-45.

4. Ключев Р.В. Качество электроэнергии полупроводниковых кремниевых преобразователей при производстве твердых сплавов // ЗБІРНИК ПРАЦЬ «ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ», Мариуполь, Украина: VI международная научно-техническая конференция: Изд-во ПДТУ, 2008, с. 119-122.

5. Ключев Р.В. Исследование качества электроэнергии на предприятиях твердосплавного и цинкового производства // Сборник трудов Шестой Международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» / Под ред. Г.Г. Матвиенко, А.П. Кудинова: Изд-во политехнического университета, Санкт-Петербург, 2008, с. 268-269.
6. Ключев Р.В., Берко И.А. Исследование качества электроэнергии в процессе производства вольфрамовых штабиков на предприятиях цветной металлургии // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых, Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2008, с. 98-100.
7. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Васильев Е.И., Котова О.А. Исследование несинусоидальности напряжения в системе электроснабжения предприятий цветной металлургии // Изв. вузов. Электромеханика, Спецвыпуск «Электроснабжение», 2008, с. 160.
8. Гаврина О.А., Маркин А.С. Электробалансы и повышение эффективности режимов электропотребления промышленных предприятий // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Материалы конференции. 2017. С. 515-518.
9. Ключев Р.В., Гаврина О.А. Задачи построения единой промышленно-энергетической системы // В сборнике: Наука, образование, общество: актуальные вопросы и перспективы развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 4 частях. ООО «АР-Консалт». 2015. С. 68-69.
10. Ключев Р.В., Котова О.А., Гаврина О.А. Результаты эффективного управления единой промышленно-энергетической системой в горных территориях // В сборнике: Кибернетика энергетических систем Сборник материалов XXXVII сессии семинара. 2015. С. 9-12.
11. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Лысоконь Э.С., Тараник А.В. Результаты проведения энергоаудита в системе электроснабжения водоснабжающего предприятия РСО-АЛАНИЯ // В сборнике: WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS сборник статей XIX Международной научно-практической конференции : в 3 ч.. 2018. С. 175-179.
12. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Лагкуев Д.Х., Теблов С.К., Цакоев М.Т. Использование нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии в учебном процессе кафедры "Электроснабжение промышленных предприятий" при подготовке магистров // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. 2017. С. 827-831.
13. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Джиникаев А.О., Икаев А.Э., Теблов С.К. Использование ветроэлектростанции для электроснабжения потребителей в горных территориях // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015). Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. 2017. С. 756-759.
14. Гаврина О.А., Босиков И.И., Берко И.А. Разработка методов по улучшению использования электрооборудования природно-промышленной системы горно-перерабатывающего комплекса // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 2 (82). С. 12-19.
15. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В. Экспертно-кластерный анализ технологических показателей на предприятиях по производству твердых сплавов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. №4 (84). С. 15-22.

16. Сидоров Д.В., Гаврина О.А., Берко И.А., Галкина О.Ю. Обзор методов построения математических моделей статических режимов для управления непрерывными технологическими процессами // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 4. № 12. С. 9-12.
17. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Цомаев С.М., Чехов З.Р. Расчет дистанционной защиты воздушных линий напряжением 110 кВ // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. 2016. С. 295-298.
18. Гаврина О.А., Ключев Р.В., Лысоконь Э.С., Гудиев Т.Т. Анализ потерь электроэнергии в распределительных сетях 6 кВ предприятия нефтегазовой отрасли // В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 407-410.
19. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A. Development of mathematical model for specific power consumption of resistance furnaces at non-ferrous metallurgy enterprises // В сборнике: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) electronic edition. 2018. С. 8501831.
20. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch. System analysis of power consumption by nonferrous metallurgy enterprises on the basis of rank modeling of individual technocenosis castes // В сборнике: МАТЕС Web of Conferences 2018. С. 04018.
21. Гаврина О.А., Бестаев А.С., Бигаев Р.К. Результаты проведения комплексного теплоэнергетического обследования горно-металлургического предприятия // В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей XIX Международной научно-практической конференции : в 2 ч.. 2019. С. 86-90.
22. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Кортиев Р.А. Система анализа надежности промышленно-технической системы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 66-74.
23. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В., Лысоконь Э.С. Концепция функционирования единой промышленно-энергетической системы в горных территориях // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 55-65.
24. Босиков И.И., Цидаев Б.С., Гаврина О.А. Разработка методов для повышения эффективности оценки, анализа и разработки месторождений железистых кварцитов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № S25. С. 162-170.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Клюев Р. В., Арсланбеков Б. А., Донченко В. А.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ,
kluev-roman@rambler.ru

Аннотация: В работе изложены основные виды нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии, которые используются в горных территориях для электроснабжения потребителей. В условиях РСО-Алания рассмотрены перспективы использования ветроэлектростанций (ВЭС), солнечных электростанций (СЭС) и геотермальных станций (ГеоЭС).

Ключевые слова: солнечная, ветровая, геотермальная, электростанция

USING NON-TRADITIONAL RENEWABLE ELECTRICITY SOURCES IN MOUNTAIN TERRITORIES

Klyuev R. V., Arslanbekov B.A., Donchenko V.A.

*North Caucasian Institute of mining and metallurgy
(State Technological University), Vladikavkaz*

Abstract: The paper outlines the main types of non-conventional renewable sources of electricity that are used in mountain areas to provide power to consumers. Under the conditions of the Republic of North Ossetia-Alania, the prospects for the use of wind power plants (WPPs), solar power stations (SPP) and geothermal stations (GeoPP) are considered.

Keywords: solar, wind, geothermal, power station.

В условиях горных территорий Северного Кавказа наиболее актуальным с точки зрения безопасности и экономической эффективности является использование возобновляемых источников электроэнергии для энергообеспечения потребителей. В работе рассмотрены результаты выбора ветроэлектростанции (ВЭС) для горного поселка РСО-Алания, солнечной электростанции (СЭС) для электроснабжения учебной лаборатории кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (далее ЭПП) ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)» и расчет геотермальной станции (ГеоЭС).

Ветровая электростанция

На кафедре ЭПП был рассмотрен проект ветровой электростанции для села Ахсарисар в РСО-Алания с целью энергообеспечения энергией определенного количества домов в РСО-Алания.

Для рассматриваемой местности (селение Ахсарисар) была построена роза ветров. Были проведены расчёты по выбору требуемого для электростанции генератора и срока окупаемости от установки ВЭС. Установка ВЭС в данном горном поселке является целесообразной.

На рисунке 1 изображена схема электроснабжения потребителей в горных территориях за счет использования ветрогенератора.

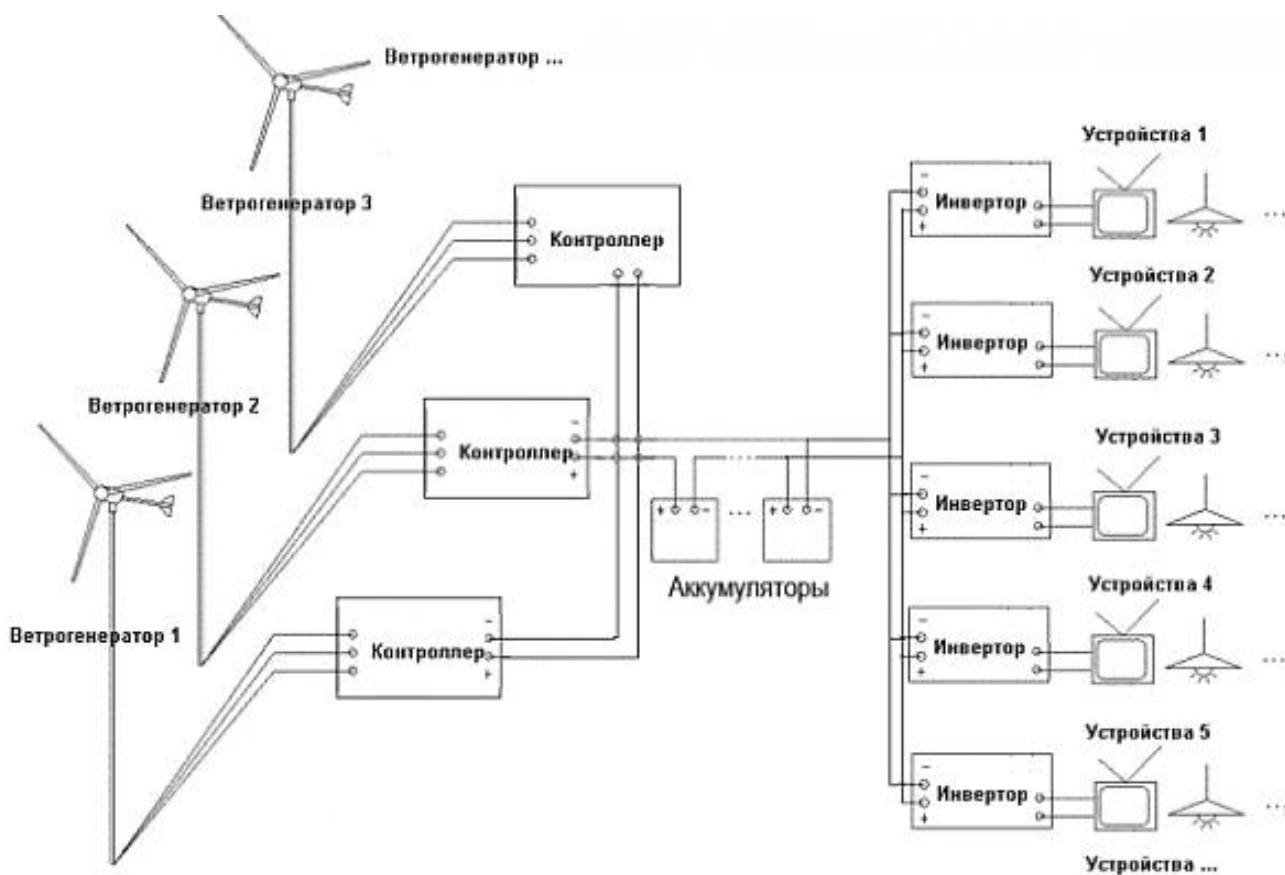


Рисунок 1 – Схема электроснабжения потребителей от ветрогенератора

Данная система включает в себя генераторы, контроллеры, аккумуляторы, аппараты коммутационно-защитной аппаратуры, и инверторы.

В схеме обеспечено бесперебойное энергоснабжение потребителей электроэнергией с помощью аккумуляторов (АКБ). Полученная энергия поступает на заряд АКБ посредством контроллера. От АКБ напряжение идет на инвертор, который выполняет функции преобразования постоянного напряжения 24 В в переменное 220 В с частотой 50 Гц.

Согласно расчетам по смете стоимость ветровой электростанции в полном комплекте составляет ориентировочно 11,2 млн. руб.

Срок окупаемости ВЭС рассчитывается по выражению:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{Z + U_{\text{э}}}{P},$$

где P – прибыль предприятия без вычета затрат на покупку ВЭС в год (рассчитывается как произведение стоимости кВт·ч энергии в рассматриваемом районе на годовое потребление);

Z – затраты вложенные на покупку ВЭС;

$U_{\text{э}}$ – эксплуатационные издержки за весь срок службы (25%).

Стоимость электроэнергии в поселке Ахсарисар составляет 3 руб/кВт·ч.

$$T_{\text{окуп}} = \frac{11155500 + 2788875}{2314319} = 6 \text{ лет.}$$

Срок окупаемости вложений в электростанцию составляет 6 лет, следовательно, покупка данной ВЭС является эффективной.

Солнечная электростанция

В работе дано новое решение актуальной научной задачи обеспечения повышения эффективности систем электроснабжения в горных территориях с использованием нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Был проведен анализ сложившейся в мире ситуации в области развития солнечной энергетики. Выполнен обзор по видам солнечных панелей с повышенным коэффициентом полезного действия (КПД).

Установлено, что в силу значительной протяженности территории Российской Федерации в различных регионах уровни солнечной радиации существенно изменяются.

В ходе анализа было выявлено географическое местоположение и необходимое оборудование для электроснабжения потребителей с помощью солнечной электростанции.

Исследованы наиболее существенные факторы, способствующие повышению КПД солнечной электростанции.

Был выполнен расчет солнечной электростанции для обеспечения резервного электроснабжения учебной лаборатории кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)». Рассчитана полезная удельная энергия солнца в условиях РСО-Алания.

Разработана методика оптимизации структуры электроснабжения, которая позволяет решить задачи, связанные с перспективным планированием системы энергоснабжения за счет использования альтернативных энергоисточников, а также связанные со снижением вредных выбросов в окружающую среду.

Расчет нагрузки лаборатории приведен в таблице 1.

Таблица 1

Расчет нагрузки лаборатории

Наименование потребителя	Установленная мощность, кВт	Коэффициент использования, $k_{и}$	Расчетная нагрузка, кВт
Стенд 1	2	0,1	0,2
Стенд 2	0,4	0,2	0,8
Стенд 3	0,3	0,1	0,3
Стенд 4	0,2	0,1	0,2
Итого:			1,5

Таким образом, расчетная нагрузка лаборатории составит 1,5 кВт.

Далее производим выбор наиболее оптимального варианта оборудования, исходя из расчёта общей стоимости системы электроснабжения.

Исходя из необходимой расчетной нагрузки 1,5 кВт (табл. 1) выбираем солнечную электростанцию SolarElectro.

Срок окупаемости в ходе установки СЭС составит:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{116376 + 969,8}{17613,4} = 6,7 \text{ лет.}$$

Использование солнечной электростанции для резервного электроснабжения лаборатории учебного корпуса университета можно считать экономически обоснованным, исходя из того, что средний срок окупаемости по РФ для станций подобного типа составляет 17 лет.

Геотермальная станция

В отношении использования геотермальных станций для энергообеспечения потребителей в горных территориях РФ следует отметить, что ГеоЭС должны занять важное место в общем балансе использования энергии.

В частности, для реструктуризации и перевооружения энергетики Камчатской области и Курильских островов и частично Приморья, Сибири и Северного Кавказа следует использовать собственные геотермальные ресурсы;

В работе приведены расчеты тепловой схемы геотермальной электростанции бинарного типа для условий Северного Кавказа.

В таблице 2 приведены исходные данные для расчета ГеоЭС.

Таблица 2

Исходные данные для расчета ГеоЭС

$N_{\text{э}}^{\text{нм}}$, МВт	$p_{\text{ГВ}}$, МПа	$t_{\text{ГВ}}$, °С	$p_{\text{Р}}$, МПа	$\Delta t_{\text{г}}$, °С	$t_{\text{ХВ}}$, °С
1,2	17	180	0,24	44	6

На рисунке 2 представлена принципиальная схема ГеоЭС бинарного типа.

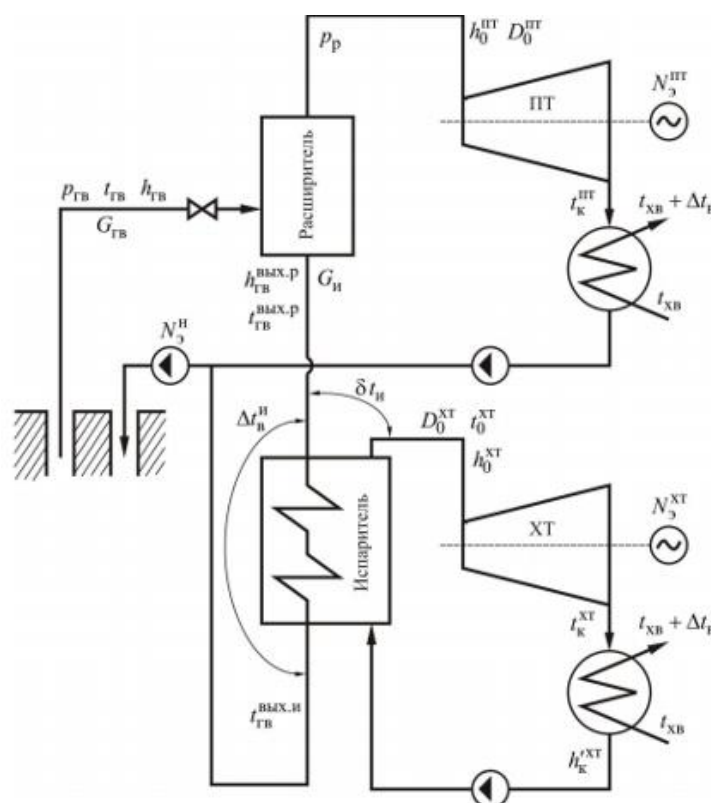


Рисунок 2 – Принципиальная схема ГеоЭС бинарного типа

Согласно схеме на рис. 2 и исходным данным производим расчеты.
Электрическая мощность ГеоЭС:

$$N_{\text{ГеоЭС}} = N_{\text{Г}}^{\text{xm}} + N_{\text{Г}}^{\text{nm}} - N_{\text{Г}}^{\text{n}};$$
$$N_{\text{ГеоЭС}} = 71 \cdot 10^6 + 1 \cdot 10^6 - 14 \cdot 10^6 = 58 \text{ МВт}.$$

В заключении следует отметить перспективность использования возобновляемых источников электроэнергии в условиях горных территорий Северного Кавказа [1-18].

Список использованных источников

1. Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015 г.
2. Гаврина О.А., Маркин А.С. Электробалансы и повышение эффективности режимов электропотребления промышленных предприятий // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Материалы конференции. 2017. С. 515-518.
3. Ключев Р.В., Гаврина О.А. Задачи построения единой промышленно-энергетической системы // В сборнике: Наука, образование, общество: актуальные вопросы и перспективы развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 4 частях. ООО «АР-Консалт». 2015. С. 68-69.
4. Ключев Р.В., Котова О.А., Гаврина О.А. Результаты эффективного управления единой промышленно-энергетической системой в горных территориях // В сборнике: Кибернетика энергетических систем Сборник материалов XXXVII сессии семинара. 2015. С. 9-12.
5. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Лысоконь Э.С., Тараник А.В. Результаты проведения энергоаудита в системе электроснабжения водоснабжающего предприятия РСО-АЛАНИЯ // В сборнике: WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS сборник статей XIX Международной научно-практической конференции : в 3 ч.. 2018. С. 175-179.
6. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Лагкуев Д.Х., Теблов С.К., Цакоев М.Т. Использование нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии в учебном процессе кафедры "Электроснабжение промышленных предприятий" при подготовке магистров // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. 2017. С. 827-831.
7. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Джиникаев А.О., Икаев А.Э., Теблов С.К. Использование ветроэлектростанций для электроснабжения потребителей в горных территориях // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. 2017. С. 756-759.
8. Гаврина О.А., Босиков И.И., Берко И.А. Разработка методов по улучшению использования электрооборудования природно-промышленной системы горно-перерабатывающего

комплекса // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 2 (82). С. 12-19.

9. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В. Экспертно-кластерный анализ технологических показателей на предприятиях по производству твердых сплавов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. №4 (84). С. 15-22.

10. Сидоров Д.В., Гаврина О.А., Берко И.А., Галкина О.Ю. Обзор методов построения математических моделей статических режимов для управления непрерывными технологическими процессами // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 4. № 12. С. 9-12.

11. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Цомаев С.М., Чехоев З.Р. Расчет дистанционной защиты воздушных линий напряжением 110 кВ // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. 2016. С. 295-298.

12. Гаврина О.А., Ключев Р.В., Лысоконь Э.С., Гудиев Т.Т. Анализ потерь электроэнергии в распределительных сетях 6 кВ предприятия нефтегазовой отрасли // В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 407-410.

13. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A. Development of mathematical model for specific power consumption of resistance furnaces at non-ferrous metallurgy enterprises // В сборнике: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) electronic edition. 2018. С. 8501831.

14. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch. System analysis of power consumption by nonferrous metallurgy enterprises on the basis of rank modeling of individual technocenosis castes // В сборнике: MATEC Web of Conferences 2018. С. 04018.

15. Гаврина О.А., Бестаев А.С., Бигаев Р.К. Результаты проведения комплексного теплоэнергетического обследования горно-металлургического предприятия // В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей XIX Международной научно-практической конференции : в 2 ч.. 2019. С. 86-90.

16. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Кортиев Р.А. Система анализа надежности промышленно-технической системы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 66-74.

17. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В., Лысоконь Э.С. Концепция функционирования единой промышленно-энергетической системы в горных территориях // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 55-65.

18. Босиков И.И., Цидаев Б.С., Гаврина О.А. Разработка методов для повышения эффективности оценки, анализа и разработки месторождений железистых кварцитов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № S25. С. 162-170.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ РСО-АЛАНИЯ

Клюев Р. В., Галкина О.Ю., Тотров Б.В., Каджаев О.В.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ,
kluev-roman@rambler.ru

Аннотация: В работе дана характеристика малых ГЭС РСО-Алания, приведено решение одной из актуальных задач повышения эффективности их работы. Задача заключается в расчете режима обеспечения максимальной мощности МГЭС по среднегодовому расходу воды.

Ключевые слова: малая гидроэлектростанция, система электроснабжения, мощность

METHODS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF WORK OF SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS OF RNO-ALANIA

Klyuev R. V., Galkina O.Yu., Totrov B.V., Kadzhaev O.V.

*North Caucasian Institute of mining and metallurgy
(State Technological University), Vladikavkaz*

Abstract: *In the work, the characteristic of small hydropower stations of the Republic of North Ossetia-Alania is given, the solution of one of the urgent problems of increasing the efficiency of their work is given. The task is to calculate the mode of ensuring the maximum power of the SHPP according to the average annual water consumption.*

Keywords: *small hydroelectric station, power supply system, power.*

Выбор эффективной системы энергоснабжения на основе малых гидроэлектростанций (МГЭС) это достаточно сложная и комплексная задача. Для решения этой задачи необходимо учитывать влияние природных, экологических, социальных, экономических, технических и многих других факторов. В работе дана характеристика МГЭС на примере РСО-Алания и произведен расчет режима обеспечения максимальной мощности МГЭС по среднегодовому расходу воды. Для РСО-Алания характерно наличие рельефа горной местности и значительного гидроэнергетического потенциала порядка 22,7 млрд кВт·ч. Наиболее крупным является бассейн реки Терек, водотоками которого являются реки Гизельдон, Фиагдон, Ардон, Урсдон. На рис. 1, 2 приведены однолинейные электрические схемы Беканской ГЭС (мощность ГЭС - 0,54 МВт, среднегодовая выработка - 0,808 млн.кВт·ч) и Кора-Урсдонской ГЭС (мощность ГЭС - 0,63 МВт, среднегодовая выработка - 0,8 млн. кВт·ч).

Для обеспечения оптимального графика работы высоконапорных ГЭС по расходу воды и мощности генераторов и осуществления возможности регулирования сработки-наполнения водохранилища в соответствии с задаваемым энергосистемой графиком нагрузки необходимо провести исследование, расчет и прогнозирование ее водно-энергетических параметров (ВЭР). В работе пред-

ставлены результаты расчета режима обеспечения максимальной мощности МГЭС по среднегодовому расходу воды. Исходные данные, используемые для проведения ВЭР:

КПД ГЭС:

$$\eta_{ГЭС} = 0,836.$$

Переводной коэффициент мощности:

$$k_N = \eta_{ГЭС} \cdot 9,81; k_N = 8,2.$$

Расчетный по мощности напор агрегата, м:

$$H_{pN} = 126,5$$

Установленная мощность ГЭС, кВт

$$N_{ГЭС.уст} = 6400$$

Полная мощность ГЭС, кВА

$$S_{ГЭС.полн} = 8000$$

Коэффициент мощности ГЭС

$$\cos\varphi = 0,8$$

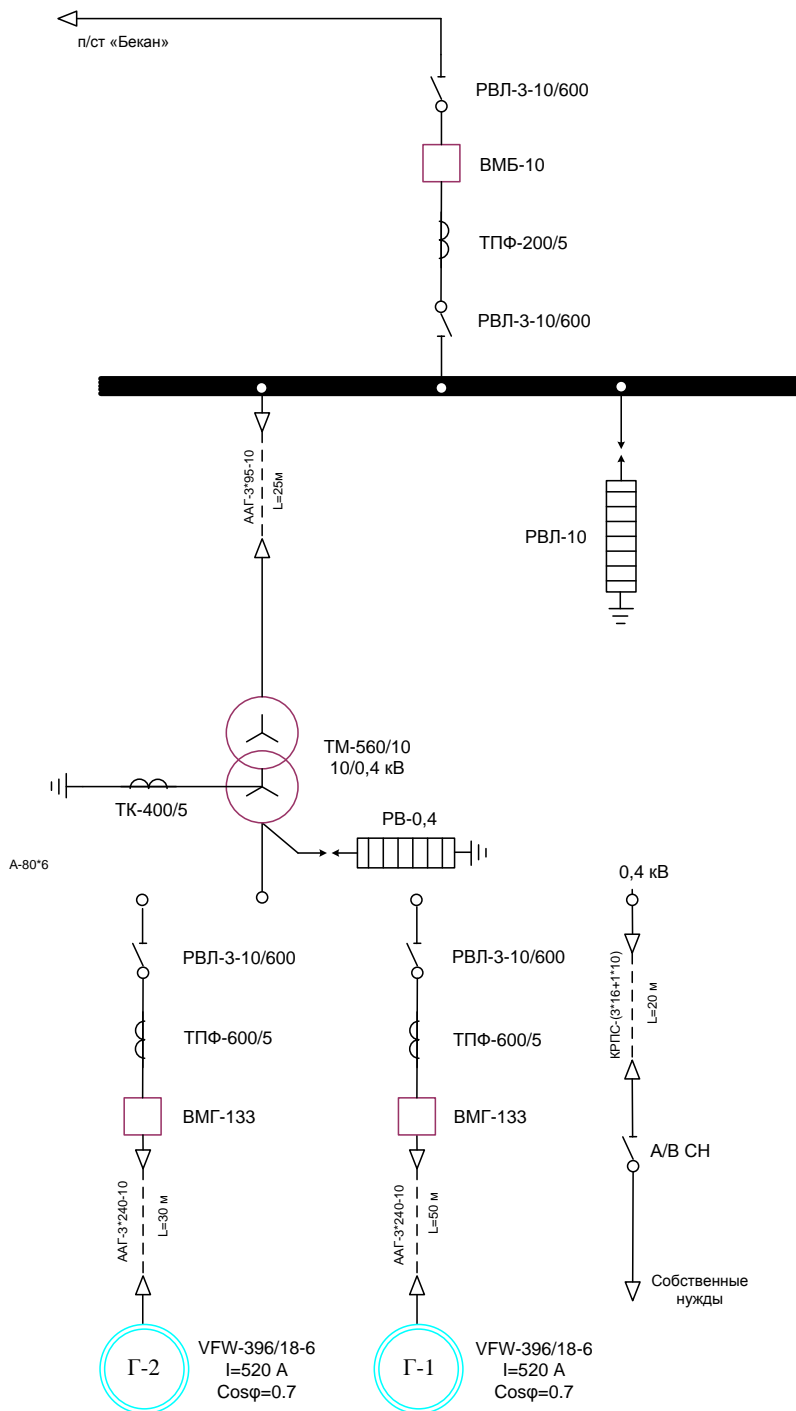


Рисунок 1 – Однолинейная электрическая схема Беканской ГЭС

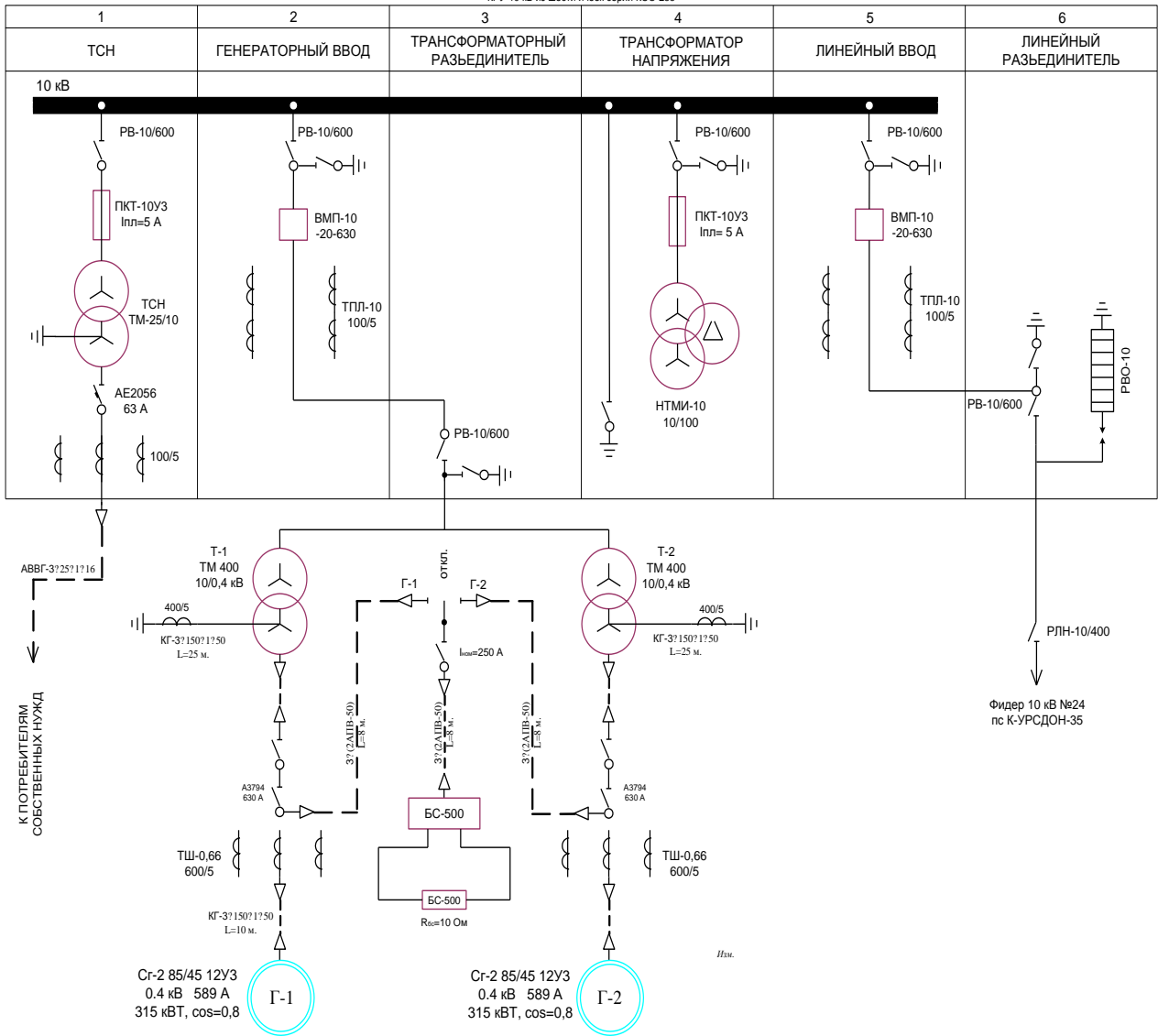


Рисунок 2 – Однолинейная электрическая схема Кора-Урсдонской ГЭС

Расчетные значения параметров гидроресурсов:

Отметки верхнего бьефа: $Z_{вб} = 1536$ м.

Отметки нижнего бьефа:

$$z_{нб} = (1408,5 \quad 1409 \quad 1409,5 \quad 1410 \quad 1410,5) \text{ м.}$$

Расход воды нижнего бьефа, принимаемый по гидрографу равным среднему расходу воды по отдельным зонам гидрографа р. Сонгутидон (табл. 1.2):

$$Q_{нб} = (0,71 \quad 2,6 \quad 7,2 \quad 1,86 \quad 0,87) \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Холостой сброс воды: $Q_{х.сбр} = 0$; отметка верхнего бьефа $z_{вб} = 1536$ м; приточность к створу гидроузла (1 зона): $Q_{пр} = 0,71 \text{ м}^3/\text{с}$.

Отметка нижнего бьефа в зависимости от предельного расхода воды ГЭС $z_{\text{нб}}(Q_{\text{ГЭС.пред}})$:

$$z_{\text{нб}} = \begin{cases} m \leftarrow 1 \\ \text{while } Q_{\text{нб}} \geq Q_{\text{нб}, i, m} \\ m \leftarrow m + 1 \\ z_{\text{нб}, i, m} - \frac{(z_{\text{нб}, i, m} - z_{\text{нб}, i, m-1})(Q_{\text{нб}, i, m} - Q_{\text{нб}})}{(Q_{\text{нб}, i, m} - Q_{\text{нб}, i, m-1})} \end{cases}$$

$$z_{\text{нб}} = 1408,5 \text{ м.}$$

Напор агрегата:

$$H_a = z_{\text{вб}} - z_{\text{нб}}; H_a = 127,5 \text{ м.}$$

Предельный расход воды ГЭС в зависимости от напора агрегата $Q_{\text{ГЭС.пред}}(H_a)$:

$$Q_{\text{ГЭС.пред}} = \begin{cases} \frac{N_{\text{ГЭС.уст}}}{H_a \cdot k_N} & \text{if } H_a \geq H_{\text{pN}} \\ \frac{N_{\text{ГЭС.уст}}}{H_{\text{pN}} \cdot k_N} \sqrt{\frac{H_a}{H_{\text{pN}}}} & \text{otherwise} \end{cases};$$

$$Q_{\text{ГЭС.пред}} = 6,121 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Предельная мощность ГЭС:

$$N_{\text{ГЭС}} = k_N \cdot H_a \cdot Q_{\text{нб}}; N_{\text{ГЭС}} = 6400 \text{ кВт.}$$

Значения $z_{\text{нб}}$, $Q_{\text{ГЭС.пред}}$ и $N_{\text{ГЭС}}$, полученные при изменении приточности к створу гидроузла (табл. 1.2), составили:

$$Q_{\text{пр}} = 2,6 \text{ м}^3/\text{с}; z_{\text{нб}} = 1409 \text{ м}; Q_{\text{ГЭС.пред}} = 6,145 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; N_{\text{ГЭС}} = 2718 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{пр}} = 7,2 \text{ м}^3/\text{с}; z_{\text{нб}} = 1409,5 \text{ м}; Q_{\text{ГЭС.пред}} = 6,169 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; N_{\text{ГЭС}} = 7526 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{пр}} = 1,86 \text{ м}^3/\text{с}; z_{\text{нб}} = 1408,8 \text{ м}; Q_{\text{ГЭС.пред}} = 6,135 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; N_{\text{ГЭС}} = 1944 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{пр}} = 0,87 \text{ м}^3/\text{с}; z_{\text{нб}} = 1408,5 \text{ м}; Q_{\text{ГЭС.пред}} = 6,123 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; N_{\text{ГЭС}} = 909,4 \text{ кВт}.$$

В заключении следует отметить, что полученные результаты могут быть использованы на аналогичных гидроэлектростанциях [1-28].

Список использованных источников

1. Ключев Р.В. Анализ устойчивой работы высокогорной гидроэлектростанции // Вестник Иркутского государственного технического университета, Иркутск, №1, 2010. с. 263-268.
2. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Долганов А.А. Исследование и расчет устойчивости работы высокогорных малых гидроэлектростанций (МГЭС) // Устойчивое развитие горных территорий, №3 (9), 2011, с. 50-58.
3. Ключев Р.В. Разработка и исследование критериев эффективного производства электроэнергии на ГЭС и системный анализ ее потребления на предприятиях цветной металлургии // Устойчивое развитие горных территорий, №4 (10), 2011, С. 12-19.
4. Ключев Р.В. Оценка влияния быстродействующего автоматического повторного включения на динамическую устойчивость электроэнергетической системы // Известия вузов. Электромеханика. 2012. №2. С.67-69.
5. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Кочиев П.Г. Моделирование водно-энергетических режимов устойчивой работы Зарамагской ГЭС-1 // Труды СКГМИ, юбилейный выпуск, 2006, с. 333-338.
6. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Кочиев П.Г. Исследование и расчет статической устойчивости Головной ЗГЭС при дискретном изменении нагрузки в энергосистеме «Севкавказэнерго» // Депонир. в ВИНТИ, №1605-В2006, СКГМИ (ГТУ), Владикавказ, 2006.
7. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Кочиев П.Г. Исследование и расчет динамической устойчивости Головной ГЭС ЗАГЭС при больших возмущениях в энергетической системе «Севкавказэнерго» // Депонир. в ВИНТИ, №1606-В2006, СКГМИ (ГТУ), Владикавказ, 2006.
8. Ключев Р.В., Долганов А.А. Исследование статической устойчивости высоконапорной ГЭС при работе синхронных генераторов с различными генераторами возбуждения // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых, Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009, с. 81-84.
9. Ключев Р.В. Комплексная методика оценки устойчивой работы высоконапорной ГЭС // Сборник работ молодых ученых международной научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки». – Владикавказ, 2010, с. 19-22.
10. Ключев Р.В. Роль высоконапорной ГЭС в энергетической системе РСО-Алания // Материалы VII международной научной конференции «Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений». – Владикавказ, 2010.
11. Ключев Р.В. Анализ динамической устойчивости высоконапорной ГЭС в аварийных режимах // Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Инновации и актуальные проблемы техники и технологий». – Саратов: Изд-во СГТУ. Т.2, 2010, с. 204-206.
12. Ключев Р.В., Долганов А.А. Математическая модель определения предельного времени отключения короткого замыкания при исследовании динамической устойчивости высоконапорной ГЭС // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых, Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2010, с. 68-71.

13. Ключев Р.В., Гаврина О.А. Задачи построения единой промышленно-энергетической системы // В сборнике: Наука, образование, общество: актуальные вопросы и перспективы развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 4 частях. ООО «АР-Консалт». 2015. С. 68-69.
14. Ключев Р.В., Котова О.А., Гаврина О.А. Результаты эффективного управления единой промышленно-энергетической системой в горных территориях // В сборнике: Кибернетика энергетических систем Сборник материалов XXXVII сессии семинара. 2015. С. 9-12.
15. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Лысоконь Э.С., Тараник А.В. Результаты проведения энергоаудита в системе электроснабжения водоснабжающего предприятия РСО-АЛАНИЯ // В сборнике: WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS сборник статей XIX Международной научно-практической конференции : в 3 ч.. 2018. С. 175-179.
16. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Лагкуев Д.Х., Теблоев С.К., Цакоев М.Т. Использование нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии в учебном процессе кафедры "Электроснабжение промышленных предприятий" при подготовке магистров // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. 2017. С. 827-831.
17. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Джиникаев А.О., Икаев А.Э., Теблоев С.К. Использование ветроэлектростанции для электроснабжения потребителей в горных территориях // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. 2017. С. 756-759.
18. Гаврина О.А., Босиков И.И., Берко И.А. Разработка методов по улучшению использования электрооборудования природно-промышленной системы горно-перерабатывающего комплекса // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 2 (82). С. 12-19.
19. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В. Экспертно-кластерный анализ технологических показателей на предприятиях по производству твердых сплавов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. №4 (84). С. 15-22.
20. Сидоров Д.В., Гаврина О.А., Берко И.А., Галкина О.Ю. Обзор методов построения математических моделей статических режимов для управления непрерывными технологическими процессами // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 4. № 12. С. 9-12.
21. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Цомаев С.М., Чехоев З.Р. Расчет дистанционной защиты воздушных линий напряжением 110 кВ // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. 2016. С. 295-298.
22. Гаврина О.А., Ключев Р.В., Лысоконь Э.С., Гудиев Т.Т. Анализ потерь электроэнергии в распределительных сетях 6 кВ предприятия нефтегазовой отрасли // В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 407-410.
23. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A. Development of mathematical model for specific power consumption of resistance furnaces at non-ferrous metallurgy enterprises // В сборнике: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) electronic edition. 2018. С. 8501831.

24. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch. System analysis of power consumption by nonferrous metallurgy enterprises on the basis of rank modeling of individual technocenosis castes // В сборнике: МАТЕС Web of Conferences 2018. С. 04018.

25. Гаврина О.А., Бестаев А.С., Бигаев Р.К. Результаты проведения комплексного теплоэнергетического обследования горно-металлургического предприятия // В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей XIX Международной научно-практической конференции : в 2 ч.. 2019. С. 86-90.

26. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Кортиев Р.А. Система анализа надежности промышленно-технической системы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 66-74.

27. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В., Лысоконь Э.С. Концепция функционирования единой промышленно-энергетической системы в горных территориях // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 55-65.

28. Босиков И.И., Цидаев Б.С., Гаврина О.А. Разработка методов для повышения эффективности оценки, анализа и разработки месторождений железистых кварцитов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № S25. С. 162-170.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Жданов В.Г., Логачева Е.А.

ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет,
elena.logacheva2010@yandex.ru

Аннотация: Рассмотрены вопросы автоматизации процессов планирования и управления технического обслуживания и ремонта электрооборудования на основе применения методов математического программирования.

Ключевые слова: автоматизация, техническое обслуживание, ремонт электрооборудования, методы математического программирования, алгоритм управления процессом.

THE IMPROVEMENT OF THE PRODUCTION PROCESS OF MAINTENANCE AND REPAIR OF ELECTRICAL EQUIPMENT

Zhdanov V.G., Logacheva E.A. Ph. D.

Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia, elena.logacheva2010@yandex.ru

Abstract: *examines matters relating to the automation of the processes of planning and management of maintenance and repair of electrical equipment based on mathematical programming techniques.*

Keywords: *automation, maintenance, repair of electrical equipment, methods, mathematical programming, process management algorithm.*

Современное техническое обслуживание электрооборудования необходимо рассматривать как производственный процесс, включающий в себя работы по многим важным направлениям. Здесь одновременно выполняются финансирование и материальное обеспечение, регулирование численности ремонтного и оперативного персонала, выбор и реализация различных стратегий обслуживания электрооборудования, планирование ремонта с учетом полезного использования и продленных сроков службы оборудования и т.д. Повысить эффективность работы электротехнических служб (ЭТС) в вопросах технического обслуживания и ремонта электрооборудования можно путем разработки и внедрения автоматизированного рабочего места (АРМ) руководителя ЭТС[1].

В целом АРМ руководителя ЭТС следует отнести к категории сложных систем. Основой для этого служат следующие признаки: наличие большого числа взаимосвязанных элементов, многофункциональность системы и входящих в нее элементов, наличие нескольких каналов взаимодействия элементов (обмен информацией, энергией, материалами и т. д.), наличие у всей системы общей цели, стохастический характер взаимодействия системы с внешней средой, иерархический характер управления в системе [1,2,3].

Любой сложный комплекс, если подходить к нему с позиций технической кибернетики, состоит из управляющей и управляемой систем, связанных между собой каналами передачи информации.

Рассматривая ЭТС как сложную взаимосвязанную систему, можно выделить в ней управляемую часть – персонал и комплекс машин и оборудования, участвующих в проведении эксплуатационных мероприятий, и управляющую часть – коллектив людей и комплекс устройств, разрабатывающих план-график проведения мероприятий, контролирующих ход их выполнения и осуществляющих корректировку графика [1,2,3,4].

Процессу обслуживания электрооборудования соответствует некоторая многополюсная система с несколькими входами (по количеству входных переменных, участвующих в производственном процессе) и несколькими выходами по количеству получаемых результатов. Векторы \bar{X} и \bar{K} ориентируют все параметры, характеризующие входную и выходную информацию.

Считая, что вся доступная информация о поведении объекта содержится в m функциях времени $\{\psi_{ij}\}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$), где n – количество учитываемых параметров процесса на j – ом участке, m – количество производственных участков, можно рассматривать $\{\psi_{ij}\}$ как компоненты mn -мерного вектора $\bar{\psi}(t)$, называемого вектором состояния $\bar{F}(t)$ управляемого объекта

$$\bar{\Psi}(t) = \begin{pmatrix} \{\psi_{i1}\} \\ \{\psi_{i2}\} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \{\psi_{im}\} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Состояние объекта может изменяться под влиянием трех факторов: внешней среды, неконтролируемого изменения динамических свойств объекта, управляющих воздействий.

С учетом этого, функциональные уравнения, описывающие управляемый производственный процесс, в общем виде могут быть представлены тремя группами:

1. Уравнения связи, устанавливающие зависимость выходных параметров от входных

$$S_i(\bar{X}, \bar{K}, \bar{\Psi}, \bar{F}, \bar{Z}, t) = 0. \quad (2)$$

При этом ограничения, определяющие допустимые пределы изменения управляемых параметров, а также характеризующие требования к выходным параметрам (технические условия), могут быть в общем виде представлены совокупностью неравенств

$$\{C_{\varphi}(\bar{X}, \bar{K}, \bar{\Psi}, \bar{F}, \bar{Z}, t)\} \left\{ C_{\varphi}^*(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{\Psi}, \bar{F}, \bar{Z}, t) \right\}. \quad (3)$$

2. Уравнения, позволяющие выполнить оценку технико-экономической эффективности управления и оценить степень соответствия того или иного управления поставленной перед системой цели управления

$$E(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{F}, \bar{Z}, t) = \text{extr}. \quad (4)$$

3. Уравнения управления, представляющие собой алгоритм управления, обеспечивающий выполнение уравнений показателей эффективности (4) при известных уравнениях связи (2) и заданных ограничениях (3):

$$\bar{Z} = Z(\bar{X}, \bar{K}, \bar{\Psi}, F, t). \quad (5)$$

Дополнительные уравнения связей

$$S(\bar{Z}, r) = 0. \quad (6)$$

Дополнительные условия связей определяют функциональную зависимость управляемых параметров s от решений \bar{Z} , вырабатываемых управляющей системой.

Задача управления производственным процессом может быть сформулирована в общем виде следующим образом: при заданных уравнениях связи (2) и ограничениях (3) найти и реализовать алгоритм управления (5), обеспечивающий значение показателей технико-экономической эффективности (4) не меньше (не больше) допустимых для них значений.

Предполагая использование обобщенного показателя качества системы в виде свертки частных показателей качества математическую формулировку задачи управления процессом обслуживания, эти требования можно представить следующим образом

$$(z_1, z_2, \dots, z_w) \rightarrow E = \text{extr}. \quad (7)$$

Представленная на рисунке 1 функциональная схема АСУ производственным процессом ЭТС состоит из управляемой и управляющей систем [1,4,5].

Управляемая система представляет собой участок производства, на котором реализуется ряд процессов – проводятся плановые мероприятия по техническому обслуживанию и текущему ремонту, а также выполняются оперативные мероприятия (ОО).

При территориальной структуре построения ЭТС (участок 1) электромонтеры, работающие на участке, выполняют весь комплекс профилактических работ, при функциональной структуре (участок 2) в ЭТС создаются специализированные бригады отдельно для проведения технического обслуживания и текущего ремонта.

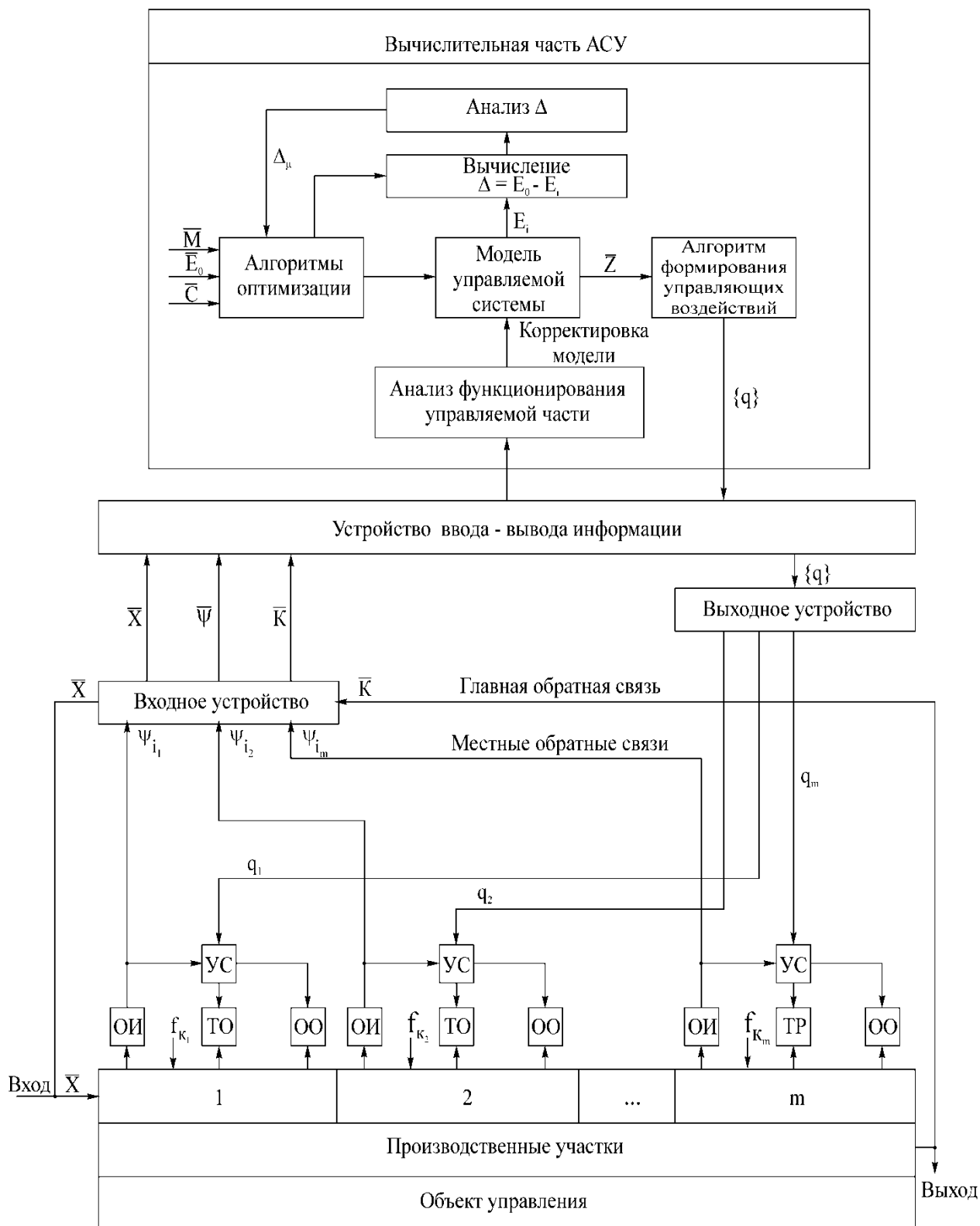


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизированного управления производственной деятельностью ЭТС

Ход производственного процесса контролируется управляющей системой (УС). Первичная информация, поступающая с объектов, является оперативной (ОИ). На вход входного устройства передается информация,

включающая векторы $\bar{X}, \bar{\Psi}, \bar{K}, \bar{F}$. После обработки эта информация поступает на вход системы ввода – вывода информации и вводится в вычислительную часть АРМ. Туда же вводятся задаваемые системой более высокого ранга задания \bar{M} , установленный рассматриваемому производственному участку критерий эффективности \bar{E}_o и ограничения технологического процесса.

Основным блоком вычислительной части АРМ является блок, реализующий модель управляющей части системы. В соответствии с заранее разработанными правилами – алгоритмами оптимизации модель прогнозирует ход и вырабатывает вектор управления \bar{Z} , который с помощью алгоритма управляющих воздействий преобразуется в план–график последовательных воздействий $\{q\}$ на управляемую часть системы. Управляющие воздействия, приказы и команды на проведение мероприятий выдаются вычислительной частью АРМ через выходное устройство.

Так как модель является лишь приближенным отображением реального объекта, то практически достигаемая величина критерия эффективности E_r будет отличаться от идеального (заданного) значения величины E_o . Анализ величины $\Delta = E_o - E_r$ позволяет выявить расхождение между моделью и реальной системой и выработать корректирующее воздействие на модель Δ_μ , уменьшающее это расхождение.

С учетом изложенного, задачу управления производственным процессом технического обслуживания и ремонта электрооборудования сельскохозяйственных предприятий по графику ТОР сформулируем следующим образом: при заданных уравнениях связи и ограничениях найти и реализовать алгоритм управления, обеспечивающий оптимизацию технико-экономических показателей [1, 2, 3, 4].

Математическая модель этой задачи записывается следующим образом: определить матрицу назначения $X = \|x_{ij}\|$, удовлетворяющую условиям

$$\Delta = T - T_0 = 0, \text{ откуда} \quad (8)$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - x'_{ij}) = 0 \quad (9)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (i = \overline{1, m}) \quad (10)$$

(все заявки должны быть выполнены);

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad (j = \overline{1, n}) \quad (11)$$

(недельный фонд времени выполнения не должен быть превышен),
при граничных условиях

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \quad (12)$$

При этом

$$E_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (13)$$

$$E_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (14)$$

E_1 – показатель технико-экономической эффективности, отражающий оптимизацию графика ТОР по составу исполнителей;

E_2 – показатель технико-экономической эффективности, отражающий затраты при выборе оптимальных маршрутов перемещения исполнителей для обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных объектов;

c_{ij} – показатель стоимости профилактических работ;

δ_{ij} – единица измерения длины маршрутов обслуживания.

Блок-схема алгоритма управления процессом производства ТОР электрооборудования представлена на рисунке 2 [1, 5, 6, 9]. Моделирующий алгоритм представим в виде операторной схемы, содержащей последовательность операторов, каждый из которых изображает достаточно крупную группу элементарных операций, отражающих в совокупности логическую структуру алгоритма. При записи операторной схемы будем пользоваться следующими обозначениями: A_i – вычислительные операторы (i – порядковый номер оператора).

Оператор A относится к группе арифметических. Запись A_i^j для арифметического оператора означает передачу управления от оператора с номером i к оператору с номером j .

P_i – логические операторы, запись $P_i^{\uparrow j}$ означает передачу управления к оператору с номером j в случае, если условие, проверяемое предикатом P_i , выполняется; запись $P_{i \downarrow k}$ означает передачу управления к оператору с номером k в случае, противоположном указанному.

С помощью моделирующего алгоритма осуществляется отображение модели графика и его корректировка в так называемой зоне А (объекты обслуживания, электрооборудование, трудоемкость ТОР) и прогнозирование состояния его на время θ или заданное число операций, в так называемой зоне В (годовой недельный фонд рабочего времени и трудозатраты на ТОР). Корректировка графика осуществляется изменением порядка расположения производственных объектов, отдельных групп электрооборудования внутри объекта или изменениями, вносимыми в матрицу переходов, при этом отображение графика ТОР в зоне В изменяется автоматически. Управление производственным процессом ТОР электрооборудования осуществляется согласно вектору оптимального управления с использованием графа, определяющего оптимальный маршрут производства работ.

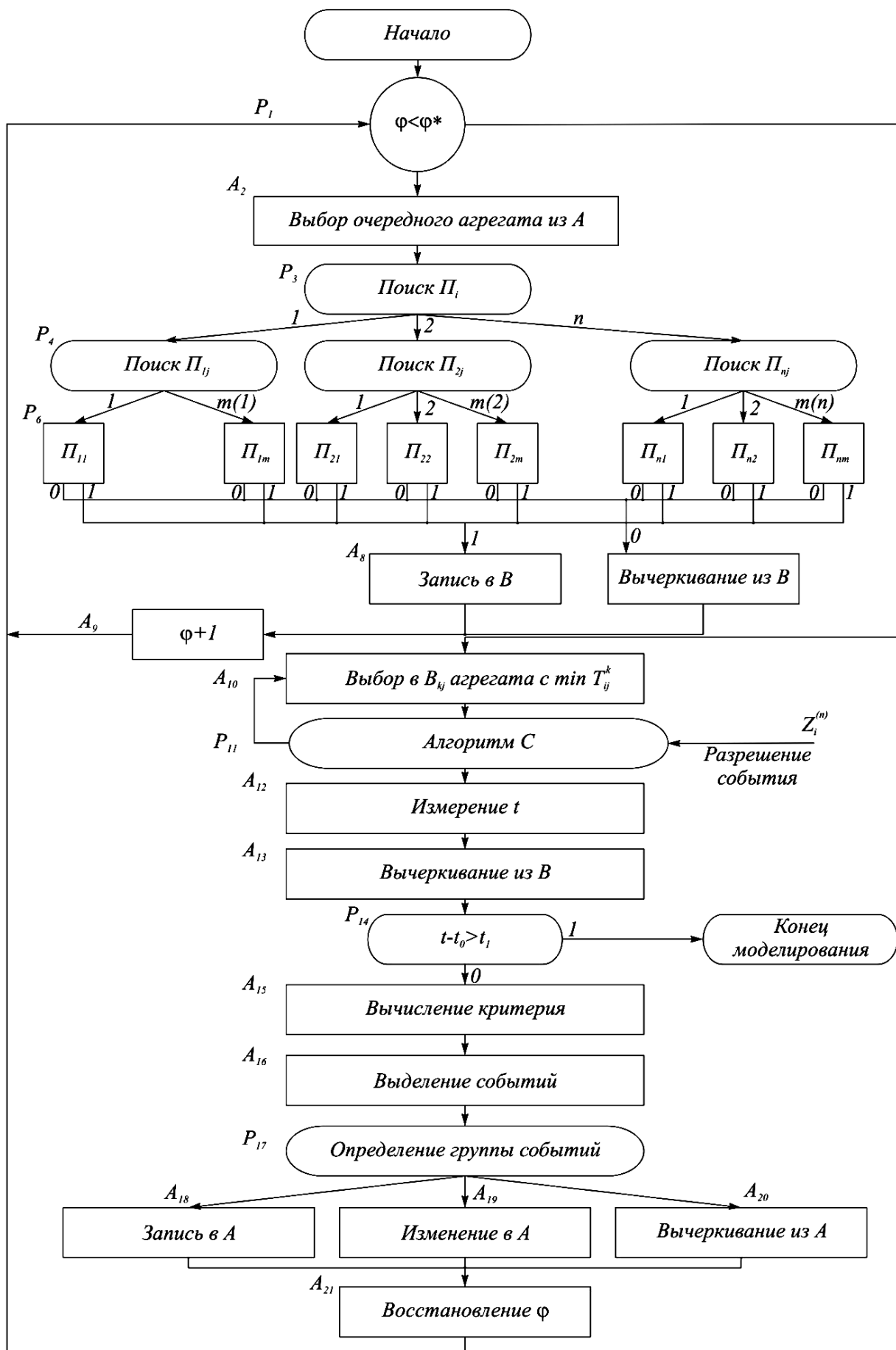


Рисунок 2 – Блок-схема моделирующего алгоритма

В первой части алгоритма, после проверки условия, все ли агрегаты рассмотрены (логический оператор P_1 , где φ^* - максимальное количество агрегатов в системе; φ - количество просмотренных агрегатов), осуществляется выбор очередного k -го агрегата i -й группы N_{ij}^k из зоны A , находящегося в j -м состоянии (вычислительный оператор A_2). Для определения состояния, в которое должен перейти агрегат N_{ij}^k , составляется матрица переходов; в последней для i -й группы агрегатов, находящихся в j -м состоянии, задается адрес преобразователя (адрес ячейки) Π_{ij} , осуществляющего преобразование агрегатов. Поиск преобразователя Π_{ij} выполняется в два этапа по индексам i и j (операторы P_3 и P_4).

Преобразователь Π_{ij} (оператор P_6) проверяет условия перехода агрегата в новое состояние (с учетом ситуации в зоне A) и, если переход возможен (невозможен), формирует выход «1» (выход «0»).

Выход «0» включает программу вычеркивания рассматриваемого агрегата N_{ij}^k из зоны B , если он там записан (оператор A_7), выход «1» – программу записи агрегата в зону B с новым порядком состояния агрегата и временем перехода его в новое состояние (операторы A_7 и A_8).

После того как все агрегаты в зоне A будут рассмотрены с помощью преобразователя Π_{ij} , в зоне B окажутся записанными те агрегаты, которые могут изменить свое состояние в рассматриваемый момент.

Вторая часть алгоритма осуществляет преобразование и обработку информации об агрегатах в соответствии с управляющим алгоритмом C . Оператор A_{10} осуществляет выбор события из зоны B , удовлетворяющего условию $T_{ij}^k \leq t$, где t – текущее время модели и T_{ij}^k – время перехода k -го агрегата i -й группы в j -е состояние. Если для всех агрегатов из зоны B $T_{ij}^k > t$, то первоочередным событием считается такое, для которого $T_{ij}^k = t$. Если имеется несколько событий, которые могут считаться первоочередными, выбор первого из них производится с помощью специального алгоритма C (оператор P_{11}), проверяющего наличие запрещений на изменение состояния агрегата, которые сформулированы в соответствии с командами $Z_i^{(n)}$, задаваемыми управляющим алгоритмом Z . Если для выбранного события $T_{ij}^k > t$, то осуществляется изменение текущего времени модели T_{ij}^k (оператор A_{12}), вычеркивается из зоны B рассмотренный агрегат (оператор A_{13}) и производится проверка, не превысило ли текущее время t заданную длительность моделирования (прогноза) t_1 (оператор P_{14}).

Операторы A_{15} и A_{16} осуществляют оценку варианта, сформированного с помощью управляющего алгоритма Z , с точки зрения его технико-экономических показателей.

В третьей части алгоритма осуществляется формирование зоны A в предположении, что событие, выбранное оператором A_{10} , свершилось. Операторы, формирующие зону A , делятся на три группы. Если агрегат

появился в системе впервые, информация о нем записывается в зону A (оператор A_{18}). Если агрегат находился в системе и изменил свое состояние, то к его порядку состояния в зоне A прибавляется новый порядок состояния и текущее время модели фиксируется как время перехода агрегата в новое состояние (оператор A_{19}). Агрегаты покидающие систему, вычеркиваются из зоны A (оператор A_{20}).

После окончания формирования зоны A управление снова передается оператору P_1 и начинается новый цикл моделирования. Эта процедура продолжается до тех пор, пока не будет выполнено условие $(t - t_0) > t_1$, где t_0 – время начала моделирования (оператор P_{14}).

Отметим, что на базе моделирующего алгоритма возможно решение следующих задач: управление с помощью моделирующего алгоритма хода производственного процесса по проведению ТОР электрооборудования на заданное время и оценка эффективности выполнения работ, согласно технико-экономических показателей; получение информации о состоянии графика ТОР в любой наперед заданный момент времени.

Список использованных источников

1. Жданов В.Г. Повышение надежности и экономичности работы электрооборудования сельскохозяйственных предприятий на основе специализированного автоматизированного рабочего места руководителя электротехнической службы : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Зерноград, 2006. 19 с.
2. Хорольский В.Я., Жданов В.Г. Автоматизация информационных процессов энергослужб предприятий: моногр. Ставрополь: СтГАУ «АГРУС», 2004. 107 с.
3. Логачева Е.А., Жданов В.Г. Программный комплекс для ЭВМ по планированию ремонта электрооборудования // Моделирование производственных процессов и развитие информационных систем : сб. науч. статей по материалам 2-й Междунар. науч.-практ. конф. (г. Ставрополь, 15-16 ноября 2011 г.) / СтГАУ. Ставрополь, 2011. С. 65-67.
4. Жданов В.Г., Логачева Е.А., Кравцов А.В. Математическая модель задачи управления процессом технического обслуживания и ремонта электрооборудования сельскохозяйственных предприятий // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сб. науч. тр. по материалам 75 науч.-практ. конф. электроэнергетического факультета. (г.Ставрополь, 2011 г.) / СтГАУ. Ставрополь, 2011.С. 109-115.
5. Хорольский В.Я. Теоретические и прикладные основы автоматизированного управления деятельностью энергетических служб сельскохозяйственных предприятий / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов, В.Г. Жданов. 2008. 126 с.
6. Хорольский В.Я. Математическое моделирование задач оптимизации автоматизированного управления деятельностью энергетических служб сельскохозяйственных предприятий / В.Я. Хорольский, В.Г. Жданов, Е.А. Логачева – Ставрополь: ООО «Ветеран», 2014. – 116 с.
7. Логачева Е.А., Жданов В.Г. К вопросу о сохранении естественного «электромагнитного фона» окружающей среды при внедрении СВЧ технологий в сельском хозяйстве / В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта промышленного и сельскохозяйственного производства IV международная научная экологическая конференция с участием экологов Азербайджана, Армении, Беларуси, Германии, Грузии, Казахстана, Киргизии, Латвии, Ливана, Молдовы, Приднестровья, России, Словакии, Узбекистана и Украины). 2015. С. 378-38.

8. Горовенко Д.Б., Горовенко Л.А. Применение маркетингового и логистического подходов в управлении сбытовой деятельностью на предприятии // Современные инновационные технологии как одно из условий совершенствования науки, производства и образования. Материалы межвузовской научно-практической конференции АЦВО КубГТУ (22-24 марта 2001 г.). В 2-х частях. Ч. 2. – Армавир: АФЭИ, 2001. – С 123–125.

9. Жданов В.Г., Логачева Е.А. Планирование работ электротехнической службы для разработки АРМ энергетика. В сборнике: Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве. 76 научно-практическая конференция электроэнергетического факультета СтГАУ. 2012. С. 47-49.

10. Логачева Е.А., Жданов В.Г. Повышение качества подготовки технических кадров – основная задача в аграрном образовании // Актуальные проблемы развития вертикальной интеграции системы образования, науки и бизнеса: экономические, правовые и социальные аспекты. Материалы II Международной научно-практической конференции 2014. С.125-130.

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ

Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Салпагаров В.К.

ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ, г. Ставрополь

konoplev82@mail.ru

Аннотация: Рассмотрен синхронный бесщеточный генератор с двухконтурной магнитной системой для ветроэнергетических установок.

Ключевые слова: Синхронный генератор, электроснабжение, автономное электроснабжение, генератор, постоянные магниты, магнитная система.

THE SYNCHRONOUS GENERATOR WITH INCREASED CAPACITY

Nikitenko G. V., Konoplev V. E., Salpagarov V. K.

Stavropol GAU, Stavropol

konoplev82@mail.ru

Abstract: *a synchronous brushless generator with a two-circuit magnetic system for wind power plants is Considered.*

Keywords: *Synchronous generator, power supply, Autonomous power supply, generator, permanent magnets, magnetic system.*

В системах автономного электроснабжения, таких как ветроэнергетические установки [1], используются синхронные и асинхронные генераторы различной конструкции и типов, но наилучшим образом себя зарекомендовали синхронные генераторы на постоянных магнитах, так как обладают высокой надежностью за счет отсутствия щеточного узла, хорошими энергетическими показателями, но отличаются довольно высокой стоимостью и внушительными массогабаритными показателями (особенно генераторы дискового типа).

Повышение энергетических характеристик системы автономного электроснабжения на основе ветроэнергетической установки возможно улучшением энергетических характеристик (мощности, КПД, удельная металлоемкость и т.д.) синхронного генератора на постоянных магнитах за счет применения двухконтурной магнитной системы [2]. Общий вид генератора представлен на рисунке 1.

Генератор содержит по 8 неодимовых магнитов во внешнем и внутреннем контуре, между которых расположены обмотки статора, закрепленные на неподвижном основании, что исключает применение щеточного узла. Работа генератора осуществляется вращением ротора, в котором закреплены, как постоянные магниты, так и магнитопровод.

Разработана следующая конфигурация синхронного генератора, исходя из которой генератор состоит из дополнительных полюсов 1, обмоток статора 2, постоянных неодимовых магнитов 3 и магнитопровода (электротехнической стали) 4.

Магнитный поток пронизывает обмотку статора, расположенную между постоянными магнитами от севера к югу, затем через магнитопровод 4 и дополнительные полюса 1 магнитный поток проходит через обмотку, расположенную между дополнительными полюсами.

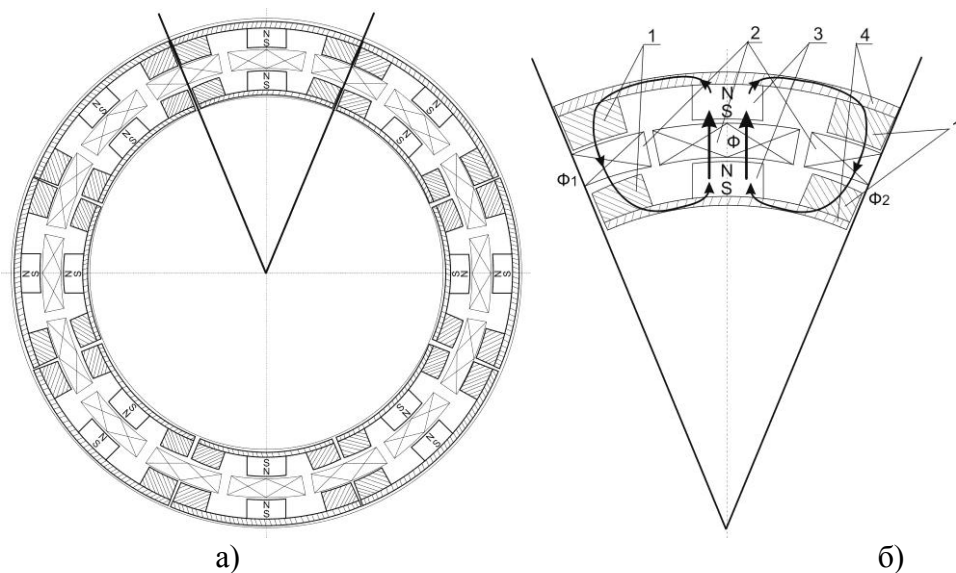


Рисунок 1 – Общий вид синхронного генератора с двухконтурной магнитной системой (а) и сектор генератора с направлением магнитных полей (б)

Введение внутреннего магнитного контура позволяет увеличить как энергию магнитного поля в обмотках статора, так и значение магнитного потока и магнитной индукции.

Для подтверждения высказанных предположений проведено компьютерное моделирование при помощи программного обеспечения Femm 4.2. Компьютерная модель с обозначением сечения, в котором измерялось значение магнитной индукции, представлено на рисунке 2.

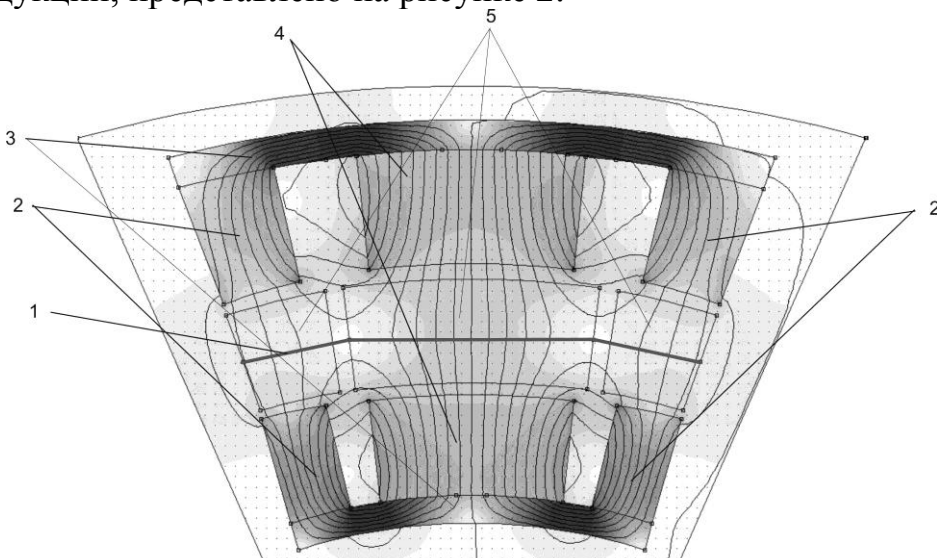


Рисунок 2 – Результаты имитационного моделирования распределения магнитной индукции в секторе синхронного генератора с двухконтурной магнитной системой (1 – сечение в котором измерялось значение магнитной индукции, 2 – дополнительный полюс,

3 – магнитопровод, 4 – постоянные магниты, 5 – обмотки статора генератора)

В результате компьютерного моделирования получены следующие значения магнитной индукции в середине обмоток статора генератора с двухконтурной (1) и одноконтурной (2) магнитной системой, результаты представлены на рисунке 3.

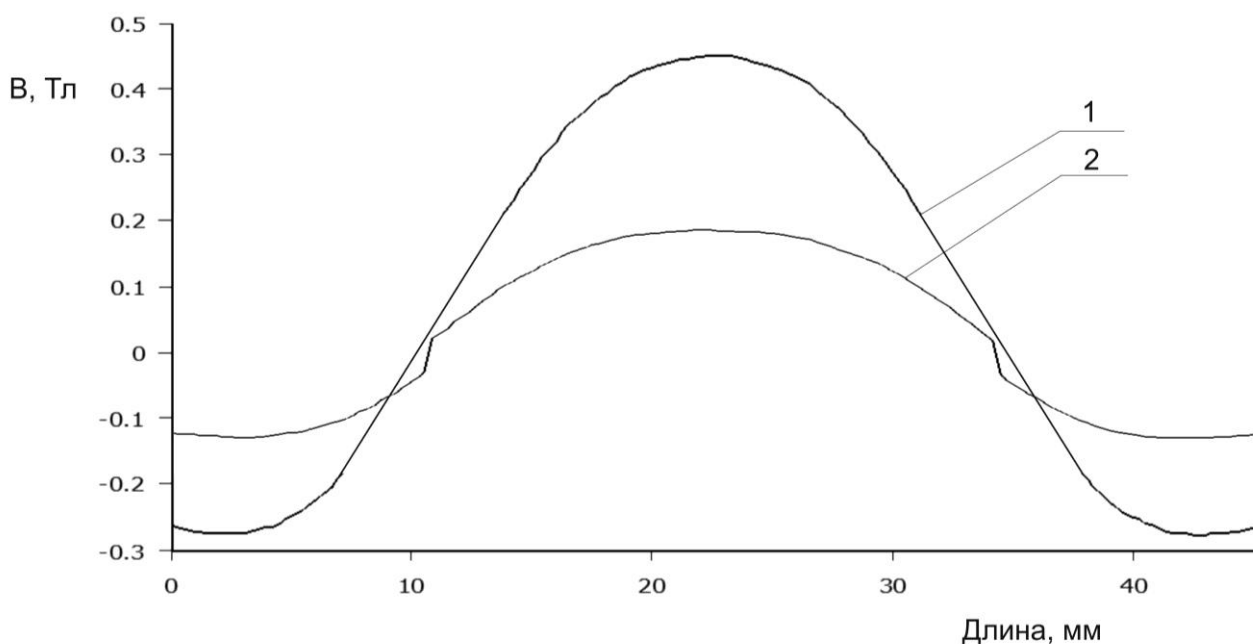


Рисунок 3 – Магнитная индукция в середине обмоток статора при двухконтурной (1) и одноконтурной (2) магнитной системе синхронного генератора

Как видно из рисунка 3 введение второго магнитного контура (внутреннего) увеличивает значение магнитной индукции в середине катушки с 0,19 до 0,44 Тесла, что свидетельствует об увеличении на 130 %.

Увеличение магнитной индукции в обмотках статора приводит у увеличению мощности и КПД генератора при неизменных габаритных показателях.

Энергия магнитного поля в обмотках статора при введении второго магнитного контура увеличивается на 113%, использование псевдополусов в данной конфигурации приводит к увеличению энергии магнитного поля в обмотках статора на 65,3%.

Для подтверждения полученных теоретических данных создан синхронный генератор, внешний и внутренний ротор которого отпечатан из пластика на 3D принтере, на роторах закреплена магнитная система с неодимовыми магнитами, между роторами устанавливается статор генератора (рис. 4).

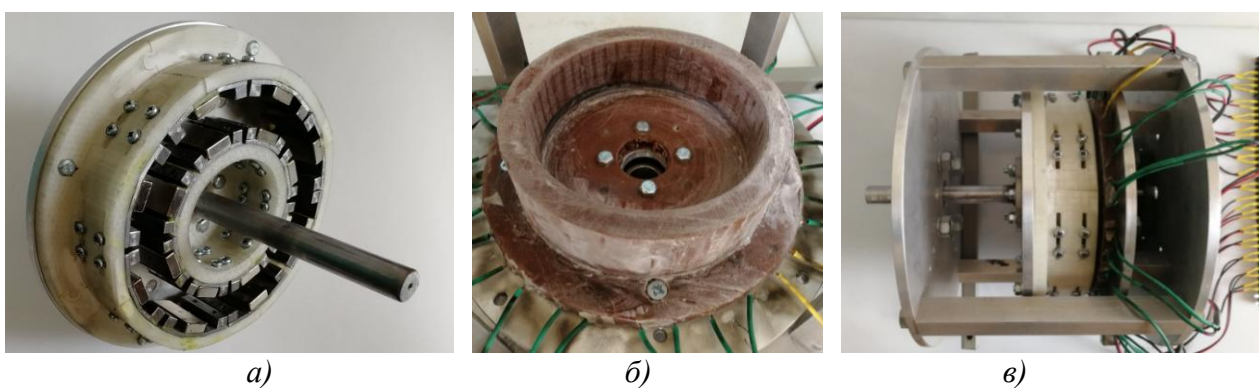


Рисунок 4 – Ротор синхронного генератора (а), статор синхронного генератора (б) и генератор в сборе (в)

Внешний вид экспериментальной установки представлен на рисунке 5. Экспериментальная установка содержит приводной двигатель, имитирующий работу ветроколеса, соединенный при помощи гибкой муфты с синхронным генератором, активную электрическую нагрузку, измерительные приборы.



Рисунок 5 – Экспериментальная установка

Результаты исследований работы синхронного генератора с внутренним контуром (1), внешним контуром (2) и с двумя контурами (3) представлены на рисунке 6.

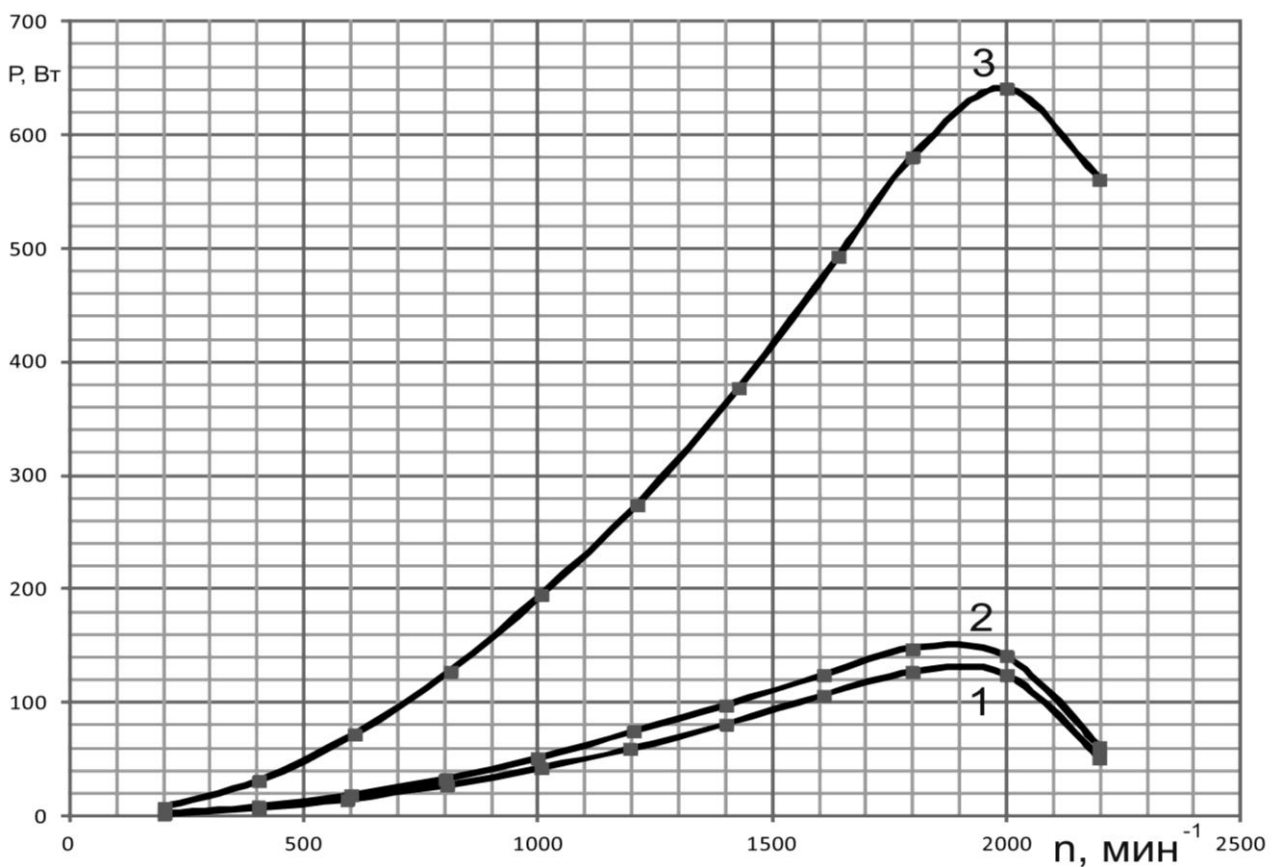


Рисунок 6 – Мощность синхронного генератора

При использовании двухконтурной магнитной системы мощность генератора увеличивается примерно в 4 раза, что связано с концентрацией магнитного потока в обмотках статора генератора.

Список использованных источников

1. Никитенко Г. В., Коноплев Е. В., Коноплев П. В. Ветроэнергетическая установка автономного электроснабжения // Сельский механизатор. 2012. №2. С.25.
2. Пат. 2680642 Российская Федерация, МПК H02K 1/27, H02K 21/12, H02K 16/02 Синхронный генератор с двухконтурной магнитной системой / Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Салпагаров В.К., Коноплев П.В., Бобрышев А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ. № 2016152824; заявл. 30.12.16; опубл. 25.01.18, Бюл. № 3.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЕТРА И СОЛНЦА

Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Салпагаров В.К.

ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ, г. Ставрополь
konoplev82@mail.ru

Аннотация: Рассмотрена структурная схема ветросолнечной системы автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей малой мощности.

Ключевые слова: ветроэнергетика, автономное электроснабжение, солнечная энергетика, гелиоэнергетика, альтернативные источники энергии, нетрадиционные источники энергии.

ELECTRICITY CONSUMERS USING WIND POWER AND THE SUN

Nikitenko G. V., Konoplev V. E., Salpagarov V. K.

*Stavropol GAU, Stavropol
konoplev82@mail.ru*

Abstract: *the structural scheme of the wind-solar system of Autonomous power supply of agricultural consumers of low power is Considered.*

Keywords: *wind power, Autonomous power supply, solar power, solar power, alternative energy sources, non-traditional energy sources.*

Развитие индивидуальных и фермерских хозяйств, постоянный рост цен на традиционные энергоносители, высокая стоимость прокладки линий электропередачи, заставляют искать новые пути для автономного обеспечения электроэнергией сельскохозяйственных потребителей малой мощности.

Использование альтернативных источников энергии, таких как ветер и солнце, для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, удаленных от электрических сетей, является наиболее приемлемым и перспективным вариантом [1,2,3].

Для решения поставленной задачи разработана ветросолнечная система автономного электроснабжения [4], структурная схема которой представлена на рисунке 1.

В системе автономного электроснабжения используется ветродвигатель пропеллерного типа, синхронный генератор с двухконтурной магнитной системой [5], применены гибкие солнечные панели с возможностью изгиба на определенный угол, аккумуляторные батареи применяются гелиевого типа, система управления построена на базе программируемого микроконтроллера Arduino Uno.

Ветросолнечная установка автономного электроснабжения работает следующим образом.

В случае если скорость ветра, то есть мощность на валу ветродвигателя достаточна для электроснабжения потребителей, то установка работает сле-

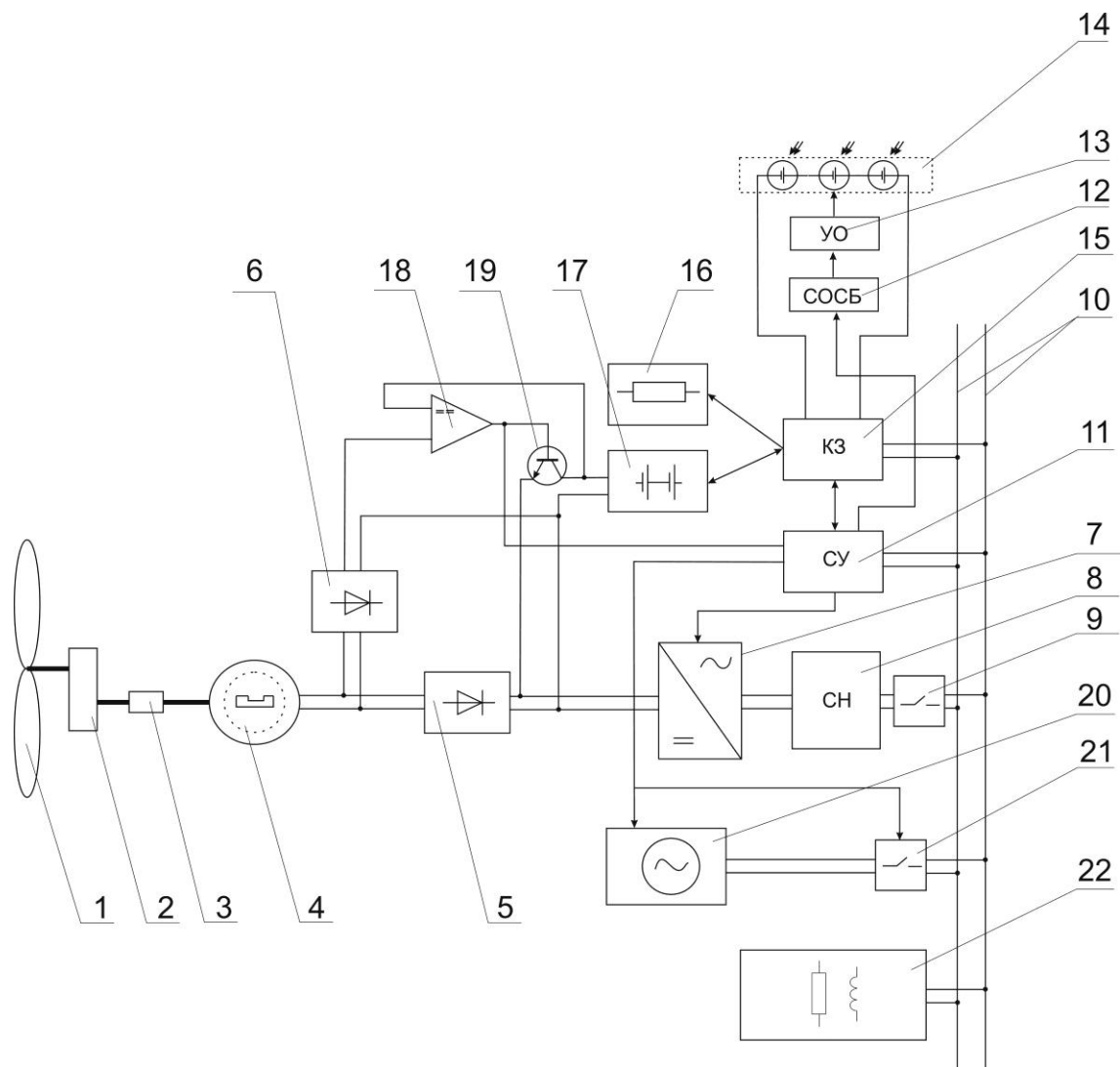


Рисунок 1 – Ветросолнечная система автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей: 1 – ветродвигатель, 2 – мультипликатор, 3 – обгонная муфта, 4 – синхронный генератор, 5,6 – диодные мосты, 7 – инвертор, 8 – стабилизатор напряжения, 9 – реле обратного тока, 10 – однофазная сеть переменного напряжения, 11 – система управления, 12 - система ориентации солнечных батарей, 13 – устройство ориентации по солнцу, 14 – солнечные панели 15 – контроллер заряда, 16 – балластная нагрузка, 17 – аккумуляторные батареи, 18 – компаратор напряжения, 19 – силовой транзистор, 20 – бензогенератор, 21 – реле, 22 – потребители электрической энергии

дующим образом. Вращающий момент от ветродвигателя поступает на мультипликатор и обгонную муфту, с которой передается ротору синхронного генератора, генерируемое напряжение с фаз синхронного генератора поступает на диодный мост, с которого постоянное напряжение поступает на инвертор, преобразуется в переменное и поступает на стабилизатор напряжения, с которого стабилизированное переменное напряжение через реле обратного тока поступает в однофазную сеть переменного напряжения, от которой производится электроснабжение стабилизированным переменным напряжением потребителей электрической энергии, а так же производится заряд аккумуляторных батарей через контроллер заряда аккумуляторных батарей, управляемый системой управления. К контроллеру заряда аккумуляторных батарей подключены гиб-

кие солнечные панели, получаемая энергия с которых так же используется для зарядки аккумуляторных батарей. В случае, если аккумуляторные батареи полностью заряжены, то излишки электроэнергии, получаемые от гибких солнечных панелей поступают на балластную нагрузку, тем самым предотвращая перезаряд аккумуляторных батарей. Гибкие солнечные панели изогнуты под определенным углом, тем самым образуя концентратор солнечной энергии, позволяющий максимально преобразовывать энергию солнца в электроэнергию. Гибкие солнечные панели расположены в устройстве ориентации по солнцу, которое в течение дня следит за солнцем и изменяет свое положения с целью максимальной концентрации солнечной энергии на поверхности гибких солнечных панелей.

В случае, если скорость ветра не достаточная для электроснабжения потребителей, то генерируемое напряжение с фаз синхронного генератора поступает на диодный мост, с которого сигнал об уровне напряжения на фазах синхронного генератора поступает на первый вход компаратора напряжения, на второй вход компаратора напряжения поступает сигнал об уровне напряжения на аккумуляторных батареях. Если напряжение на фазах синхронного генератора больше напряжения на аккумуляторных батареях, то на выходе компаратора напряжения будет логический ноль, и управляемый компаратором напряжения силовой транзистор будет закрыт. Если напряжение синхронного генератора меньше напряжения аккумуляторных батарей, то на выходе компаратора напряжения появится логическая единица, при этом произойдет открытие перехода коллектор-эмиттер силового транзистора, напряжение с аккумуляторных батарей через силовой транзистор и напряжение с фаз синхронного генератора через диодный мост одновременно поступит на инвертор напряжения, таким образом, будет произведено одновременное электроснабжение потребителей за счет энергии, вырабатываемой синхронным генератором от ветродвигателя и энергией, накопленной в аккумуляторных батареях. Сигнал с выхода компаратора напряжения поступает в систему управления, которая управляет работой контроллера заряда аккумуляторных батарей, в случае логической единицы на выходе компаратора напряжения производится отключение контроллера заряда аккумуляторных батарей от однофазной сети переменного напряжения и заряд аккумуляторных батарей производится только от гибких солнечных панелей, в противном случае производится подключение контроллера заряда аккумуляторных батарей к однофазной сети переменного напряжения и заряд аккумуляторных батарей производится как от однофазной сети переменного напряжения, так и от гибких солнечных панелей через контроллер заряда аккумуляторных батарей. Компаратор напряжения работает по алгоритму встроенной петли гистерезиса, то есть подключение аккумуляторных батарей производится при минимальном уровне напряжение в зависимости от мощности подключенных в данный момент потребителей электрической энергии на фазах синхронного генератора, а отключение аккумуляторных бататеей посредством силового транзистора производится при более высоком уровне напряжения на фазах синхронного генератора, это позволяет избежать эффекта «дребезжания, залипа-

ния» при приблизительно одинаковых уровнях напряжения на фазах синхронного генератора и аккумуляторных батарей, что облегчает работу синхронного генератора, контроллера заряда аккумуляторных батарей.

Если ветра нет, синхронный генератор не вырабатывает электрическую энергию. Установка работает следующим образом. На выходе компаратора напряжения постоянно будет логическая единица, контроллер заряда аккумуляторных батарей будет отключен от однофазной сети переменного напряжения, заряд аккумуляторной батареи будет производиться за счет энергии, получаемой с гибких солнечных панелей. Силовой транзистор в этом случае будет открыт и напряжение с аккумуляторных батарей через переход коллектор-эмиттер силового транзистора подается на инвертор напряжения, затем на стабилизатор напряжения и реле обратного тока, с которого стабилизированное переменное напряжение поступает в однофазную сеть переменного напряжения. При отсутствии ветра и разряженных аккумуляторных батареях установка работает следующим образом. При достижении минимального напряжения на аккумуляторных батареях (разряде) сигнал об этом поступает в контроллер заряда аккумуляторных батарей и затем в систему управления. Система управления подает сигнал запуска бензогенератору и подключает его к однофазной сети переменного напряжения при помощи реле, при этом контроллер заряда аккумуляторных батарей подключается к однофазной сети переменного напряжения и производится заряд аккумуляторных батарей за счет энергии бензогенератора и энергии, получаемой с гибких солнечных панелей, так же с системы управления поступает сигнал на базу силового транзистора и принудительно закрывает его, тем самым отключая аккумуляторные батареи от инвертора напряжения. Работа бензогенератора производится до полной зарядки аккумуляторных батарей, затем сигнал с системы управления на базу силового транзистора убирается, производится отключение бензогенератора от однофазной сети переменного напряжения и его остановка. Далее установка работает в одном из режимов, описанном выше.

В случае, если в данный промежуток времени появится ветер, то есть синхронный генератор начнет вырабатывать электрическую энергию, то возможна совместная работа синхронного генератора и бензогенератора для электроснабжения потребителей электрической энергии.

Таким образом, предлагаемая система автономного электроснабжения обеспечивает повышение коэффициента использования ветрового потока, бесперебойность электроснабжения за счет использования энергии ветра и накопленной в аккумуляторных батареях.

Применение гибких солнечных панелей, системы ориентации солнечных батарей и устройством ориентации по солнцу позволяет использовать энергию солнца, как для электроснабжения потребителей электрической энергии, так и для экономии топлива для бензогенератора, увеличивает энергоемкость и мощность ветросолнечной установки автономного электроснабжения.

Совместное использование энергии, получаемой с ветродвигателя, гибких солнечных панелей, бензогенератора для электроснабжения потребителей элек-

трической энергии увеличивает КПД ветросолнечной установки автономного электроснабжения.

Использование компаратора напряжения с силовым транзистором позволяет оптимизировать работу, как синхронного генератора и аккумуляторной батареи с контроллером заряда аккумуляторных батарей при их одновременной работе.

Использование синхронного генератора на постоянных магнитах с двухконтурной магнитной системой позволяет снизить стоимость, как системы автономного электроснабжения в целом, так и стоимость вырабатываемой электроэнергии.

Список использованных источников

1. Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Коноплев П.В., Ивашина А.В. Исследование взаимосвязи параметров ветроэнергетической установки // Техника в сельском хозяйстве. 2013. № 4. С. 14-15.

2. Никитенко Г. В., Коноплев Е. В., Коноплев П. В. Ветроэнергетическая установка автономного электроснабжения // Сельский механизатор. 2012. № 2. С. 25.

3. Коноплев П.В. Модель ветроэнергетической установки // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве 76 научно-практическая конференция электроэнергетического факультета СтГАУ. 2012. С. 56-64.

4. Пат. 2680642 Российская Федерация, МПК F03D 9/00, F03D 9/11, F03D 7/00, H02S 10/12 Ветросолнечная установка автономного электроснабжения / Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Салпагаров В.К., Коноплев П.В., Бобрышев А.В., Лысаков А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ. № 2018103296; заявл. 29.01.18; опубл. 25.02.19, Бюл. № 6.

5. Пат. 2680642 Российская Федерация, МПК H02K 1/27, H02K 21/12, H02K 16/02. Синхронный генератор с двухконтурной магнитной системой / Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Салпагаров В.К., Коноплев П.В., Бобрышев А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ. № 2016152824; заявл. 30.12.16; опубл. 25.01.18, Бюл. № 3.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ОРГАНИЗАЦИИ СОЛНЕЧНОГО ДОМА

Лисутина А.С., Петров Ю.С., Соколов А.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», г. Владикавказ.
lisutina_alina@mail.ru

Аннотация: Среди всех видов возобновляемой энергетики наиболее быстро развивающейся и перспективной является солнечная энергетика. Использование энергии солнца позволяет экономить дорогую электроэнергию, поставляемую в дома энергетическими компаниями, и даже зарабатывать на поставках энергии в электрическую сеть, если таковое предусмотрено местным законодательством. Мы провели расчет выбора аккумуляторных батарей, инвертора, регулятора заряда, автомата, проводки системы, фотоэлектрического модуля, но в работе приведен пример лишь расчета солнечных батарей: выбор производим исходя из потребляемой мощности - 3650 Вт. Главная составляющая домашней солнечной электростанции – солнечные батареи, их назначение – прямое преобразование солнечной энергии в электрическую. Они не смогут работать самостоятельно без вспомогательного оборудования (инвертор, аккумуляторные батареи, регулятор заряда и автоматы).

Ключевые слова: солнечная энергетика, солнечный дом, фотоэлектрические панели, инвертор, аккумуляторные батареи, регулятор заряда, автоматы.

DEVELOPMENT OF THE STRUCTURE OF THE SOLAR HOUSE ORGANIZATION

Lisutina A.S., Petrov Yu.S., Sokolov A.A.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University)",
Vladikavkaz.*

Abstract: *Among all types of renewable energy, the most rapidly developing and promising is solar energy. The use of solar energy allows you to save expensive electricity supplied to homes by energy companies, and even make money on energy supplies to the electricity grid, if such is provided for by local law. We calculated the choice of batteries, inverter, charge controller, automatic machine, system wiring, photovoltaic module, but the work only gives an example of the calculation of solar batteries: the choice is made based on the power consumption - 3650 W. The main component of a home solar power plant is solar panels, their purpose is the direct conversion of solar energy into electrical energy. They will not be able to work independently without ancillary equipment (inverter, rechargeable batteries, charge controller and automatic machines).*

Keywords: *solar energy, solar house, photovoltaic panels, inverter, rechargeable batteries, charge controller, automatic.*

В Республике Северная Осетия-Алания 260 солнечных дней в году.

Возникают споры о том, целесообразно ли использовать солнечные батареи для автономного электроснабжения жилища.

Для оценки экономической целесообразности вложений в такое оборудование необходимо сравнить текущие затраты на электроэнергию с разовыми капитальными затратами.

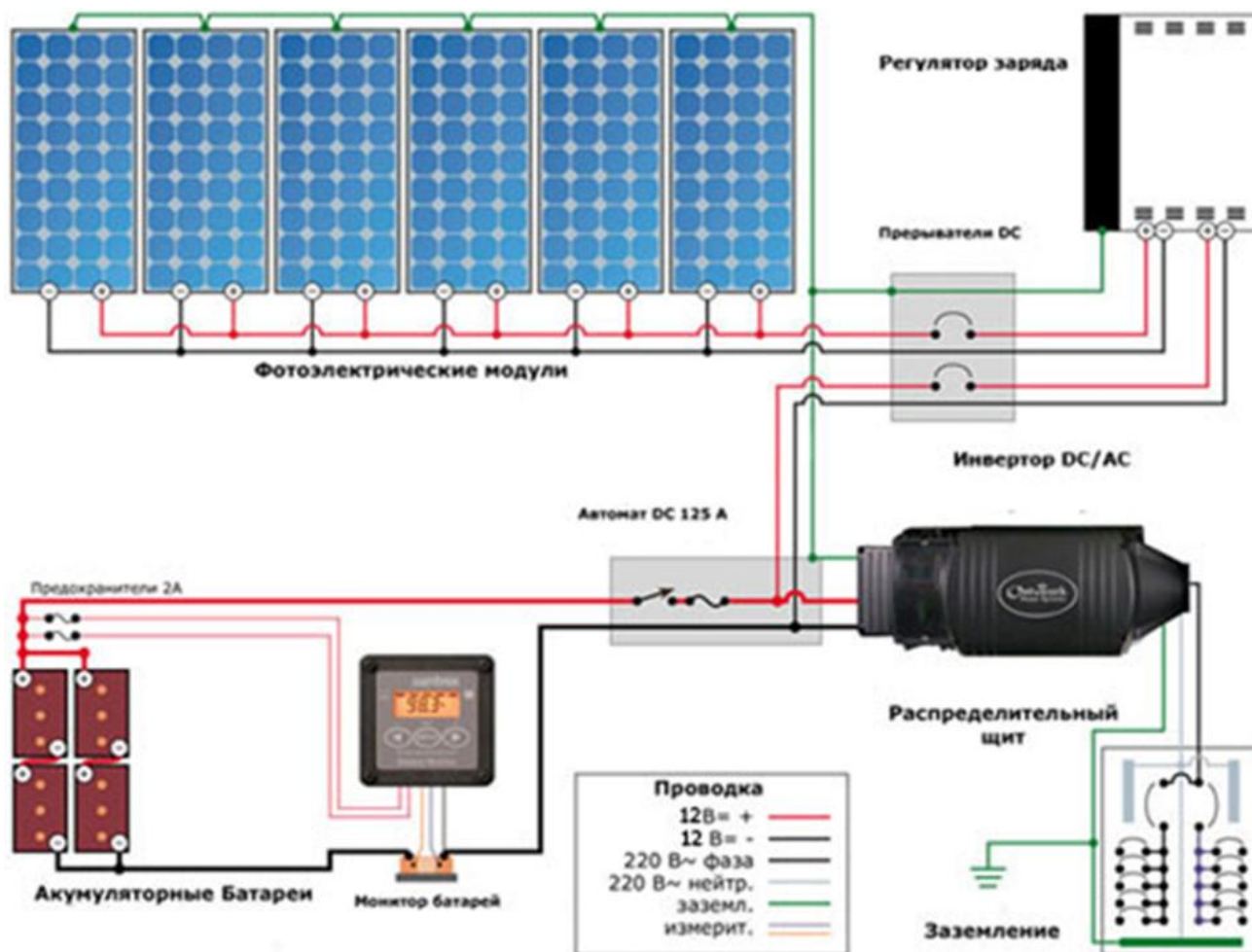


Рисунок 1 - Схема подключения оборудования

Суточная нагрузка складывается из работы телевизора, электрочайника, электронасоса, холодильника и диодных ламп. Остальные приборы включаются реже необходимых для жизнеобеспечения.

$$180 + 500 + 300 + 2400 + 270 = 3,65(\text{кВт/ч}).$$

Месячная нагрузка складывается из суммарной нагрузки в течении месяца, то есть 31 день.

$$3,65 \cdot 31 + (3,65/2) = 114,9 (\text{кВт}).$$

Возможная (расчетная) продолжительность солнечной активности (далее - ПСА) за год на широте Владикавказа составляет 4440 часов. Однако, в зависимости от орографии и условий облачности, фактическая ПСА примерно в два раза меньше расчетной.

Во Владикавказе значения ПСА, в зависимости от погодных условий года колеблются от 1470 до 1900 часов с максимумами в летние месяцы.

Суммарный показатель ПСА во Владикавказе за зиму составляет 175 часов, за весну — 472, за лето — 575 и за осень — 418 часов. Наиболее освещенный (по продолжительности) месяц во Владикавказе - июль (228 часов). По мере приближения к горной части республики ПСА снижается. В частности, во Владикавказе она на 130 часов меньше, чем в Моздоке, но на 592 часа больше, чем в Фаснале.

Развитие возобновляемой энергетики включено в число приоритетных направлений в Энергетической стратегии России на период до 2030 года. Общий расчет позволяет спроектировать на основе нашей структуры – дом с мощностью 3650 Вт/ч, батареей оборудования 25 штук, батареей фирмы Exmork 150 Вт.12В. Моно, автоматы 12В АВ 250А, инверторы Mobilen SP 5000.

Технико-экономическое сравнение вариантов является завершающим этапом расчетов. Оно позволяет из технически равноценных вариантов определить наиболее экономичный.

Статьи расходов, которые для сравниваемых вариантов одинаковы, во внимание не принимаются. Стоимость монтажа системы солнечного энерго-снабжения дома: 250000руб.

Принимались технические решения, основанные на передовом опыте проектирования подобных объектов, основной и отраслевой нормативно-технической документации. Использовано современное оборудование зарубежных и отечественных производителей.

В результате выполненного проектирования разработана система электроснабжения солнечного дома, отвечающая современным требованиям, предъявляемым к электрической системе. В дальнейшем планируется добавить в солнечный дом разработанный авторами ветрогенератор.

Список используемых источников

1. Разработка метода решения задач системного анализа в природно промышленной системе. / Соколов А.А., Аликов А.Ю., Босиков И.И., Петров Ю.С. // Перспективы науки. 2010. № 4 (6). С. 83-85.
2. Соколов А.А. Исследование влияния промышленных объектов на окружающие экосистемы разработанными техническими средствами // Перспективы науки. 2010. № 2 (4). С. 110-113.
3. Соколов А.А., Соколова Е.А. К проблеме повышения эффективности комплексной оценки влияния промышленных объектов на экосистемы // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 3. С. 42-43.

**ВЫБОР СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫХ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ
ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ
ОТОПЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ИХ СВОЙСТВ
И ХАРАКТЕРИСТИК**

Тестов Д.С., Моржухин А.М., Моржухина С.В.
Государственный университет «Дубна»,
dima13-1994@yandex.ru

Аннотация: Работа посвящена анализу характеристик кристаллогидратов, рассматриваемых в литературе, с целью выбора наиболее перспективных теплоаккумулирующих материалов (ТАМ) для систем горячего водоснабжения и отопления. Для этого проведен факторный анализ наиболее перспективных кристаллогидратов по нескольким свойствам, которые по итогам математических расчетов ранжированы по степени их влияния на эффективность работы конечной системы. Ряд рассмотренных кристаллогидратов отобран для дальнейших экспериментальных исследований.

Ключевые слова: ТАМ; теплоаккумулирующие материалы; тепловые аккумуляторы; отопление и горячее водоснабжение; кристаллогидраты; факторный анализ

***SELECTION MEDIUMTEMPERATURE PHASE CHANGE MATERIALS
FOR HEATING SYSTEMS BASED ON FACTOR ANALYSIS
OF THEIR PROPERTIES AND CHARACTERISTICS***

Testov D.S., Morzhukhin A.M., Morzhukhina S.V.
Dubna State University

Abstract: *The work is devoted to the analysis of the characteristics of crystalline hydrates, considered in the literature, in order to select the most promising heat storage materials (TAM) for hot water supply and heating systems. For this, a factor analysis of the most promising crystalline hydrates was carried out according to several properties, which, according to the results of mathematical calculations, are ranked by the degree of their influence on the efficiency of the final system. A number of crystalline hydrates considered were selected for further experimental studies.*

Keywords: *phase change materials, thermal energy storage system, space heating, domestic hot water, salt hydrate; factor analysis.*

В настоящее время мировым сообществом ведутся активные разработки по созданию энергоемких и ресурсосберегающих технологий в области аккумуляции тепловой энергии для целей отопления и горячего водоснабжения, которые бы сократили расходы на обеспечение полных тепловых потребностей и позволили бы более рационально использовать энергоресурсы.

Принципы аккумуляции энергии решают ряд проблем, существующих при использовании стандартных источников энергии. Для энергопотребления одной из главных проблем является экономия энергии в периоды максимального использования тепла. Контроль над выходной мощностью тепловой установки позволит снизить зависимость от электроэнергии за счет сохранения

тепла. Одним из таких решений является использование теплоаккумулирующих материалов, способных накапливать тепло, которое можно использовать сразу или при необходимости хранить некоторое время.

Исследования в области перспективных теплоаккумулирующих материалов (ТАМ) ведутся многие годы. За это время предложено множество материалов, пригодных для использования в тепловых аккумуляторах. В работе [1,2] представлена обширная классификация потенциально пригодных к использованию ТАМ. Однако эффективных ТАМ для целей отопления и горячего водоснабжения до сих пор предложено не было, поскольку в основном системы хранения тепла разработаны для стран с мягким климатом и в них в качестве ТАМ чаще всего используются органические соединения (парафин, жирные кислоты и т.д.), а также вода [3]. Несмотря на то, что они относятся к классу фазопереходных материалов, обладающих более высокими значениями удельной энергии по сравнению с теплоемкостными, эта величина достаточно низкая для эффективного использования их в качестве ТАМ в системах горячего водоснабжения и отопления.

Более перспективными фазопереходными материалами являются кристаллогидраты, которые легкодоступны и нетоксичны. Кристаллогидраты составляют значительную область исследования среди перспективных ТАМ. Ряд работ [4,5] посвящен классификации потенциально пригодных кристаллогидратов. Всего же различными исследователями сформулированы свыше 24 критериев выбора ТАМ, часто противоречащих друг другу и сложно выполнимых одновременно. В то же время отсутствуют серьезные экспериментальные работы в этой области, позволяющие однозначно подобрать 1-2 кристаллогидрата в каждой температурной области (от 40 до 70 °С) по всему перечню критериев выбора.

Таким образом, однозначно выбрать наиболее перспективные кристаллогидраты на основании литературных данных не представляется возможным. Можно сократить рассматриваемый перечень критериев выбора, исключив химически нестабильные, токсичные и коррозионноактивные вещества. Авторы исследования создали базу данных свойств более 160 кристаллогидратов по литературным источникам, опубликованным с 1952 года по настоящее время с целью их факторного анализа. Факторный анализ решает проблему первичного отбора потенциально перспективных ТАМ, позволяя проанализировать обширную выборку из десятков веществ и нескольких физико-химических и экономических характеристик. Сложность данного подхода заключается в неполной фундаментальной базе свойств рассматриваемых кристаллогидратов. Так, для части свойств, представленных в таблице 1 выборка веществ сильно ограничена.

В проведенном исследовании также проводился факторный анализ свойств кристаллогидратов, включающий такие характеристики, как стоимость, молекулярная масса, количество аккумулированной энергии, приходящийся на 1 руб. стоимости ТАМ и др. Факторный анализ по другим критериям не выявил других перспективных для использования в качестве ТАМ кристаллогидратов, поэтому мы остановились на следующем наборе веществ: $Na(CH_3COO) \cdot 3H_2O$, $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$,

$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. Все они отобраны по таким свойствам, как плотность аккумуляции теплоты S , энтальпия фазового перехода ΔH и плотность ρ , которые на основании факторного анализа (рис. 1) вносят наибольший вклад в эффективность работы аккумулятора.

Таблица 1

Выборка кристаллогидратов с 5-ю параметрами

Код	Материал	S - плотность аккумуляции теплоты, МДж/м ³	ρ - плотность, кг/м ³	ΔH - энтальпия плавления, кДж/кг	C_p - теплоемкость, твердая фаза, кДж/(кг·К)	N – теплопроводность, твердая фаза, Вт/(м·К)
1	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	370.84	1460	254	1.92	1.85
2	$Na(CH_3COO) \cdot 3H_2O$	398.75	1450	275	1.97	0.63
3	$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	349.86	1666	210	2.26	0.6
4	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	252.34	1550	162.8	2.26	0.611
5	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	265.16	1569	169	2.1	0.704
6	$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	300.24	1937	155	2.07	1.4
7	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	328.32	1710	192	1.43	1.09

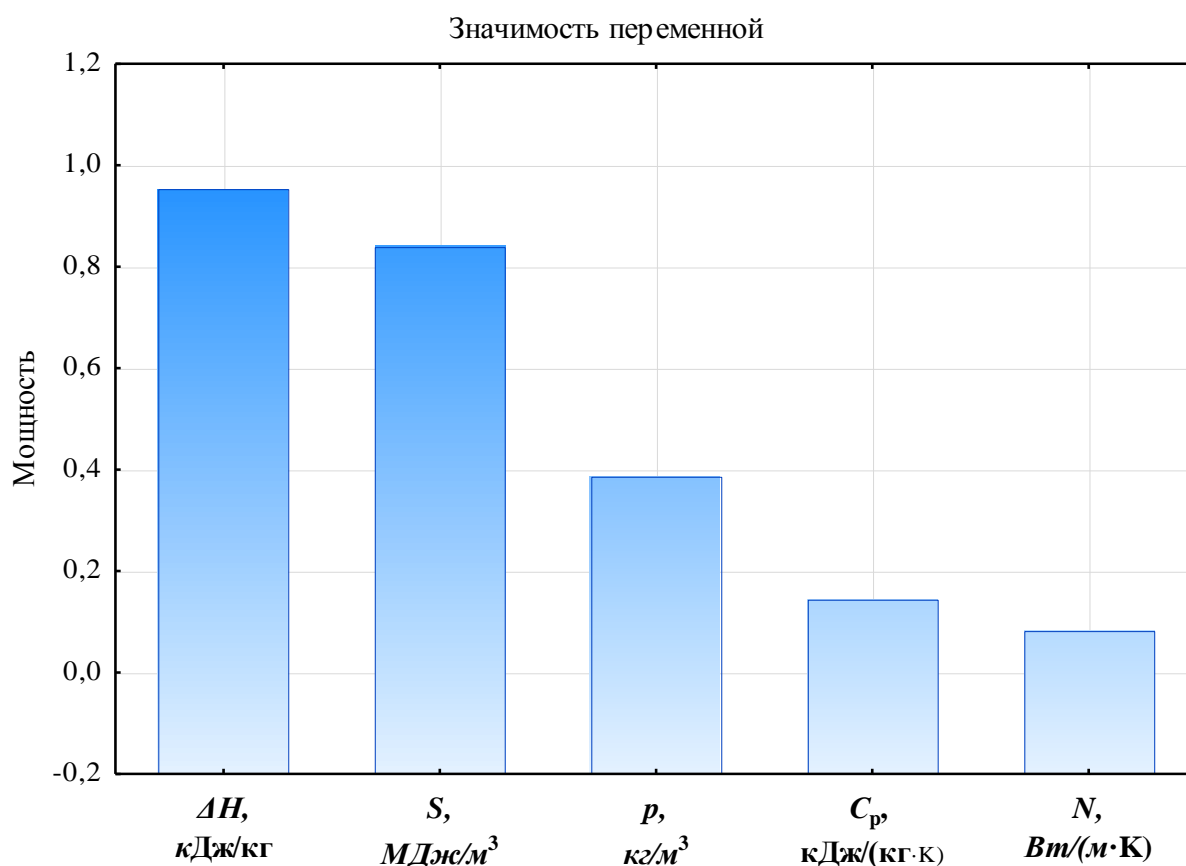


Рисунок 1 - Анализ мощности 5-ти рассматриваемых переменных

Выбор потенциального ТАМ невозможен только на основе изучения литературных данных. В исследовании изучены свойства выбранных в качестве перспективных ТАМ для целей аккумуляции тепла методами дифференци-

альной сканирующей калориметрии (ДСК) и температурной истории (*T-history*). По данным ДСК определены температура плавления и кристаллизации, температурный гистерезис и энтальпия фазовых переходов. Методом *T-history* определены переохлаждение, температура и теплота кристаллизации в условиях естественного охлаждения.

$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ в исследовании показал термическую нестабильность при температурах выше 100 °С. Исследования $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ и $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ показали, что полученные температура плавления и энтальпии фазовых переходов не соответствуют ранее приведенным литературным данным [5,6]. Поэтому на данном этапе исследования мы их не рассматриваем.

Экспериментальное исследование кристаллогидратов $Na(CH_3COO) \cdot 3H_2O$, $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ показало возможность их применения для получения композитных ТАМ на их основе. Синтез композитов позволит исключить переохлаждение и инконгрунтное плавление солевых гидратов, а также повысить теплоемкость и теплопроводность материала.

Список использованных источников

1. Бабаев Б.Д. Принципы теплового аккумулирования и используемые теплоаккумулирующие материалы. / Теплофизика высоких температур, 2014. Т. 52, № 5. с. 760–776.
2. B. Zalba, J.M. Marin, L.F. Cabeza, H. Mehling. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications // Applied Thermal Engineering 23. 2003. pp. 251–283.
3. L. Gabriela. Thermal Energy Storage with Phase Change Material // Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies. January-June 2012. pp. 75-98.
4. Murat Kenisarin, Khamid Mahkamov. Review. Salt hydrates as latent heat storage materials: Thermophysical properties and costs // Solar Energy Materials&Solar Cells 145. 2016. 255–286.
5. Мозговой А.Г., Шпильрайн Э.Э., Дибиров М.А., Бочков М.М., Левина Л.Н., Кенисарин М.М. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты: Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. // ТФЦ. – М.: ИВТАН. 1990. №2(82). – С. 3-105.
6. Shudong Zhang, Zhenyang Wang. Thermodynamics behavior of phase change latent heat materials in micronanoconfined spaces for thermal storage and applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews 82. 2018. pp. 2319–2331.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Плиева М.Т., Кабисов А.А., Гудиев Т.Т.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ,
kluev-roman@rambler.ru

Аннотация: В работе представлены выражения для определения основных показателей надежности электроэнергетической системы. В статье отмечено, что для выявления теоретической гипотезы распределения случайных величин показателей надежности необходима достаточная информация о наработке на отказ элементов одного класса, что вынуждает исследовать всю энергосистему.

Ключевые слова: показатели надежности, энергосистема, число отказов.

RESEARCH OF INDICATORS OF RELIABILITY OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM

Plieva M.T., Kabisov A.A., Gudiyev T.T.

North Caucasian Institute of mining and metallurgy
(State Technological University), Vladikavkaz

Abstract: The paper presents expressions for determining the main indicators of the reliability of the electric power system. The article notes that in order to identify the theoretical hypothesis of the distribution of random values of reliability indicators, sufficient information is needed on the time between failures of elements of one class, which forces one to investigate the entire power grid.

Keywords: reliability indicators, power system, number of failures.

Надежность электроэнергетической системы (ЭЭС) является комплексным свойством, которое в зависимости от объекта и условий его эксплуатации может включать ряд свойств, основными из которых являются безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, устойчивоспособность, режимная управляемость, живучесть и безотказность. Для количественной характеристики свойств, составляющих надежность объекта, используются показатели надежности, которые должны быть связаны с единичными свойствами надежности и обеспечить возможной численной характеристикой каждого из них. Единичные показатели надежности применяются, в основном, для характеристики отдельных элементов, а комплексные показатели - для узлов нагрузки и системы в целом.

Большинство элементов ЭЭС, по классификации ГОСТ 13377-75 относятся к восстанавливаемым объектам, различают отказы устойчивые и неустойчивые, устраняемые, например, АПВ. Кроме того, отказы различают внезапные и постепенные, которые выявляются при обходах. В этом случае последствия отказов неравнозначны. Основной количественной характеристикой безотказности является вероятность безотказной работы, то есть вероятность того, что в

пределах заданной наработки отказ не возникает, Тогда вероятность отказа - противоположное событие:

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (1)$$

Скорость изменения вероятности безотказной работы характеризуется интенсивностью отказов $\lambda(t)$, которая выражается как предел отношений условной вероятности отказа объекта на интервале времени или наработки непосредственно после данного времени при условии, что до этого момента отказ объекта не возник, к продолжительности этого интервала при его неограниченном уменьшении.

Количественными показателями надежности таких объектов является параметр потока отказов ω и время восстановления t_v [1, 2]. Частота отказов выражается как отношение математического ожидания числа отказов элементов за заданный интервал времени к продолжительности этого интервала. При оценке надежности за единицу времени принимают год, тогда при обработке статистических данных за какой-либо период времени T будем иметь распределение $\omega(t)$. При оценке надежности принимается среднее значение параметра потока отказов $\bar{\omega}$, соответствующий периоду эксплуатации ($\omega_i = \text{const}$), так как период приработки невелик, а износные отказы должны предотвращаться плано-предупредительными ремонтами. Тогда среднее значение параметра потока отказов

$$\bar{\omega} = M\{\omega_i\} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n \cdot T}, \quad (2)$$

где m_i – число отказов;

n – количество элементов;

T – время эксплуатации.

Точечная оценка при различном объеме выборок может привести к ошибочному завышению или занижению показателей надежности, поэтому определение оптимального объема статистической выборки ретроспективных данных путем установления связи объемов по отказам элементов с определенной точностью получаемых результатов имеет важное значение.

Надежность электроснабжения потребителей, в первую очередь, определяется надежностью элементов ЭЭС. Структуру электрической сети обуславливает разнообразие элементов и схемы их соединения, что определяет схемную надежность ЭЭС.

Для количественной оценки надежности элементов действующих ЭЭС используются известные методы математической статистики [3]. В качестве показателей надежности элементов обычно используются такие показатели, как наработка на отказ (t_i) и время восстановления (t_{vi}).

Наработка на отказ определяется как время нормальной работы элемента между двумя отказами.

$$t_i = t_1 - t_2, \quad (3)$$

где t_1, t_2 – дата текущего и предыдущего (или дата установки) отказа.

Время восстановления равно времени нахождения элемента в нерабочем состоянии при его аварийном отключении

$$t_{вi} = t_{o(i+1)} - t_{oi} \quad (4)$$

где $t_{oi}, t_{o(i+1)}$ – время аварийного отключения элемента и введение его в работу.

Для элементов ЭЭС характерно соотношение $t \gg t_{в}$, то есть восстановление считается мгновенным, тогда

$$\omega(t) = \lambda(t) = \bar{\lambda} \quad (5)$$

Для количественной оценки надежности элементов обычно используют обратные значения наработки на отказ (5) и времени восстановления (6), численно равные интенсивности отказов λ и интенсивности восстановления μ

$$\lambda = \frac{1}{t} \quad (6)$$

$$\mu = \frac{1}{t_{в}}$$

При простейшем потоке параметр потока отказов (относительная частота отказов) численно равен интенсивности отказов $\lambda = \omega$. К числу комплексных показателей надежности относятся показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности, например, коэффициент готовности, коэффициент технического использования. Коэффициент готовности k_r определяет вероятность того, что элемент окажется работоспособным в произвольный момент времени, когда потребуется его применение по назначению [9].

$$k_2 = \frac{t_{эл}}{t_{эл} + t_{в.эл}} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (7)$$

Для решения практических задач часто достаточно знать числовые характеристики случайных величин: математическое ожидание (среднее значение) \bar{t} и дисперсию $D(t)$ или среднеквадратическое отклонение σ_t

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} t \cdot a(t) dt = - \int_0^{\infty} t \cdot p'(t) dt = \int_0^{\infty} p(t) dt$$

$$D(t) = M\{t^2\} - \bar{t}^2 = \int_0^{\infty} t^2 \cdot a(t) dt - \bar{t}^2 \quad (8)$$

$$\sigma_t = \sqrt{D(t)}$$

где $a(t)$ – дифференциальная функция распределения

Поскольку отказы являются случайными событиями, то число отказов m_i является случайной величиной, поэтому целесообразно оценить достоверность найденных значений [3]. Для этого определяются доверительные границы, в которых находится действительная величина. Доверительные границы определяются с некоторой вероятностью (коэффициент доверия). Для практических расчетов доверительная вероятность $0,9 \div 0,95$ считается приемлимой.

Таким образом, для выявления теоретической гипотезы распределения указанных случайных величин необходима достаточная информация о наработке на отказ элементов одного класса, что вынуждает исследовать всю систему (ЭЭС). В дальнейшем можно рассматривать подсистемы отдельно, используя выбранные расчетные формулы. В этом случае, теоретические законы распределения необходимо корректировать ежегодно [1-20].

Список использованных источников

1. Плиева М.Т., Кабисов А.А., Гудиев Т.Т. Анализ потребления электроэнергии в межрегиональной распределительной сетевой компании Северного Кавказа // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н. И. (1945-2015) - Даниловских чтений. 2018. С. 370-373.
2. Плиева М.Т., Кабисов А.А., Гудиев Т.Т. Разработка мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в распределительной системе // В сборнике: Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н. И. (1945-2015) - Даниловских чтений. 2018. С. 374-377.
3. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Темиров П.Г. Исследование, анализ и прогнозирование структурной надёжности электроэнергетической системы АО «Севкавказэнерго» // Депонир. в ВИНТИ, № 2646-В99, СКГТУ, Владикавказ, 1999. – 41 с.
4. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Темиров П.Г. Методика оценки влияния климатических факторов на надёжность ЛЭП 115 кВ электроэнергетических систем // Труды СКГТУ, вып. 6. 1999, с. 129-132.
5. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Сахаров Д.С. Вероятностная модель расчета надежности в системе электроснабжения городов // Исследования по современному анализу и математическому моделированию / отв. ред. Ю.Ф. Коробейник, А.Г. Кусраев. – Владикавказ: Владикавказский научный центр РАН и РСО-А, 2008, с. 338-343.
6. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Курдуманов Д.А. Обеспечение надежности электроснабжения потребителей на основе ретроспективного анализа // Сборник материалов Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы разработки и применения новых материалов и технологий». 25-26 сентября 2013 года. – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука», 2013. С. 78-82.
7. Ключев Р.В., Босиков И.И., Гаврина О.А., Кортиев Р.А. Система анализа надежности промышленно-технической системы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6 (86). Часть II. С.66-74.
8. Ключев Р.В., Агузаров А.В., Багаев С.А., Гутиев А. Ф. Расчет показателей надежности элементов электроэнергетической системы напряжением 110 кВ // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и

молодых ученых с международным участием (Екатеринбург, 10-14 декабря 2018г.). Екатеринбург: УрФУ, 2018. С. 52-55.

9. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Кортиев Р.А. Система анализа надежности промышленно-технической системы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 66-74.

10. Ключев Р.В., Гаврина О.А. Задачи построения единой промышленно-энергетической системы // В сборнике: Наука, образование, общество: актуальные вопросы и перспективы развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 4 частях. ООО «АР-Консалт». 2015. С. 68-69.

11. Ключев Р.В., Котова О.А., Гаврина О.А. Результаты эффективного управления единой промышленно-энергетической системой в горных территориях // В сборнике: Кибернетика энергетических систем Сборник материалов XXXVII сессии семинара. 2015. С. 9-12.

12. Гаврина О.А., Босиков И.И., Берко И.А. Разработка методов по улучшению использования электрооборудования природно-промышленной системы горно-перерабатывающего комплекса // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 2 (82). С. 12-19.

13. Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В. Экспертно-кластерный анализ технологических показателей на предприятиях по производству твердых сплавов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. №4 (84). С. 15-22.

14. Сидоров Д.В., Гаврина О.А., Берко И.А., Галкина О.Ю. Обзор методов построения математических моделей статических режимов для управления непрерывными технологическими процессами // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 4. № 12. С. 9-12.

15. Гаврина О.А., Ключев Р.В., Лысоконь Э.С., Гудиев Т.Т. Анализ потерь электроэнергии в распределительных сетях 6 кВ предприятия нефтегазовой отрасли // В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 407-410.

16. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A. Development of mathematical model for specific power consumption of resistance furnaces at non-ferrous metallurgy enterprises // В сборнике: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon) electronic edition. 2018. С. 8501831.

17. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch. System analysis of power consumption by nonferrous metallurgy enterprises on the basis of rank modeling of individual technogenesis castes // В сборнике: МАТЕС Web of Conferences 2018. С. 04018.

18. Гаврина О.А., Бестаев А.С., Бигаев Р.К. Результаты проведения комплексного теплоэнергетического обследования горно-металлургического предприятия // В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей XIX Международной научно-практической конференции : в 2 ч.. 2019. С. 86-90.

19. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А., Текиев М.В., Лысоконь Э.С. Концепция функционирования единой промышленно-энергетической системы в горных территориях // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2 (86). С. 55-65.

20. Ключев Р.В., Плиева М.Т., Берко И.А. Перспективы энергоснабжения РСО-Алания за счет использования возобновляемых источников электроэнергии // В сборнике: Современное состояние и перспективы развития научной мысли Сборник статей международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович . 2015. С. 53-55.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИЭ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ ВЫСОКОГОРЬЯ

Музаев А.К., Зорина И.Ю., Хадиков М.К., Петров Ю.С.
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ
Alexandr.muzaev@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены способы повышения эффективности применения возобновляемых источников энергии в автономном энергоснабжении объектов высокогорья. Приведены описания автономных multifunctional энергетических комплексов, одновременно использующих преобразователи различных типов: солнечных лучей, ветрового и водяного потоков в электрическую энергию, запатентованных в СКГМИ (ГТУ). Обоснована перспективность применения возобновляемых источников энергии для автономного энергоснабжения объектов высокогорья.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии; повышение эффективности применения; энергоснабжение; объекты высокогорья; автономные энергетические комплексы

INCREASE OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR POWER SUPPLY OF AUTONOMOUS OBJECTS OF HIGH-MOUNTAIN

*Muzaev A.K., Zorina I.Yu., Khadikov M.K., Petrov Yu.S.
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy
(State Technological University), Vladikavkaz*

Abstract: *The ways of increasing the efficiency of using renewable energy sources in the autonomous energy supply of high-altitude facilities are considered. The descriptions of autonomous multifunctional energy complexes that simultaneously use converters of various types: sunlight, wind and water flows into electrical energy, patented in NCIMM (STU) are given.*

The perspectives of using renewable energy sources for autonomous power supply of high-altitude facilities are substantiated.

Keywords: *renewable energy sources; increase of efficiency of use; power supply; objects of highlands; autonomous energy complexes.*

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в настоящее время находят все более широкое и разнообразное применение [1, 2, 3] .

Одно из наиболее востребованных и эффективных применений ВИЭ являются автономное энергоснабжение маломощных объектов и частных жилых домовладений. Это особенно актуально для удаленных высокогорных поселений, куда не доходят централизованные линии передачи электроэнергии.

Этот энергетический недостаток высокогорных поселений с лихвой окупается наличием (и, следовательно, возможностью использования) мощных и практически постоянно действующих естественных энергетических потоков:

воздуха (ветра), воды (горные реки) и солнечных лучей. Последние играют особую роль в обеспечении индивидуальных объектов энергией. Достаточно сказать, что в некоторых странах уже сейчас эксплуатируются так называемые «солнечные дома» - дома, в которых энергия на бытовые нужды полностью вырабатывается за счет источников солнечных батарей.

На рисунке 1 показана схема преобразования и использования энергии в автономных генерирующих комплексах, работающих на ВИЭ. Первой операцией является улавливание части общего энергетического потока для его дальнейшего преобразования.

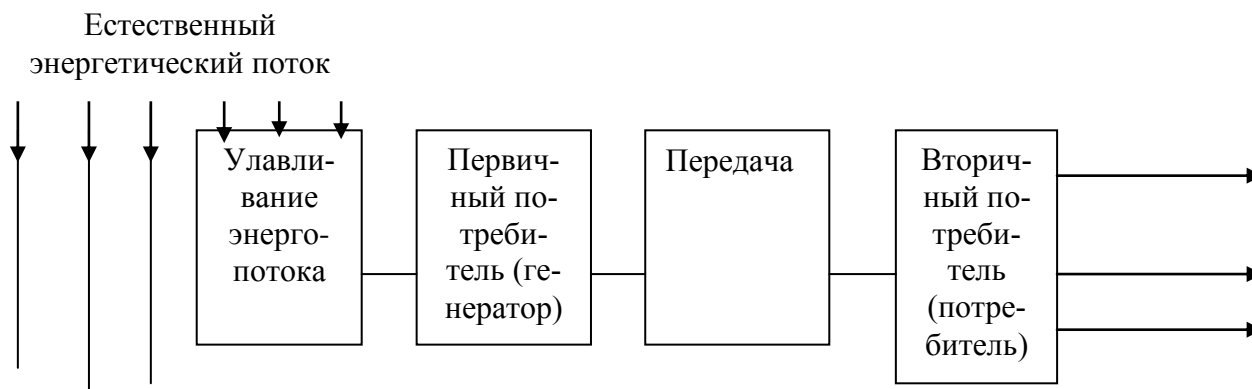


Рисунок 1 - Схема преобразования и использования энергии в генерирующих комплексах

Существенную трудность при использовании ВИЭ представляет рассредоточенность естественных энергетических потоков (например, малая величина удельной энергии солнечного излучения, т.е. энергия, приходящаяся на единицу площади облучаемой поверхности).

Для увеличения мощности, вырабатываемой первичными преобразователями до необходимого, потребляемого значения используются различные методы и устройства. Например, для увеличения общей мощности солнечных батарей увеличивают общую площадь облучаемой поверхности (для чего часто используют, например, крыши домов) или концентрируют солнечные потоки с помощью специальных устройств – отражателей, направляющие солнечные лучи на рабочую поверхность солнечных батарей.

И тот и другой методы могут использоваться при энергоснабжении индивидуальных домов, в частности, горных поселений.

В условиях горных территорий эффективным источником энергетического сырья являются горные реки.

Возможности применения ВИЭ для энергоснабжения удельных высокогорных поселений.

Получаемая первичным преобразователем (генератором) часть естественного энергетического потока используется даже для преобразования его энергии в удобную для дальнейшего использования энергию (электрическую, тепловую). Энергия передается потребителю и в результате ее использования (вто-

рой преобразователь) происходит изменение энергетического состояния потребителя, а также рассеяние энергии в окружающее производство.

Микро ГЭС могут устанавливаться непосредственно на горных реках (в частности, консольные ГЭС) или на отведенных от них рукавах (рукавные ГЭС).

Если использование гелио генераторов связано с суточным изменением солнечного излучения, применение гидрогенераторов в горных условиях связано с сезонным изменением уровня воды в реках, что следует учитывать при проектировании микро ГЭС и эксплуатации.

В горных ущельях постоянно дует ветер, что создает условие для развития ветроэнергетики, несмотря на определенную нестабильность ветрового потока. Для полноты картины энергетического потока горных территорий следует отметить также возможность использования в отдельных случаях геотермальных источников энергии.

Естественные энергетические потоки имеют разный энергетический потенциал, разную допустимость, различные экологические характеристики. Например, для РСО – Алания суммарный (расчетный) гидроэнергетический потенциал составляет 22723,4 млн кВт ч в год; солнечное излучение и ветроэнергетический потенциал – 16000 и 1,666 соответственно.

Выходные характеристики реальных генерирующих установок, работающие на ВИЭ, имеют в той или иной степени случайных характер. Это в значительной мере характеризует автономные энергетические комплексы, предназначенные, в частности, для работы в высокогорных условиях.

Изменение скорости ветра, интенсивности солнечного излучения, объема и напора воды в реках в горных условиях происходит довольно часто и не имеет строгой закономерности. Вследствие этого математические модели, описывающие процессы в энергоустановках на ВИЭ должны иметь вероятностный характер и анализироваться соответствующими методами.

В наиболее общем случае энергетическое состояние системы, использующей ВИЭ, может выражаться уравнением энергетического баланса

$$\sum S_i = \sum S_{норм} + S_{нк} \quad (1)$$

где $\sum S_i$ - суммарная мощность преобразователей генерирующей составляющей общей системы;

$\sum S_{норм}$ - суммарная мощность потребляемой системы;

$S_{нк}$ - мощность, передаваемая в накопительное устройство.

При избытке генерируемой мощности часть ее передается в накопительное устройство и оно работает в режиме потребителя (знак «+»). При недостатке генерируемой мощности (по сравнению с требуемой для нормальной работы потребителей) она поступает и накопительных устройств в систему потребления и мощность $S_{нк}$ имеет знак «-». Формально слагаемое « $-S_{нк}$ » можно перенести в левую часть уравнения со знаком «+», что соответствует работе накопительного устройства в режиме генератора, т.е. в режиме передачи мощности потребителю.

Выражение (1) записано для средних за определенное время величин. Более корректным с математической точки зрения будут выражения записанные для мгновенных значений мощности

$$\int_0^t \sum p_i^s(t) dt = \int_0^t \sum P_n^s(t) dt + \int_0^t P_{HK}^s(t) dt \quad (2)$$

Уравнение (2) являются вероятностным, так как все подынтегральные выражения являются случайными функциями.

Для расчета автономных многофункциональных энергетических установок необходимо решить и проанализировать уравнение (2). Как известно существует два основных способа решения вероятностных уравнений: переход к математическим ожиданиям членов составляющих уравнение, и метод Монте – Карло. Для практических целей можно воспользоваться уравнением (1) для средних значений мощностей, учитывая, что генерируемая S_i и потребляемая S_n мощности являются независимыми переменными, а накапливаемая мощность S_{HK} - зависимой переменной, определяемой по значениям генерируемой и потребляемой мощности.

В СКГМИ (ГТУ) разрабатываются устройства для преобразования как одного типа естественных энергетических потоков в удобную для дальнейшего использования [4, 5, 6], так и многофункциональные устройства, одновременно преобразующие энергию естественных энергетических потоков различных типов [7, 8, 9].

Предложенные профессором Ю.С. Петровым ветроколесо [4] позволяет получать вращение панелей в одну сторону независимо от направления ветра, что является существенным для областей с изменяющимися параметрами вектора ветрового потока. Установка рассчитана на небольшие мощности и применение для энергоснабжения автономных малоэнергоемких объектов, в частности, в горных условиях.

Солнечная батарея, предложенная М.К. Хадиковым [5], отличается малыми габаритами и высокой эффективностью использования солнечных лучей в ограниченном объеме установки. Предполагается к использованию в системе автономного энергоснабжения, в частности, объектов высокогорных поселений.

Профессором И.Д. Алборовым и аспиранткой И.Ю. Зориной предложена оригинальная конструкция солнечного коллектора, позволяющая повысить эффективность тепловых преобразователей подобного типа приблизительно в 2 раза. Установка имеет широкий диапазон по производительности и может эксплуатироваться в условиях автономного энергоснабжения объектов различной мощности. Наиболее перспективно использование для энергоснабжения индивидуальных объектов высокогорья.

Серия изобретений [7, 8, 9] относится к установкам гибридного типа, использующим преобразование лучистой и ветровой энергии в электроснабжении одновременно. Одновременное преобразование естественных энергетических

потоков различного типа (в данном случае – ветра и солнечных лучей) в электроснабжении имеет ряд положительных качеств. Во первых, увеличивается мощность установки; во вторых повышается надежность электроснабжения (постепенно исключается хотя бы один генерирующий поток); в третьих сокращается площадь, занимаемая гибридной установкой по сравнению с общей площадью, которые занимали бы два участка в отдельности; кроме того уменьшается экологическая нагрузка на окружающую среду (по сравнению с использованием каждого преобразователя отдельно).

В настоящее время в СКГМИ (ГТУ) разрабатываются образцы автономных многофункциональных энергетических комплексов – (АМЭК), с целью их последующего использования в горных условиях.

Одним из существующих факторов, затрудняющих применение АМЭК, является необходимость иметь накопитель энергии достаточной емкости. Роль накопителя – поглощать (запасать) избыток генерируемой энергии и компенсировать (при необходимости) ее недостаток в системе потребления. Проблема создания накопителя энергокомплекса, полностью удовлетворяющего современным требованиям, пока не решена.

В СКГМИ (ГТУ) ведутся работы и в том направлении, в частности по созданию комплексного тепло – электрического накопителя, который по своим характеристикам как показывают расчеты и эксперименты вполне может удовлетворять требованиям АМЭК средней мощности.

Применение АМЭК является довольно перспективным, особенно в горных условиях. Использование энергии естественных энергетических потоков, циркулирующих в окружающем пространстве, в частности, на основе АМЭК не только упростит энергоснабжение высокогорных районов, но и в значительной мере обеспечит экологическую устойчивость горного района.

Список использованных источников

1. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. М.: Наука и техника, 2014. – 320 с.
2. Елистратов В.В. Использование возобновляемой энергии: учебное пособие/Елистратов В.В. – СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2008 – 224 с.
3. Васильев Ю.С. Возобновляемые источники энергии и гидроаккумулирование: учебное пособие/ Васильев Ю.С. Елистратов В.В. [и др.] – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 1995.
4. Петров Ю.С. Ветроколесо, патент № 2105190, опубликован 20.02.98 бюллетень № 5.
5. Хадиков М.К. Солнечная батарея, патент № 172079, опубликован 28.06.2017, бюллетень № 19
6. Алборов И.Д., Зорина И.Ю. Солнечный коллектор, патент № 170208, опубликован 18.04.2017, бюллетень № 11
7. Петров Ю.С., Саханский Ю.В., Зорина И.Ю., Иликоев Г.В. Ветроэнергетическая установка, патент № 148781, опубликован 20.12.2014 бюллетень № 35.
8. Петров Ю.С., Саханский Ю.В., Зорина И.Ю., Иликоев Г.В. Автономная электроэнергетическая установка, патент № 158761, опубликован 20.01.2016, бюллетень № 2.
9. Петров Ю.С., Хадиков М.К., Соколов А.А., Музаев А.К. Ветрогелиоустановка, патент № 188444, опубликован 12.04.2019, бюллетень № 11.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПЛАТФОРМЕ ИНТЕРНЕТА ЭНЕРГИИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

Цыгулёв Н.И., Хлебников В.К., Шелест В.А., Теребаев В.В., Смагин К.А.
Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, РФ
ncygulev@mail.ru

Аннотация: в работе предлагается осуществлять электроснабжение потребителей горных территорий постоянным током с использованием распределительных электрических сетей на платформе Интернета энергии. Проведен сравнительный анализ работы указанных сетей с использованием переменного и постоянного токов. Применение постоянного тока позволяет снизить потери транспорта электроэнергии, повысить электробезопасность потребителей.

Ключевые слова: цифровизованные электрические сети, горные территории, постоянный ток, потери электрической энергии.

ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORK OF ELECTRICITY SUPPLY OF MOUNTAIN TERRITORIES CONSUMERS ON THE DC POWER PLATFORM OF THE INTERNET

Tsygulyov N.I., Khlebnikov V.K., Shelest V.A., Terebayev V.V., Smagin K.A.
Donskoy state technical university, Rostov-on-Don, Russian Federation
ncygulev@mail.ru

Abstract: the paper proposes to provide direct current electricity to consumers in mountainous areas using distribution electric networks on the Internet energy platform. A comparative analysis of the operation of these networks using alternating and constant currents. The use of direct current allows to reduce the loss of electricity transport, to increase the electrical safety of consumers.

Keywords: digitalized electrical networks, mountainous areas, direct current, loss of electrical energy.

1. Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными и практическими заданиями

В настоящее время энергетики, как в России, так и за рубежом, большое внимание уделяют созданию интеллектуальных распределительных электрических сетей на платформе Интернета энергии и цифровых подстанций [1, 2, 3, 4, 5].

В конце 19 века Эдисон построил первую в истории энергетики электростанцию постоянного тока. Для передачи энергии использовалась трёхпроводная распределительная сеть постоянного тока, в которой использовались две цепи ± 110 В и заземлённый нейтральный провод. Однако электростанции на постоянном токе могли осуществлять электроснабжение на расстоянии не более 1,5 км. Преодолеть это ограничение можно только

сложными и дорогими мероприятиями: в частности, увеличением сечения проводов [3].

В 1887 году Тесла создал свою электрическую компанию и предложил использовать многофазный переменный ток. Между компаниями Эдисона и Тесла велась отчаянная конкурентная борьба, известная как «война токов»: постоянного и переменного.

В начале двадцатого века между специалистами продолжались споры о преимуществах и недостатках использования для целей электроснабжения постоянного и переменного токов. Сложилось так, что предпочтение было отдано трёхфазным сетям переменного тока. Промышленники, подсчитав объёмы капитальных затрат на создание систем электроснабжения, выбрали, казалось бы, самый оптимальный вариант.

2. Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья

Ещё в 1919 году Доливо – Добровольский выдвинул положение о том, что передача электрической энергии переменным током на большие расстояния окажется нерациональной из-за значительных потерь энергии в линии. В современных энергосистемах для передачи энергии на большие расстояния всё чаще используется постоянный ток [3].

В последние 10-15 лет в связи с ростом количества нелинейных потребителей (преобразователи частоты, выпрямители, полупроводниковые блоки питания и пр.) переменного тока напряжением до 1000 В и особенно однофазной нагрузки резко возросли потери электроэнергии при её передаче до потребителя и в низковольтных сетях. Передача избыточной реактивной мощности также существенно снижает пропускную способность электрических линий и силовых трансформаторов [6].

Вся нормативная техническая документация по устройству электрических сетей, проектированию электроустановок, выбору оборудования и аппаратуры для защиты линий, учёта электроэнергии, по расчётам потерь электроэнергии базируются на трёхфазном, симметричном и синусоидальном токе. Фактически сегодня токи в сети несинусоидальные и несимметричные [6].

На сегодняшний день нет детальных исследований по потерям в силовых трансформаторах при протекании в них несинусоидальных токов. Также неизвестно, как растут потери электроэнергии при протекании в линиях электропередачи искажённого тока нагрузки. Очевидным остаётся тот факт, что потери при несинусоидальных токах растут, так как растёт доля высших гармонических составляющих [7].

Дальнейшее применение трёхфазного тока для электроснабжения социально-бытового сектора, при быстром росте однофазной нелинейной нагрузки приведёт к значительному росту потерь электроэнергии при её транспортиров-

ке. Сегодня необходимо принимать превентивные меры и искать альтернативные подходы обеспечения электроэнергией этого сектора. Одним из путей выхода из данной ситуации является использование постоянного тока.

В настоящее время в мировой энергетике используется в основном переменный ток с частотой 50 и 60 Гц. Такие частоты являются наиболее уязвимы для живых организмов. Применение постоянного тока значительно повышает уровень электробезопасности, так как минимальный допустимый порог напряжения при переменном токе примерно в четыре раза ниже по сравнению с постоянным [8].

Всё сказанное привело к тому, что энергетические компании и производители электротехнической продукции всё большее внимание уделяют использованию постоянного тока в сетях электроснабжения, а также разработке соответствующего электрооборудования.

Электроснабжение на постоянном токе симметрирует однофазную нагрузку в трёхфазной сети и силовых трансформаторах. Нарботка на отказ современной силовой электроники достаточно высокая, имеется опыт эксплуатации данного оборудования в электрофицированном транспорте и специальных объектах [8].

В настоящее время разработан пилотный проект по сравнению схем электроснабжения на переменном и постоянном токах на двух однотипных домах, оснащенных одинаковой офисно-бытовой техникой установленной мощностью до 30 кВт, и двух улиц длиной по 600 м, также освещаемых переменным и постоянным токами.

Уже используются системы электроснабжения многоквартирных и даже частных домов, когда для каждого дома устанавливается отдельная ТП. Обычно вторичная обмотка такого трансформатора имеет отвод от середины, который заземляется, и получаются две цепи, работающие в противофазе. В результате, есть возможность подключать приборы, рассчитанные как на 100—127 В, так и на 200—250 В.

Одной из проблем, связанных с использованием аппаратов и переменного, и постоянного тока, является гашение электрической дуги, при размыкании цепей постоянного тока.

В аппаратах низкого напряжения применяется два решения: открытый разрыв и щелевые дугогасительные камеры. В первом случае дуга растягивается, допустим, с помощью электродинамических сил, одновременно охлаждаясь воздухом (способ применяется для токов до 5 кА и напряжений до 500 В). Во втором – дуга при помощи магнитного поля растягивается и попадает в узкую камеру, где охлаждается (применяется для токов до 90 кА).

3. Формулирование цели и постановка задач работы

В настоящее время постоянный ток можно применять во внутренних и уличных сетях освещения. Для организации работ на постоянном токе имеется комплекс стандартов серии ГОСТ Р 50571-2000 «Электроустановки зданий».

Требования по обеспечению безопасности». Целью настоящей работы является разработка цифровизованной распределительной электрической сети постоянного тока, обеспечивающей минимальные потери транспорта электрической энергии.

4. Представление основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов, формулирование рекомендаций

Распределительная сеть (рис.1) подключена к двум независимым источникам постоянного тока VD_1 и VD_2 . Для получения постоянного напряжения U_{d1} и U_{d2} используются низковольтные обмотки трансформаторов 110/10 кВ, мостовые трёхфазные выпрямители (VD_1, VD_2), которые могут быть дополнены сглаживающими фильтрами, настроенные на частоту 300 Гц.

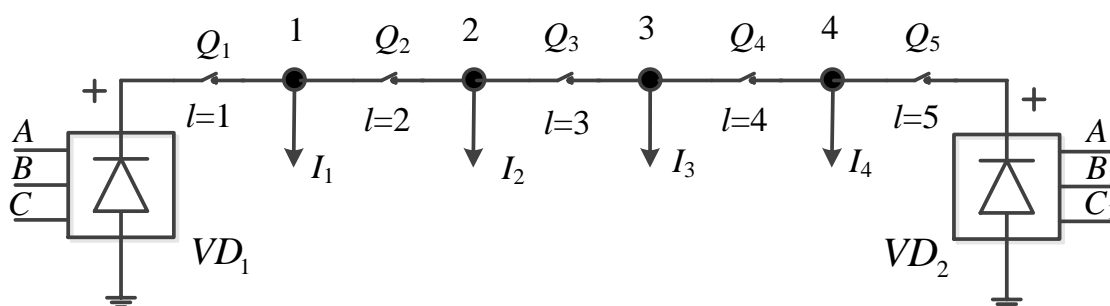


Рисунок 1 - Схема линии с двухсторонним питанием

Пронумеруем участки линии и нагрузки потребителей (рис.1) в порядке возрастания так, чтобы номера участков l ($l = 1, 2, \dots, n$) и номера нагрузок (узлов) j ($j = 1, 2, \dots, n - 1$) совпадали. Для сети, изображённой на рис. 1, $n = 5$. Она содержит пять участков линии с сопротивлениями R_l ($l = 1, 2, \dots, n$), пяти выключателей (Q_1, Q_2, \dots, Q_5) и четырёх нагрузок, заданных в виде токов I_j ($j = 1, 2, 3, 4$). Для этой сети необходимо обеспечить минимально возможные потери электроэнергии при её передаче и максимальную надёжность электропитания, используя принципы энергетического Интернета.

Одним из малозатратных мероприятий по снижению потерь электроэнергии в распределительной сети с двухсторонним питанием является оптимизация места размыкания сети [9]. Для выбора места размыкания выполняют расчёты экономичного токораспределения [12]. Затем отключают секционный выключатель Q_k в участке линии (в ветви) с минимальным током. В сети переменного тока различают естественное (по полным сопротивлениям расчётной схемы) и экономичное (по активным сопротивлениям расчётной схемы) токораспределение. В сети постоянного тока, расчётная схема которой содержит только активные сопротивления, естественное и экономичное токораспределение совпадают.

Для линии с двухсторонним питанием при $U_{d1} \neq U_{d2}$ токи ветвей могут быть определены наложением токов двух режимов. В первом режиме принимается $U_{d1} = U_{d2}$, во втором вычисляется уравнивающий ток, обусловленный неравенством напряжений U_{d1} и U_{d2} . Используя известную методику расчёта режима линии с двухсторонним питанием [12], запишем целевую функцию Φ для выбора оптимального места размыкания линии.

$$\Phi = \min_{l \in \{1, 2, \dots, n\}} \text{abs} \left[\frac{\sum_{j=1}^{n-1} (I_j \times (\sum_{i=j}^n R_i))}{\sum_{i=1}^n R_i} + \frac{U_{d1} - U_{d2}}{\sum_{i=1}^n R_i} - \sum_{j=1}^{l-1} I_j \right]. \quad (1)$$

Минимизируемая функция Φ является дискретной функцией целочисленного параметра l .

Выбор параметра l в соответствии с (1) позволяет определить k -й выключатель, при размыкании которого обеспечивается минимальное значение потерь энергии в линиях.

В качестве релейной защиты рассматриваемой сети предлагается использовать максимально-токовую защиту. Защита отходящих присоединений выполняется с помощью предохранителей. При этом в управляющий компьютер передаётся информация о токах в начале и конце линии. Сравнивая токи в начале и конце линии, определяется повреждённый участок сети [11].

Рассмотрим аварийный режим работы сети, оснащённой максимально-токовой защитой. Предположим, что на участке линии 1 (рис. 1), происходит КЗ. При этом от релейной защиты линии, подаётся сигнал на отключение выключателя Q_1 . Выключатель Q_1 отключается, снимает напряжение с повреждённого участка и подаёт команду на отключение выключателя Q_2 . После отключения выключателя Q_2 повреждённый участок сети становится обесточенным. Однако при этом оказываются обесточенными нагрузка I_2 и неповреждённая линия 3, питающая нагрузку I_3 .

Затем выключателем Q_2 подаётся команда на включение секционного выключателя Q_k . При этом на неповреждённую линию 3 и нагрузки I_2 и I_3 подаётся напряжение от второго источника питания. Аналогичные операции выполняются и при выводе в ремонт оператором одной из линий.

Рассмотрим численный пример определения оптимального по потерям мощности места размыкания линии с двусторонним питанием, состоящей из 5 участков (рис. 1). Для наглядности решения нагрузки потребителей I_j и сопротивления участков R_i линии будем рассматривать в относительных единицах (табл. 1).

Потери мощности в i -м участке линии определяются по формуле:

$$\Delta P_i = I_i^2 R_i,$$

где I_i^2 – ток, протекающий по i -му участку линии.

Таблица 1

Параметры расчётной схемы линии

Параметр	Номер участка/узла				
	1/1	2/2	3/3	4/4	5/-
R_l	1	1	1	1	3
I_j	1	1	1	1	

В табл. 2 приведены результаты расчёта режимов линии при отключении одного из секционных выключателей. Из табл. 2 видно, что минимальное значение суммы потерь мощности в 5 участках линии равно 17, а оптимальный режим обеспечивается при отключении выключателя Q_4 .

Таблица 2

Режимы линии при её размыкании

Отключённый выключатель	Токи участков линии					Потери мощности в линии
	$l = 1$	$l = 2$	$l = 3$	$l = 4$	$l = 5$	
Q_2	1	0	1	2	3	32
Q_3	2	1	0	1	2	18
Q_4	3	2	1	0	1	17

Рассмотрим применение критерия (1) для выбора оптимального места размыкания линии. Для этого выполнены расчёты целевой функции Φ при вариации параметра l в интервале от 1 до 5. Примем, что $U_{d1} = U_{d2}$. Результаты расчёта даны на диаграмме рис. 2.

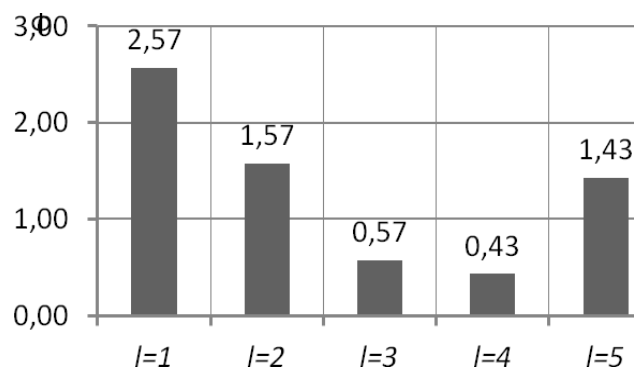


Рисунок 2 - Целевая функция для выбора секционного выключателя

Минимальное значение целевой функции Φ соответствует отключению секционного выключателя Q_4 , размещённому на участке линии $l = 4$, что совпадает с результатами расчётов потерь мощности в табл. 2.

5. Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления

1. Предложенный подход построения распределительной электрической сети позволяет создать цифровизованную сеть, обеспечивающую полную авто-

матизацию, самоорганизацию и адаптацию к режимам работы системы электроснабжения постоянным током.

2. Реализация предложенной сети, позволяет обеспечить минимальные потери при транспорте электроэнергии потребителям.

3. При возникновении КЗ на линиях обеспечиваются минимальные перемены в питании, и тем самым снижается недоотпуск энергии потребителям.

Список использованных источников

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Министерство энергетики. Minenergo.gov.ru.

2. Дорожная карта Энерджинет до 2035 года. fasie.ru.

3. Основы современной энергетики. Курс лекций для менеджеров энергетических компаний. Под редакцией Е.В. Аметистова. Учебное электронное издание. М.: Изд-во МЭИ. – 2008.

4. Задорожний А.В., Огороков Р.В. Основные эффекты реализации технологической платформы «Интеллектуальная энергетическая система России» // Вестник ИГЭУ, 2013. – №2. – С. 78-84.

5. Бердников Р.Н., Бушуев В.В., Васильев С.Н., и др. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью. М.: ФСК ЕЭС, 2012. – 236 с.

6. Яковлев Г.Н. Применение постоянного тока в электроснабжении социально-бытового сектора экономики с целью снижения потерь электроэнергии. Энергосовет № 6 (19) за 2011 г.

7. Сошинов А.Г., Копейкина Т.В. Перспективы применения постоянного тока в быту // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12-3. – С. 472-475;

8. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=10865> (дата обращения: 24.01.201)

9. Кравченко В.Ф., Хлебников В.К. Метод и алгоритм выбора оптимальных по потерям энергии мест размыкания сетей 6-10 кВ // Изв.вузов. Электромеханика. – 1998.-№2-3. – С.112.

10. Хлебников В.К., Цыгулёв Н.И., Шелест В.А. Алгоритм выбора уставок автоматического регулятора напряжения для снижения потерь электроэнергии. // Изв.вузов. Электромеханика. – 2018.-№4. – С.70-75.

11. Цыгулев Н.И., Хлебников В.К., Шелест В.А., Теребаев В.В., Абрамов Ю.В., Бабина Л.В., Смагин К.А. Сегменты цифровизации распределительной электрической сети. Кибернетика энергетических систем: Сборник материалов XL сессии научного семинара по тематике «Диагностика энергооборудования», г. Новочеркасск, 23-26 сентября 2018 г./ Юж.-Рос. политехн. ун-т(НПИ). – Новочеркасск: ЛИК, 2018, - С. 410 – 415.

12. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: учеб.пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – М.: КНОРУС, 2012. – 648 с.

Вручение грамот участникам конференции за достижения в области развития электроэнергетической отрасли







Заккрытие конференции

Содержание

	стр.
Краткий обзор видеообращений, пленарных и секционных докладов, представленных на конференцию	10
Научные направления работы секций конференции	12
Краткая информация об участии сотрудников кафедр "Нефтегазовое дело" и "Электроснабжение промышленных предприятий" ФГБОУ ВО "СКГМИ (ГТУ) в мероприятиях, посвященных вопросам развития нефтегазовой отрасли и электроэнергетики (2018–2019 гг.)	15
Резолюция Международной научно-практической конференции «Перспективы устойчивого развития нефтегазовой отрасли и электроэнергетики в Российской Федерации и мире»	17

Раздел 1 (секции 1–5)

РАЗВИТИЕ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

<i>Керимов И.А., Гайрабеков У.Т., Гагаева З.Ш.</i> Геоэкология Терско-Сунженской нефтегазоносной области: Актуальные проблемы и пути решения	25
<i>Зубрилов Г.Ю., Хомутов М.П., Белина Н.Н.</i> Гидравлическая система безопасности функции выдвижения системы верхнего привода	30
<i>Калашиник Ж. В.</i> Изучение особенностей четвертичных отложений Астраханского Прикаспия в целях строительства и размещения объектов нефтегазовой инфраструктуры	36
<i>Коннов Д.А.</i> Построение 3D-модели механических свойств с использованием высокопроизводительных вычислений с применением технологий нейронных сетей на территории Северного Каспия	41
<i>Кудинов В. В., Гольчикова Н. Н.</i> Выявление перспективных нефтегазоносных объектов в неоген-четвертичном комплексе отложений Астраханского Прикаспия	47
<i>Курячий А.Е., Калягин С.М.</i> Повышение эффективности традиционного наклонно-направленного бурения за счет использования системы импульсного управляемого бурения	52
<i>Мазко А.И., Босиков И.И.</i> Вибрационное фильтрование как способ повышения производительности очистки технологической воды	58
<i>Чебан Е.В., Чебан С.Е., Леонтьев С.А.</i> Рекомендации по повышению эффективности низкотемпературной сепарации газа на Бованенковском НГКМ	61
<i>Урумов А.С., Хатагова Л.С., Пантелеева С. В.</i> Мобильное защитное устройство для безопасного производства работ в местах возможного камнепада	65
<i>Пантелеева С. В., Хатагова Л.С.</i> Интерактивная схема распределения газового потока на примере участка магистрального газопровода «Дзуарикау-Цхинвал»	69
<i>Саранча А.В., Майер А.В., Левитина Е.Е.</i> Последовательная схема выделения эксплуатационных объектов на многопластовых нефтегазоконденсатных месторождениях	73
<i>Саранча А.В., Майер А.В.</i> Эффективность проведения ГТМ на нефтяных месторождениях ХМАО-ЮГРЫ	81
<i>Иванова Л.Н., Иванов А., Ильмамедов Д.Х., Косиненко Е., Кочетов С.С.</i> Анализ состояния высокопарафинистых нефтей при разработке месторождений	85

<i>Егорова Е.В., Бяков А.П.</i> Геонавигационные технологии при бурении горизонтальных секций скважин в Российском секторе Каспийского моря.....	89
<i>Даудов С.Д., Егорова Д.А., Калмыков П.А., Кумаров А.А., Мирзоян Д.Ф.</i> Борьба с асфальтосмолопарафиновыми отложениями в условиях Быстринского месторождения	95
<i>Абаев А.Д., Мурзагалиев Ю.В., Буланов Д.О., Нежинский А.В., Малиев А.Г.</i> Опыт эксплуатации установки предварительной подготовки газа на Верхне-Пурпейском месторождении	99
<i>Басиев К.Д., Алборов А.Д., Босиков И.И., Дзуцев Т.М.</i> Зарождение и развитие стресс-коррозионных трещин в магистральных газопроводах с течением времени	103
<i>Басиев К.Д., Алборов А.Д., Босиков И.И., Дзуцев Т.М.</i> Влияние энергии сжатого газа на развитие коррозионных трещин в магистральных газопроводах	115
<i>Цидаев Б.С., Босиков И.И.</i> Оценка нефтегазоносности на Мессояхском участке помощью геофизических методов.....	123
<i>Басиев К.Д., Алборов А.Д., Дзуцев Т.М.</i> Влияние водорода на магистральные газо- и нефтепроводы, эксплуатирующиеся в наводороживающих средах	130

Раздел 2 (секции 6–7)

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

<i>Керимов И.А., Минцаев М.Ш., Дебиев М.В.</i> Программа развития энергетики Чеченской республики (2011–2030 гг.): Состояние и перспективы	149
<i>Бамматов А.М., Магомедов Ф.М., Меликов И.М., Гасанова Э.С.</i> Проблемы развития и влияние возобновляемой энергетики на стабильность энергосистем	160
<i>Гасанов У.Г., Магомедов Ф.М., Меликов И.М., Магомедова Н.Ф.</i> Тенденции развития возобновляемой энергетики в России и за рубежом	170
<i>Берко И.А., Берко А.А.</i> Исследование характеристик микропроцессорной релейной защиты на подстанции напряжением 330 кВ (Владикавказ -2).....	177
<i>Берко И.А., Берко А.А.</i> Разработка методов по улучшению использования солнечных электростанций природно-промышленной системы в горных территориях	183
<i>Володин В.С., Толоконский А. О.</i> Исследование влияния типа исполнительного механизма на качество управления в контурах регулирования электроэнергетических объектов	193
<i>Гаврина О.А., Горбачев Н.В., Уртаев Г.О.</i> Комплексный анализ показателей качества электроэнергии в системе электроснабжения предприятий цветной металлургии	201
<i>Гаврина О.А., Лысоконь Э.С. Видищев В.Н.</i> Использование ветроэнергетических установок для электроснабжения потребителей РСО-Алания.....	207
<i>Дубинин В.Н.</i> Системный анализ энергосбережения в промышленности	214
<i>Ильин Р.А., Шишкин Н.Д.</i> Разработка и внедрение вертикально-осевых ветроэнергоустановок для энергоснабжения автономных объектов.....	220
<i>Ермаков М.А, Кишкин А.А., Потес Д.В., Мелкозеров М.Г.</i> Проблемы и перспективы использования аддитивных технологий при изготовлении энергетического оборудования.....	228
<i>Кишкин А.А., Шевченко Ю.Н., Делков А.В., Куприянов А.В.</i> К вопросу моделирования рабочего процесса в турбинах различных типов с учетом регенерации потерь энтальпии.....	231

Шевченко Ю.Н., Кишкин А.А., Куприянов А.В., Делков А.В. Паросиловые установки в малой распределенной энергетике	234
Клюев Р. В., Зурабов В.Т., Кочиева З.А. Особенности возникновения высших гармоник в электрических сетях на промышленных предприятиях.....	237
Клюев Р. В., Арсланбеков Б. А., Донченко В. А. Использование нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии в горных территориях	246
Клюев Р. В., Галкина О.Ю., Тотров Б.В., Каджаев О.В. Методы повышения эффективности работы малых гидроэлектростанций РСО-Алания	252
Жданов В.Г., Логачева Е.А. Совершенствование процесса производства работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования.....	259
Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Салпагаров В.К. Синхронный генератор повышенной мощности	269
Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Салпагаров В.К. Электроснабжение потребителей с использованием энергии ветра и солнца	274
Лисутина А.С., Петров Ю.С., Соколов А.А. Разработка структуры организации солнечного дома.....	279
Тестов Д.С., Моржухин А.М., Моржухина С.В. Выбор среднетемпературных фазопереходных теплоаккумулирующих материалов для систем отопления на основе факторного анализа их свойств и характеристик	282
Плиева М.Т., Кабисов А.А., Гудиев Т.Т. Исследование показателей надежности электроэнергетической системы	286
Музаев А.К., Зорина И.Ю., Хадиков М.К., Петров Ю.С. Повышение эффективности применения ВИЭ для энергоснабжения автономных объектов высокогорья	291
Цыгулёв Н.И., Хлебников В.К., Шелест В.А.,Теребаев В.В., Смагин К.А. Электрическая распределительная сеть электроснабжения потребителей горных территорий на платформе интернета энергии постоянным током	296