



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Астраханский государственный университет»
Академия электротехнических наук Российской Федерации

Материалы научной конференции
Энергоэффективность. Ценология.
Экология и Энергобезопасность

16-19 сентября 2020 года
г. Астрахань



Астрахань – 2020

УДК 620.9, 621.3

ББК 31.0

Э65

Конференция организована Астраханским государственным университетом совместно с Академией электротехнических наук Российской Федерации.

Сборник материалов подготовлен при финансовой поддержке
ООО НПП «Астраэнергоэффект»

Энергоэффективность. Ценология. Экология и Энергобезопасность:

Материалы научной конференции (г. Астрахань, 16-19 сентября 2020 г) под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Зайнутдиновой Л.Х. и д-ра техн. наук, проф. Тягунова М.Г. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2020, 388 с.

ISBN 978-5-91910-921-1

Представлены материалы докладов трех секций:

Секция 1. Энергоэффективность и Энергосбережение.

Секция 2. Ценология. Методологические вопросы ценологии в фундаментальных и прикладных исследованиях.

Секция 3. Экология и энергобезопасность

Ключевые слова: Энергосбережение, энергоэффективность, техноценоз, ранговый анализ, возобновляемые источники энергии, распределенная энергетика, экология, энергобезопасность, коронакризис, декарбонизация энергетике

© Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2020

© Коллектив авторов, 2020

От редакторов

Развитие направления «Энергосбережение» получило мощный импульс с принятием Федерального закона от 23.11.2009 N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». В разных сферах деятельности достигнуты заметные результаты в плане энергосбережения. Однако далеко не всегда сокращение потребления того или иного ресурса является благом. Сокращение объемов потребляемого ресурса не должно приводить к снижению качества и количества производимых товаров и услуг. На настоящем этапе наиболее актуальным становится повышение энергоэффективности, то есть улучшение соотношения объемов производимой предприятиями продукции к объемам потребляемых энергоресурсов. На сегодняшний день для многих отраслей деятельности еще не разработаны четкие показатели и критерии энергоэффективности, поэтому обсуждение теоретических и прикладных вопросов энергоэффективности делает тематику конференции актуальной.

Новым направлением в технике является понятие техноценоза, предложенное профессором Б.И. Кудриным. Под техноценозом (крупным инфраструктурным объектом) понимается промышленное предприятие, регион, город, сельский район, фирма, сеть магазинов или заправочных станций, группировка войск и т.п. Ценологический подход позволит осуществлять оптимизацию электропотребления и повышение энергетической эффективности на системном уровне. Необходимо освоение этого подхода в различных сферах технической реальности. В связи с изложенным, включение в программу конференции секции «Ценология. Методологические вопросы ценологии в фундаментальных и прикладных исследованиях» становится своевременным.

Процессы производства и потребления энергоресурсов неразрывно связаны с проблемами экологии и энергобезопасности. В настоящее время, когда наблюдаются заметные изменения климата, происходит общее обострение экологической ситуации, возникают политические разногласия, получает свое

развитие распределенная энергетика, в том числе энергетика ВИЭ, идет освоение Арктики, задача исследования проблем энергобезопасности и экологии именно в связке становится особенно актуальной.

Укрупненно фундаментальную научную проблему, обсуждаемую на конференции, можно сформулировать следующим образом: «Как обеспечить энергоэффективность, экологичность и энергобезопасность в условиях перехода к декарбонизации, децентрализации и цифровизации энергетики?»

Актуальность тематики конференции усиливается благодаря широте охвата современных тенденций в развитии энергетики.

Программный комитет

Тягунов Михаил Георгиевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Академик-секретарь Научно-отраслевого отделения №15 «Высшее электротехническое образование» Академии электротехнических наук РФ, Москва, – **председатель программного комитета.**

Секция 1. Энергоэффективность и Энергосбережение

Кирпичникова Ирина Михайловна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Электрические станции, сети и системы электроснабжения», Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, **председатель секции №1.**

Зайнутдинова Лариса Хасановна, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры электротехники, электроники и автоматики, руководитель Научно-образовательного центра «Альтернативная энергетика», ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», действительный член Академии электротехнических наук РФ, г. Астрахань, **сопредседатель секции №1.**

Акмаева Раиса Исаевна, доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой менеджмента, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», член-корреспондент Международной академии менеджмента, г. Астрахань.

Бойправ Ольга Николаевна, заместитель министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Астраханской области, г. Астрахань.

Исмагилов Флюр Рашитович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электромеханики, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа.

Курылев Александр Сергеевич, кандидат технических наук, профессор кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники, директор

Научно-образовательного центра профессиональных компетенций, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», г. Астрахань.

Семенова Наталья Геннадьевна, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры автоматизированного электропривода, электромеханики и электротехники, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург.

Теруков Евгений Иванович, доктор технических наук, профессор, зам. генерального директора по научным вопросам ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике», г. Санкт-Петербург.

Цырук Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», главный редактор журнала «Промышленная энергетика», г. Москва.

Шилин Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электротехники, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград.

Секция №2. Ценология. Методологические вопросы ценологии в фундаментальных и прикладных исследованиях

Гнатюк Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор, действительный член РАЕН, профессор кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики, ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград, **председатель секции №2.**

Матюнина Юлия Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, **сопредседатель секции №2.**

Петрова Галина Арсеньевна, инженер кафедры электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий, ФГБОУ ВО «Национальный

исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, **ответственный секретарь** **секции №2.**

Гурина Роза Викторовна, доктор педагогических наук, профессор кафедры физических методов в прикладных исследованиях инженерно-физического факультета высоких технологий, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», зав базовой кафедрой педагогики физико-математического и информационно-технологического довузовского образования при Лицее №40, г. Ульяновск.

Кивчун Олег Романович, кандидат технических наук, доцент института физико-математических наук и информационных технологий, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград.

Клюев Роман Владимирович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий, ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт» (государственный технологический университет), г. Владикавказ.

Кошарная Юлия Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва.

Кузьминов Александр Николаевич, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБОУ ВО "Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)", г. Ростов.

Луценко Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник ООО «Калининградский инновационный центр «Техноценоз», г. Калининград.

Морозова Екатерина Владимировна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической физики, ФГБОУ ВО Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск.

Шейнин Александр Анатольевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ООО «Калининградский инновационный центр «Техноценоз», г. Калининград.

Секция 3. Экология и энергобезопасность

Тягунов Михаил Георгиевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Академик-секретарь Научно-отраслевого отделения №15 «Высшее электротехническое образование» Академии электротехнических наук РФ, Москва, – **председатель секции №3.**

Юдаев Игорь Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры теплоэнергетики и техносферной безопасности, заместитель директора по научной работе Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, **сопредседатель секции №3.**

Ажмухамедов Искандар Маратович, доктор технических наук, профессор, декан факультета цифровых технологий и кибербезопасности, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань.

Бабичев Юрий Егорович, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и информационных систем, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва.

Грибков Сергей Владимирович, кандидат технических наук, председатель комитета ВИЭ Федеральной Палаты энергоэффективности и энергосбережения, ученый секретарь комитета ВИЭ РосСНИО, академик РИА, с.н.с. ФГУП ЦАГИ, г. Москва.

Илюшин Павел Владимирович – кандидат технических наук, проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации», руководитель национального исследовательского комитета Сб «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергоресурсы» РНК СИГРЭ, академик АЭН РФ, г. Санкт-Петербург.

Кузнецов Анатолий Викторович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор, заведующий кафедрой "Электроснабжение", ФГБОУ ВО Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск.

Лихтер Анатолий Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань.

Назарычев Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, ректор ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации», академик АЭН РФ, г. Санкт-Петербург.

Николаев Владимир Геннадьевич, доктор технических наук, член-корр. РИА (Российской Инженерной Академии), директор АНО «Научно-информационный Центр «АТМОГРАФ», заведующий Лабораторией ВИЭ Института арктических технологий МФТИ, г. Москва.

Тимербаев Наиль Фарирович, доктор технических наук, профессор, директор Научного центра «Центр перспективных энерготехнологий», заведующий кафедрой «Возобновляемые источники энергии», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань.

Оргкомитет

Рыбаков Алексей Владимирович, кандидат физико-математических наук, директор физико-математического института, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань, **председатель оргкомитета.**

Зайнутдинова Лариса Хасановна, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры электротехники, электроники и автоматики, руководитель Научно-образовательного центра «Альтернативная энергетика», ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», действительный член Академии электротехнических наук РФ, г. Астрахань, **зам. председателя оргкомитета.**

Ильичев Владимир Геннадьевич, инженер Научно-образовательного центра «Альтернативная энергетика», ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань, **ответственный секретарь оргкомитета.**

Выборнов Николай Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент, декан факультета физики, математики и инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань.

Ключарев Антон Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой электротехники, электроники и автоматики, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань.

Аминов Растям Ильдусович, начальник отдела интернет-технологий, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань.

Старов Дмитрий Владимирович, старший преподаватель кафедры электротехники, электроники и автоматики. ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань.

Братышев Сергей Николаевич, ассистент кафедры электротехники, электроники и автоматики, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань.

Хлебцов Алексей Павлович, ассистент кафедры электротехники, электроники и автоматики, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань.

Секция 1.
Энергоэффективность
и
энергосбережение

**СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ В
ПОСТКРИЗИСНЫЙ ПЕРИОД**

Акмаева Р.И., Максимов И.В.

Астраханский государственный университет

Аннотация

Роль энергетической отрасли возрастет в посткризисный период, как и значение быстрого внедрения цифровых инструментов в практику хозяйственной деятельности предприятий энергетики. Мировые глобальные вызовы и новые тенденции, с которыми вынуждены сталкиваться все организации, в том числе энергетические предприятия в процессе становления инновационной и цифровой экономики в нашей стране, кардинально меняют стратегии их развития.

Ключевые слова

Энергетическая отрасль, цифровая экономика, посткризисный период, менеджмент предприятий энергетики

**DEVELOPMENT STRATEGIES OF THE ENTERPRISES OF POWER
DURING THE POST- CRISIS PERIOD**

R.I. Akmayeva, I.V. Maximov

Astrakhan state university

Summary

The role of the power industry will increase during the post-crisis period, as well as value of rapid implementation of digital tools in practice of economic activity of the enterprises of power. World global challenges and new trends which all organizations are forced to face including the power enterprises in the course of formation of

innovative and digital economy in our country, cardinally change the strategy of their development.

Keywords

Power branch, digital economy, post-crisis period, management of the enterprises of power

Мировая экономика после пандемии будет переживать более сильную рецессию – спад производства или замедление темпов экономического роста, чем это было ранее во времена прошедших за последние десятилетия экономических кризисов. Covid-19 превратился в одну из главных проблем глобальной экономики, он заставляет и бизнесменов, и инвесторов пересматривать свои планы и думать о стратегиях посткризисного развития.

Эксперты единодушны в одном, что основная угроза для российской экономики – это сокращение экспорта, который станет главным фактором, мешающим экономике восстанавливаться и, прежде всего, за счет сокращения экспорта нефти в Китай и снижения цен на нее [1]. Напротив, роль глобализации после пандемии может существенно снизиться. Велика угроза также для обеспечения социального благополучия россиян, поскольку последствия от коронавируса могут обнулить эффект от запланированных мер социальной поддержки населения.

Если придерживаться наиболее вероятного сценария средней тяжести, то многие страны к лету или осени 2020 года все же победят распространение коронавируса, но с гораздо более сильными потерями, чем Китай, поскольку отличаются большими гражданскими свободами и острым нежеланием людей менять свой привычный уклад жизни, в основном из-за особенностей национального менталитета.

Даже в России, как свидетельствуют СМИ, несмотря на усиленную работу по пропаганде о защите населения от коронавируса, часть россиян (в основном молодое поколение) с трудом воспринимают жесткие меры карантина. В этой связи достаточно вспомнить такую выявленную исследователями черту

российского национального характера как «сохранение низкой способности к разумному самоограничению во имя групповых интересов» несмотря на известную всем склонность к «авральной» работе и работе сообща, единению и коллективизму [цит. по: 2, с. 74]. Необходимо учитывать основную тенденцию развития российской ментальности в постсоветский период в сторону развивающегося индивидуализма, все больше ориентации на личность. Хотя и произошли определенные подвижки в национальном характере людей в направлении усиления «адаптационного индивидуализма западного типа», но некоторые исследования показывают, что россияне по-прежнему остаются конфликтными индивидуалистами, что тесно связано с их недоговороспособностью и отсутствием доверия [цит. по: 2, с. 84].

Следует подчеркнуть, что и в будущем такая особенность национального менталитета как двойственность в поведении, переменчивость, дуализм российской души, ее противоречивость – так и останутся главной чертой россиян. Данную уникальную особенность национальной системы ценностей, возможность умелого сочетания европейской идеи индивидуализма с азиатской идеей коллективизма следует использовать в процессе выработки стратегий развития российских предприятий, в том числе энергетики, в посткризисный период.

Высокий уровень динамизма и неопределенности внешнего окружения в условиях разворачивающегося мирового экономического кризиса под влиянием новых «черных лебедей» (коронавируса, экономических санкций и проблем с соглашениями с «ОПЕК+») потребует от руководителей и менеджеров энергетических предприятий оперативного принятия стратегических решений, прежде всего, по ликвидации технологического отставания своих предприятий и учета последствий от коронавируса.

Практика течения пандемии в разных странах показала, что единственным действенным методом сдерживания инфекции оказалась всеобщая изоляция населения, остановка транспортного сообщения между странами и «замораживание» жизни городов, когда из магазинов работают только

продуктовые, а вся сфера услуг и общепит закрыты. Во время пандемии Китай и другие азиатские страны – такие, как Сингапур и Южная Корея – убедили весь мир, что они могут эффективно справляться с ней, в отличие от стран Европы.

Среди российских предприятий энергетики компании «Россети» перешли на режим самоизоляции раньше остальных. На сегодня в «домашних офисах» этой компании трудятся более 87 000 человек, в том числе 71% офисного персонала (в Москве – 90%). «Россети» оказывают не менее значительную поддержку регионам, поскольку именно от этой компании зависит энергоснабжение практически всей России. По распоряжению главы холдинга П. Ливинского «Россети» взяли под особый контроль энергоснабжение инфраструктурных и социальных объектов во всех субъектах Федерации. Особое внимание будет уделяться подаче электроэнергии медицинским учреждениям, объектам, обеспечивающим предоставление госуслуг, сотовой связи и доступа к интернету. Акцент делается также на организациях, предоставляющих населению онлайн-услуги (банки, интернет-магазины), а также на крупных транспортно-логистических центрах. Руководители региональных подразделений холдинга участвуют в координационных совещаниях под руководством глав субъектов по эпидемиологической ситуации. В результате все объекты электросетевого комплекса в зоне ответственности группы работают в штатном режиме, а рисков для надежного энергоснабжения нет [3].

Роль энергетической отрасли возрастет в посткризисный период, как и значение быстрого внедрения цифровых инструментов в практику хозяйственной деятельности предприятий энергетики. Тем более, что по оценкам экспертов, пандемия ускорит цифровизацию экономик различных стран и компаний [4]. Больше пострадают организации, которые меньше остальных внедряли цифровые технологии. Уже сейчас все мы наглядно видим, что в условиях самоизоляции и перехода многих российских организаций на удаленную работу резко увеличивается удельный вес применения цифровых технологий: онлайн-обучения, интернет-торговли, инструментов искусственного интеллекта (распознавания лиц, установления локализации

нахождения условно зараженных лиц и т.п.). Следовательно, точками роста в самое ближайшее время обещает стать все, что связано с интернетом и поддерживаемой им инфраструктурой: IT-сфера, онлайн торговля и связанная с ней сеть курьерской доставки, интернет-банкинг, различные сервисы, включая дистанционное обучение и профессиональную переподготовку кадров.

Для предприятий энергетики при выработке новых стратегий развития в посткризисных условиях следует использовать цифровые инструменты, прежде всего в сфере промышленного интернета (IoT, Internet of Things) и дополненной реальности (Augmented Reality, AR) [5, с. 30]. Руководители предприятий должны признать, что «переход на цифру» потребует перемен не только в области программного обеспечения (ПО), но и в сферах отношений с поставщиками, клиентами, конкурентами и подрядчиками. Так, компания GE в режиме реального времени контролирует оборудование на промышленных объектах следующим образом: используя информацию от встроенного ПО, она сообщает клиентам о необходимости ремонта и корректирует график технического обслуживания. Признав, что для объединения производственных активов любого предприятия потребуется единая платформа обработки данных, GE стала поставлять ПО напрямую потребителям, в обход системных интеграторов, которые делали это поэтапно. Чтобы в полной мере воспользоваться преимуществами цифровых технологий, компании вынуждены коренным образом перестраивать свои цепочки создания стоимости, даже отказываясь от своих давних партнеров [6].

Следовательно, проблема быстрого внедрения цифровых технологий тесно взаимосвязана с эффективным выбором стратегий развития руководителями энергетических предприятий в посткризисное время, когда они будут вынуждены быстро решать новые и сложные управленческие задачи, связанные с ликвидацией последствий пандемии, и особенностями ее влияния на отрасль энергетики. К таким особенностям посткризисного периода можно отнести, во-первых, рассмотренный выше фактор ускорения внедрения цифровых технологий в производство; во-вторых, прогнозируемое после пандемии

усиление роста спроса на электрическую энергию всех отраслей экономики, включая население, и, в-третьих, позитивное влияние наблюдаемого ценового падения на нефть и газ для традиционной энергетики. Последнее обстоятельство можно объяснить следующим: добычу нефти и газа даже такие низкие цены не в состоянии разрушить, зато это стимулирует к более быстрому упадку угольной промышленности, так как уголь будет замещен не солнцем и ветром, а газом, то есть традиционным источником энергии. Чем дешевле нефть и газ, тем у потребителей больше желания переходить на них, что сильно бьет по «зеленой» энергетике. Поэтому в нынешнем ценовом падении есть даже некоторые плюсы для традиционной энергетики. Следовательно, коронавирус и ОПЕК+ нанесут серьезный удар по главным конкурентам нефти и газа – возобновляемым источникам энергии (ВИЭ), т.е. «зеленой» энергетике. По оценке экспертов, даже если нефть будет продолжать оставаться такой же дешевой, вряд ли страны станут переключать на нее электростанции – скорее всего, увеличится доля газа. В немецком аналитическом центре Agora Energiewende также предупредили о снижении инвестиций в зеленую энергетику после того, как удастся преодолеть коронавирус [7].

Знание и понимание основных проблем и специфических особенностей посткризисного периода и рисков наступления новых «черных лебедей» научит российских менеджеров энергетических предприятий справляться с ними и позволит им выработать для обеспечения своей конкурентоспособности принципы эффективного поведения в посткризисных условиях. Мировые глобальные вызовы и новые тенденции, с которыми вынуждены сталкиваться все организации, в том числе энергетические предприятия в процессе становления инновационной и цифровой экономики в нашей стране, кардинально меняют стратегии их развития. Еще в 2008 году мире была разработана концепция «Менеджмент 2.0: новая версия для нового века», в которую вошли 25 самых масштабных задач [8]. По прошествии 10 лет с появления новой версии менеджмента для нового века передовые российские компании уже активно используют ее идеи на практике, они активно перенимают инновации в

менеджменте и внедряют новейшие управленческие методы, например, такие как адаптивная модель agile, принципы самоуправляемой холакратии, создание реквизитных организаций и др. Один из авторов статьи стал в 2018 году по результатам конкурса РФФИ на лучшее научно-популярное издание победителем и выиграл грант, на основании которого была написана книга «Популярные этюды о менеджменте 21 века», которая должна помочь менеджерам российских предприятий уточнить принципы эффективного поведения в посткризисных условиях [9].

Следовательно, лучше справиться современным компаниям с переходом на цифровые бизнес-модели позволят следующие управленческие действия менеджмента, во-первых, правильный выбор руководителями организаций приоритетов их развития и понимание трендов, оказывающих влияние на их отрасль, во-вторых, налаживание тесной и глубокой связи с потребителями на основе цифровых технологий Big Data, Internet of Things, Augmented Reality, блокчейна и др., в-третьих, перестройка сети поставщиков, партнеров и дистрибьюторов даже в направлении отказа от многих партнеров, которые могут со временем превратиться в конкурентов, в-четвертых, создание новых возможностей не только для себя, но и для других партнеров. Таким образом, выявленные тенденции и вызовы по-иному ставят проблему конкурентоспособности энергетических компаний, под которой, на наш взгляд, следует понимать способность предприятия противостоять внешним воздействиям, добиваясь лидерства в соответствии с поставленными стратегическими целями. Как известно, в сфере распределения и передачи энергии конкуренция исключена. В прочих видах деятельности предприятий энергетики возможны следующие формы конкуренции:

- в сфере генерирования энергии – между генерирующими мощностями;
- в сфере сбыта – между поставщиками энергии, доводящими их до конечного потребителя;
- между энергетической компанией и поставщиками альтернативных энергоносителей;

– между энергетической компанией и поставщиками энергосберегающих технологий [10].

Современные компании, в том числе предприятия энергетики, должны изменяться с той же скоростью, что и окружающая действительность, а внедрение цифровых инструментов должно стать делом каждого сотрудника на повседневной основе.

Список литературы

1. [vedomosti.ru>economics/articles/2020/03/01...virusa](http://vedomosti.ru/economics/articles/2020/03/01...virusa)
2. Неретина Е. А. Управление социальными процессами на федеральном, региональном и организационном уровнях: Автореф. дис. докт. экон. наук. – Саранск, 2000.
3. Цехмистренко С. Капитаны российского бизнеса и коронавирус. Как крупные компании адаптируются к работе в условиях пандемии. snob.ru>entry/190856/
4. fullfeed.ru>ekonomika/v-vef...izmeneniya...mirovoj...za...
5. Портер М., Хеппелман Дж. Почему вашей организации нужна стратегия работы с AR. // Harvard Business Review- Россия / декабрь 2017. С. 30.
6. Акмаева Р.И., Епифанова Н.Ш. Особенности и тенденции цифровизации в современной рыночной среде//Коллективная монография «Цифровизация экономических систем: теория и практика/ Под ред. д.э.н., проф. Бабкина А.В. - СПбПУ Петра Великого. 2020. Политех-Пресс, - 722 с.
7. Пандемия вернула мир к традиционной энергетике. [/vz.ru>Экономика>2020/3/24/1030602.html](http://vz.ru>Экономика>2020/3/24/1030602.html)
8. Менеджмент 2.0: новая версия для нового века// /Harvard Business Review – Россия/ октябрь 2009 г. – С. 91 – 100.
9. Акмаева Р.И. Популярное этюды о менеджменте 21 века : научно-популярное издание /Р.И. Акмаева. – Астрахань : Астраханский государственный университет. Издательский дом «Астраханский университет»,

2018. - 166 с. Издание осуществлено при финансовой поддержке РФФИ по проекту №18-110-40007.

10. Мансуров Р. Е. Основные направления формирования стратегии развития энергетической компании /aup.ru>articles/management/44.htm

Доклад подготовлен с использованием результатов проекта РФФИ №18-110-40007

©, Акмаева Р.И., Максимов И.В., – 2020

УДК 621.314.21

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МОДУЛЯ
«ДВУХОБМОТОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР – НАГРУЗКА НАРУЖНОГО
ОСВЕЩЕНИЯ» МЕТОДОМ УСЛОВНО ПОСТОЯННЫХ
КОЭФФИЦИЕНТОВ**

Безъязычный В.С., Костинский С.С., Троицкий А.И.

Южно-Российский государственный политехнический университет

(НПИ) имени М.И. Платова

Аннотация

В большинстве случаев линии наружного освещения (НО) работают неэффективно, поскольку их запитывают по зависимой схеме, присоединяя к системе шин 0,4 кВ трансформаторов коммунальных сетей, нагрузка которых в ночное время суток резко снижается, а напряжение на зажимах низкого напряжения (НН) – увеличивается так, что освещенность улиц, дорог, площадей в поселениях значительно превышает норму, в чем нет необходимости. Предлагается для НО применять независимую схему питания либо зависимую схему с отдельным питанием коммунальной и осветительной нагрузки от трансформаторов малой мощности, регулирование режимов которых осуществляется по программам с применением метода условно постоянных коэффициентов (УПК).

Ключевые слова

условно постоянные коэффициенты, энергоэффективность, потери активной мощности, наружное освещение.

STUDY OF ENERGY EFFICIENCY OF THE MODULE "TWO-COIL TRANSFORMER-OUTDOOR LIGHTING LOAD" BY THE METHOD OF CONDITIONALLY CONSTANT COEFFICIENTS

V.S. Bezyazychny, S.S. Kostinskiy, A.I. Troitskiy

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

Annotation

Energy efficiency study of the module "double-winding transformer – outdoor lighting load" by conditionally constant coefficients method. In most cases, outdoor lighting (HO) lines operate inefficiently, since they are powered according to a dependent scheme, connecting 0.4 kV utility networks transformers to the busbar system, the load of which at night falls sharply, and the voltage at low voltage (LV) terminals increases so that the illumination of streets, roads, areas in settlements significantly above the norm, which is not necessary. It is proposed for outdoor lighting to use an independent feed circuit or a dependent circuit with separate supply of communal and lighting loads from low-power transformers, the modes of which are controlled according to programs using the method of conditionally constant coefficients (CPC).

Keywords

conditionally constant coefficients, energy efficiency, loss of active power, outdoor lighting.

Введение

В России около 15% всей вырабатываемой электроэнергии потребляют установки освещения. Причем, большую долю потребляют установки НО. Так как режимы работы НО не являются оптимальными, то возникает необходимость оптимизировать потребление электроэнергии НО в ночной период. В

эксплуатационной практике систем НО используют перевод вечернего режима на ночной режим путём отключения части светильников. Однако, даже такая мера не лишает этот режим недостатка: светильники ночного освещения продолжают работать в режиме перенапряжения, что снижает их срок службы, тем самым уменьшается энергоэффективность всей системы НО.

В работе предлагается питание линий освещения выполнить от столбовых подстанций (СП) малой мощности с реклоузерами [7]. Оснащение их оперативной памятью и программным обеспечением с использованием метода УПК позволяет НО отнести к «умным» сетям, режимы которых можно оптимизировать подбором соответствующих программ по критерию энергопотребления, для чего в шкафах управления НО необходимо иметь соответствующий интерфейс, чтобы оптимизировать их при необходимости.

Известно [6], что при номинальной нагрузке трансформатора в течение двух лет стоимость потерь в нем равна стоимости трансформатора. Например, по данным фирмы «Трансформер» стоимость трансформатора мощностью 100 кВ·А равна 100 тыс. руб. При цене 1 кВт·ч, равной 5,2 руб., в целях окупаемости трансформатора при его полной нагрузке достаточно иметь экономию электроэнергии около 10 тыс. кВт·ч в течение года, при этом потери активной мощности необходимо снизить на 1,14%. Таким образом, срок окупаемости модели «двухобмоточный трансформатор СП малой мощности – нагрузка НО» достаточно мал. В исследованиях получены модели потерь полной, активной и реактивной мощностей в трансформаторе СП, а также потребления активной мощности модулем "трансформатор - нагрузка" (ТН). Моделирование режимов модуля ТН в целях оптимизации с использованием метода УПК позволило найти пути повышения их энергосбережения (экономию энергии) [9]. Статья посвящена оптимизации электропотребления, которое является основным фактором энергосбережения.

Постановка задачи

Различают две системы питания НО: независимая и зависимая. В большинстве поселений наибольшее применение нашла зависимая нераздельная

система питания в силу меньших первоначальных затрат. При зависимой системе питания специальные высоковольтные осветительные сети ВН отсутствуют, и осветительная нагрузка питается от общей сети ВН:

а) по отдельной системе, при которой питание НО производится от специально предназначенных для него трансформаторов;

б) по нераздельной системе, при которой питание НО осуществляется от общих трансформаторов, питающих сети не только НО, но и жилых домов, различных предприятий и других потребителей.

Питание НО по независимой системе производится от отдельной сети высокого напряжения и, следовательно, от отдельных специальных трансформаторов. Такая система питания имеет ряд эксплуатационных преимуществ, но является более дорогой в сравнении с зависимой, так как требует больших затрат материалов и оборудования.

В данной работе предлагается зависимая система питания из модулей, в состав каждого из которых входит СП с трансформатором малой мощности и несколько линий НО напряжением 0,4 кВ, а управление всеми модулям выполняется по каскадной схеме с использованием радиоканалов и современных шкафов управления освещением (ШУНО), в которых расположены контроллеры и радиомодемы.

1. Выбор модели потребления мощности модулем

«Столбовая подстанция – линии наружного освещения»

и моделирование его режимов

Согласно постановке задачи для исследования модуля «Столбовая подстанция – линии наружного освещения» (далее по тексту "модуль") используем совокупную схему замещения фазы (рис.1), включающую в себя Г-образную схему замещения трансформатора СП и схему замещения линий, параметры которой приведены к ВН трансформатора.

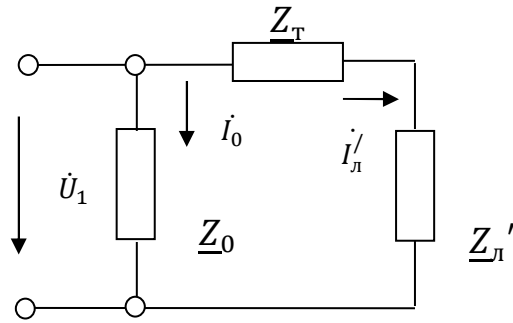


Рисунок 1. Схема замещения фазы СП и УО

На рисунке 1 элементы и параметры схемы замещения:

1) полное сопротивление трансформатора \underline{Z}_T , включающее в себя активную r_T и реактивную x_T его составляющие – $\underline{Z}_T = r_T + jx_T$; (1)

2) полное эквивалентное сопротивление линии в совокупности со светильниками, приведенное к ВН трансформатора, включающее в себя его ортогональные составляющие – $\underline{Z}_L' = r_L' + jx_L'$; (2)

3) полное сопротивление ветви намагничивания трансформатора, включающее в себя его ортогональные составляющие – $\underline{Z}_0 = r_0 + jx_0$; (3)

4) фазное напряжение питающей трансформатор сети – \dot{U}_1 ;

5) комплексный ток ветви намагничивания – $\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_0}$; (4)

6) комплексный ток линии (нагрузки), приведенный к ВН – $\dot{I}_L' = \frac{\dot{U}_1}{(\underline{Z}_T + \underline{Z}_L')}$. (5)

1.1. Модели потерь и потребления мощности модуля

Потери полной мощности в ветви намагничивания и в нагрузочной ветви трансформатора (далее по тексту "потери трансформатора") $\Delta \dot{S}_T$ и потребляемая модулем полная мощность \dot{S} соответственно равны:

$$\Delta \dot{S}_T = |\dot{I}_0|^2 \underline{Z}_0 + |\dot{I}_L'|^2 \underline{Z}_T. \quad (6)$$

$$\dot{S} = |\dot{I}_0|^2 \underline{Z}_0 + |\dot{I}_L'|^2 (\underline{Z}_T + \underline{Z}_L'), \quad (7)$$

где $(\underline{Z}_T + \underline{Z}_L') = \underline{Z}_{01}$ – совокупное полное сопротивление трансформатора и приведенное полное сопротивление нагрузки в алгебраической форме записи:

$$\underline{Z}_{01} = r_{01} + jx_{01}; \quad \underline{Z}_{01} = (r_T + r_L) + j(x_T + x_L). \quad (8)$$

Полная мощность нагрузки $\dot{S}_L = |\dot{I}_L'|^2 \underline{Z}_L'$.

После подстановки в правые части формул (6), (7) соответствующих значений, входящих в них величин, имеем:

$\Delta \dot{S}_T = U_1^2 \left(\frac{z_0}{Z_0^2} + \frac{z_T}{Z_{ТЛ}^2} \right)$ – потери полной мощности трансформатора в рабочем

режиме как сумма $(\Delta S_{\text{ххТ}} + \Delta S_{\text{нгТ}})$, где $\Delta S_{\text{ххТ}} = U_1^2 \frac{z_0}{Z_0^2}$ – потери полной мощности

трансформатора в режиме ХХ, $\Delta S_{\text{нгТ}} = U_1^2 \frac{z_T}{Z_{ТЛ}^2}$ – нагрузочные потери;

$\dot{S}_M = U_1^2 \left(\frac{z_0}{Z_0^2} + \frac{z_{ТЛ'}}{Z_{ТЛ'}^2} \right)$ – пропуски полной мощности трансформатором (полная

мощность модуля); $\Delta \dot{S}_{\text{кзТ}} = 3U_1^2 \left(\frac{z_0}{Z_0^2} + \frac{z_T}{Z_T^2} \right)$ – потери полной мощности КЗ на

зажимах НН трансформатора; $\Delta \dot{S}_{\text{кз}} = 3U_{1\text{кз}}^2 \left(\frac{z_0}{Z_0^2} + \frac{z_T}{Z_T^2} \right)$ – потери полной мощности

трансформатора в *опыте* КЗ, где $U_{1\text{кз}} = U_1 \cdot U_k \% / 100\%$, $U_k \%$ – напряжение КЗ, %

, согласно паспортным данным трансформатора; потери активной мощности в режиме опыта КЗ – $\Delta P_{\text{ТК}} = 3U_{1\text{кз}}^2 \left(\frac{r_0}{Z_0^2} + \frac{r_T}{Z_T^2} \right)$.

С учётом формул (1)...(5) формулы (6), (7) после некоторых преобразований принимают вид функциональных зависимостей потерь в трансформаторе и в модуле от полного сопротивления нагрузки $Z'_л$ и его ортогональных составляющих $r'_л$ и $x'_л$:

$$\Delta S_1 = U_{\text{ВН}}^2 \frac{[a_1 + b_1 \cdot (Z'_л)^2 + b_2 \cdot r'_л + b_3 \cdot x'_л] + j[a_2 + d_1 \cdot (Z'_л)^2 + d_2 \cdot r'_л + d_3 \cdot x'_л]}{[a_3 + c_1 \cdot (Z'_л)^2 + c_2 \cdot r'_л + c_3 \cdot x'_л]}, \quad (9)$$

$$S_1 = U_{\text{ВН}}^2 \frac{[a_1 + b_1 \cdot (Z'_л)^2 + e \cdot r'_л + b_3 \cdot x'_л] + j[a_2 + d_1 \cdot (Z'_л)^2 + f \cdot r'_л + d_3 \cdot x'_л]}{[a_3 + c_1 \cdot (Z'_л)^2 + c_2 \cdot r'_л + c_3 \cdot x'_л]}, \quad (10)$$

где

$$a_1 = r_0[r_T^2 + x_T^2] + r_T[r_0^2 + x_0^2]; \quad a_2 = x_0 r_T^2 + x_0 x_T^2 + x_T r_0^2 + x_T x_0^2;$$

$$a_3 = [r_0^2 + x_0^2] \cdot [r_T^2 + x_T^2]; \quad b_1 = r_0; \quad b_2 = 2(r_0 r_T); \quad b_3 = 2(r_0 x_T);$$

$$c_1 = [r_0^2 + x_0^2]; \quad c_2 = 2r_T[r_0^2 + x_0^2]; \quad c_3 = 2x_T[r_0^2 + x_0^2];$$

$$d_1 = x_0; \quad d_2 = 2(x_0 r_T); \quad d_3 = 2(x_0 x_T);$$

$$e = [r_0^2 + x_0^2] + 2(r_0 r_T); \quad f = [r_0^2 + x_0^2] + 2(x_0 r_T).$$

– условно постоянные коэффициенты (УПК) трансформатора, каждый из которых представляет собой некоторый набор параметров пассивных элементов схемы замещения трансформатора (рис.1).

Метод УПК позволяет исследовать режимы трансформаторов в зависимости от характера его нагрузки, как в нормальных, так и в особых режимах (при несимметричной, при несинусоидальной нагрузках, при некомпенсированной реактивной нагрузке до нормативного значения коэффициента реактивной мощности). С его помощью, например, удалось получить исключительно простые: формулу коэффициента рассеяния обмоток $\sigma = \frac{2x_1}{x_0+x_1}$ и, взяв его в качестве критерия, метод определения энергоэффективности конструкции трансформатора [9]. В последней формуле x_0, x_1 – соответственно индуктивные сопротивления ветви намагничивания и рассеяния обмотки ВН, значения которых находят из опытов ХХ и КЗ трансформатора по известным формулам [1...6].

Поскольку в настоящее время в РФ оплата осуществляется только за потребление активной электроэнергии, то в качестве математических моделей в целях дальнейшего исследования энергоэффективности модуля использованы формулы потерь активной мощности трансформатора и потребления её модулем:

$$\Delta P_1 = U_{\text{ВН}}^2 \frac{[a_1 + b_1 \cdot (Z'_l)^2 + b_2 \cdot r'_l + b_3 \cdot x'_l]}{[a_3 + c_1 \cdot (Z'_l)^2 + c_2 \cdot r'_l + c_3 \cdot x'_l]}, \quad (11)$$

$$P_1 = U_{\text{ВН}}^2 \frac{[a_1 + b_1 \cdot (Z'_l)^2 + e \cdot r'_l + b_3 \cdot x'_l]}{[a_3 + c_1 \cdot (Z'_l)^2 + c_2 \cdot r'_l + c_3 \cdot x'_l]}. \quad (12)$$

Модели потерь активной мощности в трансформаторе и её потребления модулем содержат в себе: 1) напряжение питающей сети, 2) параметры схемы замещения одной фазы трансформатора, 3) сопротивления нагрузок. При их применении возможно решение многих практических задач по оптимизации режимов и по повышению энергоэффективности трансформатора и модуля с использованием программ на базе метода УПК, как на стадии проектирования, так и в период эксплуатации модуля, поскольку алгоритм расчётов по методу УПК включает в себя расчёт параметров схем замещения на основе паспортных

данных трансформаторов и моделирование режимов работы модуля в зависимости от характера нагрузки.

1.2. Моделирование режимов модуля

Имея данные о питающей сети, прежде всего показатели качества электроэнергии на сетевых зажимах, можно оценить их вклад в дополнительные потери, а на основе паспортных данных трансформаторов одинаковой мощности от различных производителей – энергоэффективность конструкции трансформатора по коэффициенту рассеяния. Моделируя характер нагрузки, можно выполнить оценивание мероприятий по модернизации элементов систем электроснабжения в цепях нагрузки путём снижения электропотребления как нормальных, так и особых режимов с несинусоидальными, несимметричными нагрузками и с не скомпенсированными до нормативного значения коэффициента реактивной мощности нагрузками. На кафедре ЭиЭ энергетического факультета ЮРГПУ (НПИ), где был разработан метод УПК, в течение ряда лет он прошёл успешную апробацию. Так энергосбережению в системах электроснабжения (СЭС) и энергоэффективной их эксплуатации учат пособия [8,9], авторами которых являются создатели метода УПК. Магистрантами по направлению "Энергосбережение в развивающихся системах электроснабжения" выполнены десятки практических занятий и ряд ВКР с использованием метода УПК.

В формулах (11), (12) приведенные к ВН сопротивления в линиях должны быть известными, как и УПК трансформатора СП. Чтобы использовать формулы (11), (12) для численного программирования с помощью системы компьютерной алгебры «Mathcad», необходимо иметь данные о приведенных к ВН сопротивлениях нагрузки (в линиях), которые можно определить экспериментально, если использовать для этого протоколы программируемого счётчика, установленного в ШУНО. При снятии информации с получасовым интервалом со счётчика отображаются следующие усреднённые в получасовом интервале данные: напряжение, ток, активная, реактивная, полная мощности, угол сдвига токов от напряжений фаз, а также время начала текущего измерения.

Информативная база ШУНО такова, что на её основе можно рассчитать коэффициенты несимметрии по нулевой и обратной составляющим токов и напряжений, коэффициент реактивной мощности ($tg\varphi$). Это, в свою очередь, позволяет осуществить энергоэффективные мероприятия, используя **внутреннее симметрирование и установку конденсаторов** в целях доведения $tg\varphi$ до нормативного значения или полной компенсации реактивных нагрузок [8,9].

Результаты теоретических исследований, выполненных выше, апробированы на примере модуля с трансформатором мощностью 25 кВ·А типа ТМГ - 25/10/ 0,4 и тремя линиями НО. Приведенное к ВН сопротивление фазы трансформатора и полное сопротивление, Ом, фазы ветви намагничивания соответственно равны: $\underline{Z}_T = 96 + j152,3$; $\underline{Z}_0 = 1447 + j11230$.

Сведения о нагрузках линий в табл. П1 в форме протокола усредненных значений параметров за получасовой отрезок времени, получены на основе информации предприятия ООО «Энергия», обслуживающего сети наружного освещения г. Майкопа и его пригородов. На их основе определены сопротивления фаз нагрузок, приведенные к ВН:

$$\underline{Z}_{\text{ЛА}}' = 2697 + j2752; \quad \underline{Z}_{\text{ЛВ}}' = 2509 + j2195; \quad \underline{Z}_{\text{ЛС}}' = 3561 + j2426.$$

При использовании из последнего абзаца значений сопротивлений элементов схемы замещения (рис. 1) были выполнены расчеты по моделированию режимов фаз модуля. На рис. 2, 3 приведены графики зависимостей потерь и потребления активной мощности от нагрузки.

Имея смоделированное потребление мощности, потребители довольно точно могут прогнозировать потребление электроэнергии при заключении договора с энергоснабжающей организацией.

Так как модуль включает в себя трансформатор и линии НО, то возникает необходимость оценивания энергоэффективности не порознь, а в совокупности энергоэффективность модуля. По аналогии с КПД трансформатора используем понятие КПД модуля η_m , представляющего собой отношение полезной мощности модуля (активная мощность светильников) к потреблению модулем

активной мощности. Однако в зависимости от конфигурации линии и питающего ее напряжения, а также напряжения на зажимах каждого светильника полезная их мощность не равна номинальной. В связи с изложенным, особую трудность вызывает определение полезной мощности каждой линии. Грубым приближением можно считать в качестве полезной мощности сумму номинальных мощностей светильников. Точное же значение полезной мощности можно определить, используя поэлементный расчет.

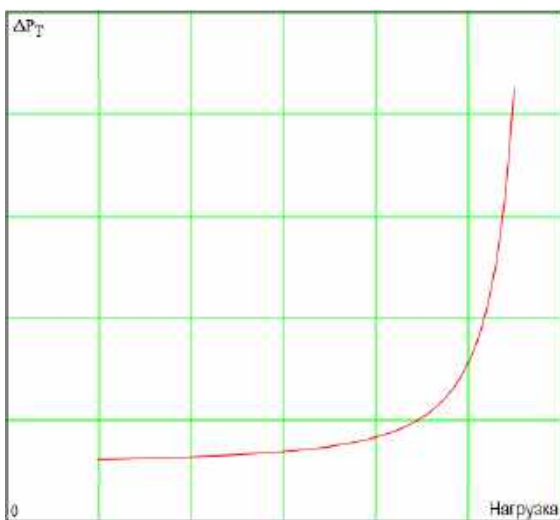


Рисунок 2. Зависимость потерь активной мощности трансформатора от нагрузки.

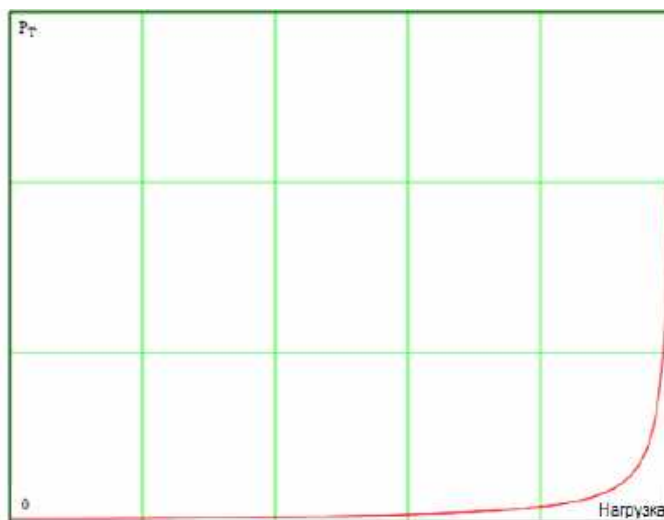


Рисунок 3. Зависимость потребления активной мощности от нагрузки.

В действующих электроустановках НО определение полезной мощности каждого светильника порознь и в совокупности всех светильников возможно с использованием системы визуализации состояния сети. Применяют для этих целей радиоканалы и современные шкафы управления НО (ШУНО), в которых расположены контроллеры и радиомодемы. Одним из блоков программы управления НО должна стать программа расчетов по методу УПК.

На основе многолетних исследований, выполненных на кафедре ЭиЭ ЮРГПУ, была установлена необходимость регулирования уровней напряжения на головных участках линий в допустимых пределах согласно ГОСТ32144-2013: при напряжениях выше номинального резко возрастает потребление

электроэнергии, что противоречит известному специалистам, занимающимся расчётом потерь в распределительных сетях, правилу “процент на процент”. Как известно [7], в распределительных сетях при увеличении напряжения на 1 % потери мощности снижаются на 1 %.

Кроме того, в исследованиях ЮРГПУ было также установлено, что основную долю потерь в линиях НО составляют потери от несимметрии токов, так как светильники являются однофазными приемниками электроэнергии. Выполнен расчет дополнительных потерь от несимметрии токов в линиях НО подключенных к СП с трансформатором 25 кВ·А.

Заключение

1. Вместо *зависимой* схемы питания УО предложена *независимая* схема питания с использованием столбовых трансформаторных подстанций малой мощности.

2. На основе Г-образной схемы замещения трансформатора СП и приведенной схемы замещения линий УО предложены математические модели потребления и потерь полной, активной и реактивной мощностей модуля “Трансформатор столбовой подстанции – линии УО”.

3. Срок окупаемости мероприятий по внедрению зависимой схемы питания и снижению потерь оказался ниже нормативного, что подтверждает их энергоэффективность.

4. Имея смоделированное потребление мощности, потребители могут точнее прогнозировать потребление электроэнергии при заключении договора с энергоснабжающей организацией.

Список литературы

1. **Вопросы теории и схем замещения трансформаторов /** Добродеев К.М.— Чебоксары: Изд-во РИЦ "СРЗАУ". – 2019. – 224 с.

2. **Вольдек А.И., Попов В.В.** Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2008. – 320 с. ISBN 978-5-469-01380-84.

3. **Герасименко А.А.** Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – 3-е изд., перераб. – М.: КНОРУС, 2012. – 648 с.

4. **Основы теории цепей.** Учебник для вузов. Изд. 4-е, переработанное. М.: «Энергия», 1975. – 752 с. а обороте тит.л. авт. : Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В.

5. **Пентегов И.В., Рымар С.В., Волков И.В.** Связь между параметрами электромагнитных, принципиальных схем и схем замещения двухобмоточных трансформаторов / Електротехніка і Електромеханіка. 2006. № 3. – С. 67...77

6. **Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / В.Э. Воротницкий, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев и др.;** Под ред. В.Н. Казанцева. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.: ил. – (Экономия топлива и электроэнергии).

7. **Технологии и технологические средства управления режимами электроэнергетических систем:** Учеб. пособие для вузов/Под ред. Ю.В. Шарова. М.: Инновационное Машиностроение, 2017. – 360 с.

8. **Троицкий А.И., Костинский С.С.** Безопасная и энергоэффективная эксплуатация систем электроснабжения: учеб. пособие / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016. – 244 с. ISBN 978-5-9997-0572-3

9. **Троицкий А.И., Кравченко О.А.** Энергосбережение в системах электроснабжения: учебное пособие / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2018. –323 с. ISBN 978-5-9997-0679-9.

©, Безъязычный В.С., Костинский С.С., Троицкий А.И., – 2020

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Доманов Виктор Иванович, кандидат технических наук, доцент, Ульяновский Государственный Технический Университет, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д.32, e-mail: andrew.domanov@gmail.com

Билалова Алиса Ильдаровна, кандидат технических наук, Ульяновский Государственный Технический Университет, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д.32, e-mail: bilalova_alisa@mail.ru

Аннотация

Приведен синтез основных звеньев и системы в целом. Анализируется работа различных типов регуляторов напряжения и обосновываются преимущества предлагаемого транзисторного варианта. Получено уравнение механической характеристики для такого управления. Приводятся зависимости критического момента от величины управляющего сигнала и шунтирующего сопротивления. Приводятся уравнения обобщенной машины, на основании которых сформирована схема вычислителя момента. Рассматривается структура асинхронного двигателя, составленная для управления на рабочем участке характеристики при скалярном управлении. На ее основе с применением вычислителя момента создается схема наблюдателя скорости асинхронного двигателя. Приводятся уравнения для расчета звеньев этой схемы. Сформированные сигналы обратных связей используются для построения структуры подчиненного регулирования. Приводятся выражения для расчета регуляторов и системы в целом. Проведено моделирование исследуемого асинхронного электропривода для различных режимов работы.

Ключевые слова

регулятор напряжения, критический момент, вычислитель момента, обобщенная машина, наблюдатель скорости, подчиненное регулирование, регулятор, бездатчиковая система.

IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRIC DRIVE OF TRANSPORT MECHANISMS

Victor Ivanovich Domanov, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Ulyanovsk State Technical University, 432027, Ulyanovsk, Severny Venets St., 32, e-mail: andrew.domanov@gmail.com

Alice Ildarovna Bilalova, Candidate of Technical Sciences, Ulyanovsk State Technical University, 432027, Ulyanovsk, Severny Venets St., 32, e-mail: bilalova_alisa@mail.ru

Annotation

Synthesis of the main links and the system as a whole is given. The work of various types of voltage regulators is analyzed and the advantages of the proposed transistor variant are substantiated. The equation of the mechanical characteristic for such control is obtained. The dependences of the critical moment on the magnitude of the control signal and the shunting resistance are given. The equations of the generalized machine are derived, on the basis of which the circuit of the torque calculator is formed. The structure of an asynchronous motor designed for control on the working part of the characteristic under scalar control is considered. On its basis, using the torque calculator, a scheme is created for the observer of the speed of an induction motor. Equations for calculating the links of this scheme are given. Formed feedback signals are used to build the structure of subordinate regulation. Expressions are given for the calculation of regulators and the system as a whole. The simulation of the investigated asynchronous electric drive for various operating modes.

Keywords

voltage regulator, critical moment, torque calculator, generalized machine, speed monitor, subordinate control, regulator, sensorless system.

Применение асинхронных двигателей в различных областях позволяет решать вопросы автоматизации (грузоподъемные механизмы, конвейеры и т.д.).

При модернизации и создании нового электрооборудования актуальными являются вопросы энергоэффективности и компактности [1-3]. Требования к управлению двигателем различаются в зависимости от области применения.

Система с модальным управлением осложнена в реализации из-за необходимости большого количества датчиков, при этом не все переменные состояния доступны для измерения. Данную проблему можно решить применением асинхронных двигателей [4].

Принципиальная схема системы управления строится на основе ШИМ-контроллера и драйверов управления затворами силовых ключей. На контроллер поступает аналоговый сигнал с регулятора тока, выполненного на операционном усилителе. Выходные каналы ШИМ-контроллера работают в противофазном режиме [5], что позволяет формировать сигналы управления на транзисторы верхних и нижних ключей моста (полумоста). Эти сигналы через сопротивления R9,10,12,13 поступают на управляющие входы полумостовых драйверов, которые вырабатывают сигналы на затворы транзисторов. Настройка режима ШИМ-контроллера выполняется с помощью потенциометра R1. На рис. 1 приведена унифицированная часть принципиальной схемы системы управления.

К элементам цепи драйвера относятся сопротивления R11,14,16,17, включаемые в цепь затвора транзистора для ограничения коммутационных перенапряжений. Их значения определяются по формуле

$$R = \frac{U t_K}{Q},$$

где $t_K \approx \frac{0,01}{f_K}$ – время переключения транзистора.

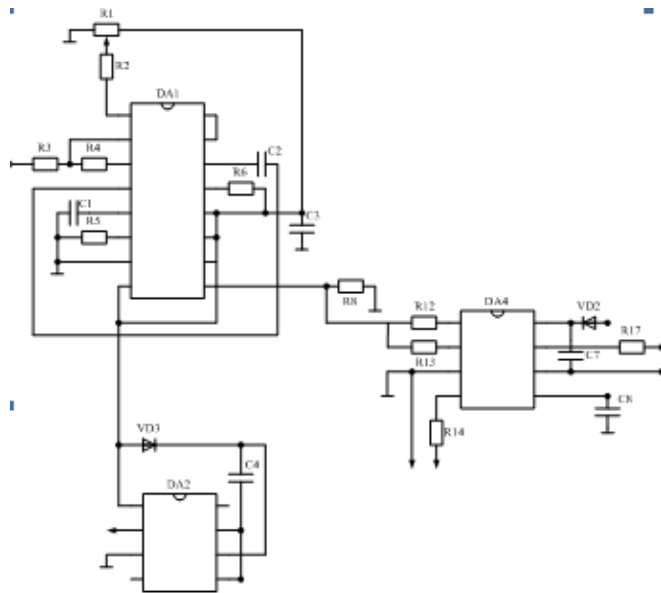


Рис. 1. Унифицированная часть принципиальной схемы системы управления.

Тестирование схемы выполнялось на модели, представленной на рис.2.

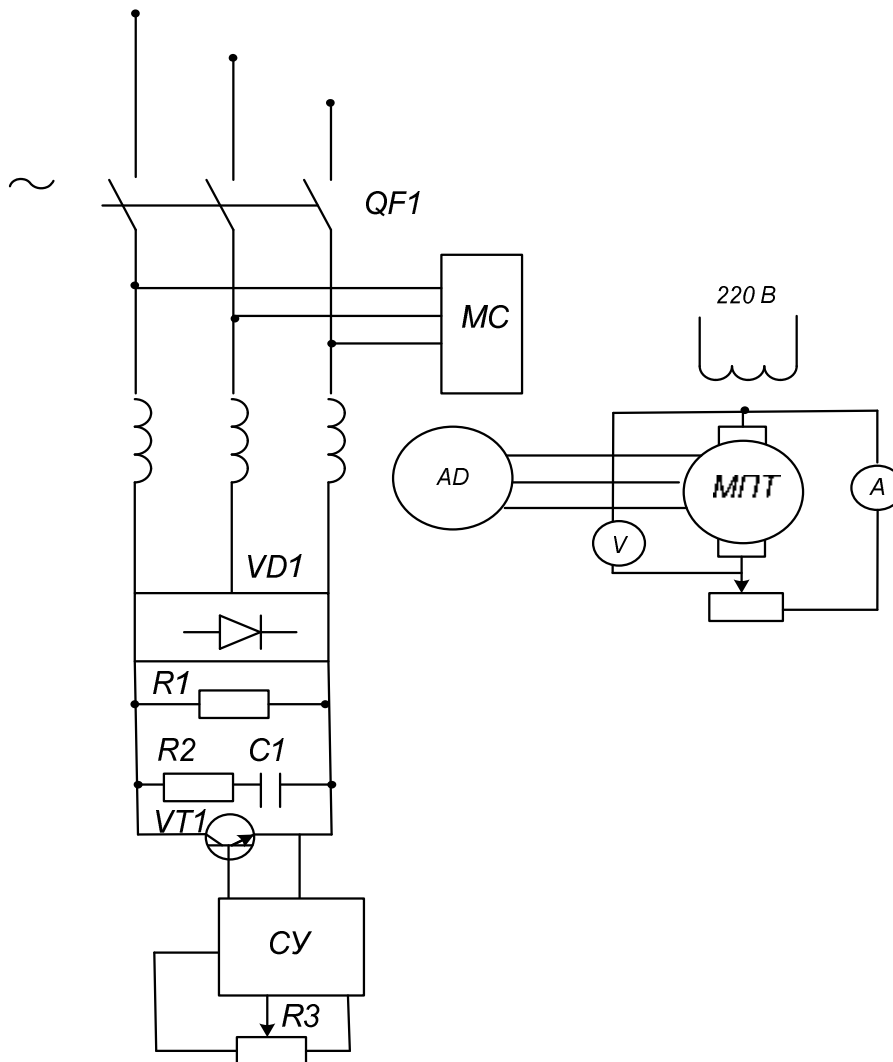


Рис.2. Схема тестирования системы управления

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- использование ТрРН, работающего в ШИМ-режиме, позволяет снизить уровень высших гармоник и сформировать практически синусоидальные токи и напряжения в АД;
- предлагаемая схема электропривода позволяет в установившихся режимах снизить с помощью ТрРН напряжение, подаваемое на АД, и повысить его КПД;
- за счет дополнительных звеньев, включенных в систему управления, этот режим можно реализовать во всем диапазоне регулирования.

Список литературы

1. Мелешин В.И., Овчинников Д.А. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. М.: Техносфера, 2011. – 576 с.
2. Franklin G.F. et.al. Feedback Control of Dynamic Systems. Pearson Prentice Hall, 2006, pp.910
3. Ильинский Н.Ф., Рожанковский Ю.В., Горнов А.О. Энергосбережение в электроприводе. М.: Высш. школа, 1989. – 127 с.
4. Аверин С.В., Следков Ю.Г. Сравнение способов регулирования переменного напряжения с помощью коэффициента регулирования // Практическая силовая электроника, 2002, №8, с.17-20
5. Доманов В.И., Доманов А.В., Муллин И.Ю. Электропривод с трехфазным асинхронным двигателем // Патент на изобретение. Россия, №2418356, класс H02P1/26, H02P3/24, дата заявления 2010-04-13, дата опубликования 2011-05-10.

©, Доманов В.И., Билалова А.И., – 2020

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ. ЭТАПЫ. ТЕНДЕНЦИИ

Зайнутдинова Лариса Хасановна, кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: Lzain@mail.ru

Казарвалиева Алия Сериковна, инженер, Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие «Астраханский региональный обучающий центр энергетической эффективности «Астраэнергоэффект», г. Астрахань, e-mail: kazarvalieva@bk.ru

Аннотация

Рассмотрен опыт реализации требований Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ. Выделены пять этапов энергосбережения и повышения энергетической эффективности в России. На пятом этапе (с 2022 года) прогнозируется возрастание роли энергетических обследований. Проведено сравнение информативности энергопаспорта и энергодекларации.

Ключевые слова

энергосбережение, энергоэффективность, энергетическое обследование, программа энергосбережения, энергодекларация.

ENERGY SAVING. ENERGY EFFICIENCY. STAGES. TRENDS

Zaynutdinova Larisa Hasanovna, Candidate of Technical Sciences, doctor of pedagogical sciences, professor, Astrakhan state university, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev St., 20a, e-mail: Lzain@mail.ru

Kazarvaliyeva Alija Serikovna, the engineer, Limited liability company the scientific and production enterprise "The Astrakhan regional training center of power efficiency of "Astraenergoeffekt", Astrakhan, e-mail: kazarvalieva@bk.ru

Summary

Experience of implementation of requirements of the Federal law "About Energy Saving and about Increase in Power Efficiency and about Introduction of Amendments to Separate Acts of the Russian Federation" of November 23, 2009 N 261-FZ is considered. Five stages of energy saving and increase in power efficiency in Russia are allocated. At the fifth stage (since 2022) increase of a role of power inspections is predicted. Comparison of informational content of the power passport and power declaration is carried out.

Keywords

energy saving, energy efficiency, power inspection, program of energy saving, power declaration.

Принятие 23 ноября 2009 г. Федерального закона N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» привлекло внимание широкой общественности и государства к новым реалиям в сфере энергетики и послужило мощным толчком для развития ресурсосберегающих решений [1]. Согласно [1], «**энергосбережение** – реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг)»; а «**энергетическая эффективность** – характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции,

технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю».

На основе анализа требований ФЗ-261 [1] и последующих нормативных материалов [2-11] предлагаем выделить следующие этапы становления и развития процессов энергосбережения и повышения энергетической эффективности в России.

Таблица 1. Этапы энергосбережения и повышения энергетической эффективности в России

Этап период	Основные нормативные документы (согласно списку литературы)	Ключевые понятия. Содержание	Ответственность
Первый Этап 2010-2013 гг.	[1]	Приборы учета. Программы энергосбережения. Энергетические обследования. Энергетический паспорт.	Минэнерго РФ
Второй этап 2013-2017 гг.	[2] [3,4,5]	Совершенствование требований первого этапа	Минэнерго РФ
Третий этап 2016-2018 гг.	[6]	Энергодекларации	Минэнерго РФ
Четвертый этап 2019-2021 гг.	[7-11]	Энергодекларации Программы энергосбережения	Минэконом-развития России
Пятый этап (прогноз)		Энергетические обследования. Энергетический паспорт.	Минэконом-развития России

с 2022 года		Программы энергосбережения. Энергодекларации	
-------------	--	---	--

На первом этапе (2010-2013 гг.) были поставлены грандиозные задачи. Согласно требованиям ФЗ 261[1] все бюджетные организации должны были разработать Программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в которых закладывалось ежегодное снижение потребления каждого ресурса на 3%, всего за пять лет с 2010 по 2015 годы должно было произойти снижение потребления на 15%. Кроме того, до конца 2012 года все бюджетные организации должны были пройти энергетические обследования и получить энергетический паспорт сроком действия на 5 лет. Возникло большое количество энергоаудиторских компаний. В связи с огромным объемом работы и недостаточным контролем за деятельностью энергоаудиторских компаний и СРО довольно большое количество программ энергосбережения и энергопаспортов заполнялись формально, без проведения полноценного энергетического обследования

На втором этапе (2013-2017 гг.) происходит осмысление результатов первого этапа, издается ряд нормативных документов [2, 3,4,5], направленных на повышение качества работы энергоаудиторских компаний и СРО. Высказываются сожаления о больших денежных затратах на проведение энергетических обследований.

Третий этап (2016-2019 гг.) характеризуется переходом от энергопаспортов к энергодекларациям. Такой переход был произведен с целью экономии бюджетных средств на разработку энергопаспортов энергоаудиторскими компаниями. Предполагалось, что энергодекларацию смогут заполнять сотрудники организаций. Согласно [2,6], в случае, если совокупные затраты на потребление природного газа, мазута, тепловой энергии, угля, электрической энергии, за исключением моторного топлива не превышают

объем 50 млн. рублей в год, тогда вместо проведения обязательного энергетического обследования и разработки энергопаспорта организация вправе представить энергодекларацию. Опыт показал, что энергодекларация по своей информативности существенно уступает энергопаспорту. Сравнение приведено в таблице 2.

Четвертый этап (2019-2021 гг.). В феврале 2019 года функции по регулированию в сфере энергосбережения и энергоэффективности были переданы от Министерства энергетики Министерству экономического развития РФ. Теперь Минэкономразвития ведет государственный реестр СРО в области энергетического обследования. Оно же утверждает требования к проведению энергетических обследований, ведет прием энергодеклараций. Разработаны Постановления Правительства и Приказы Минэкономразвития [7-11], направленные на совершенствование процессов в сфере энергосбережения и энергоэффективности. Убедившись в малой информативности энергодеклараций Минэкономразвития основной упор делает на разработку программ энергосбережения. Подготовлены обстоятельные Методические рекомендации по определению в сопоставимых условиях целевого уровня снижения государственными (муниципальными) учреждениями суммарного объема потребляемых ими дизельного и иного топлива, мазута, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, угля, а также объема потребляемой ими воды, утвержденные Приказом Минэкономразвития России от 15 июля 2020 г, № 425.

Пятый этап (прогнозный с 2022 гг.). Анализ итогов четвертого этапа покажет, что разработка научно-обоснованных Программ энергосбережения и повышения энергоэффективности невозможна без проведения полноценных энергетических обследований. Содержанием пятого этапа станут: Энергетические обследования. Энергетический паспорт. Программы энергосбережения. Энергодекларации. Будет восстановлена логическая последовательность действий.

Таблица 2. Сравнение информативности энергопаспорта и энергодекларации

Энергопаспорт	Энергодекларация
<p>Энергопаспорт и отчет о его разработке исполняет энергоаудитор.</p> <p>Энергопаспорт и отчет проверяет и утверждает СРО</p> <p>СРО отправляет проверенный и утвержденный энергопаспорт в Министерство</p>	<p>Энергодекларацию заполняет сотрудник организации, как правило, не имеющий специальной подготовки.</p> <p>Организация самостоятельно без проверки отправляет декларацию в Министерство.</p>
<p>Энергопаспорт действует в течение 5 лет</p>	<p>Энергодекларация действует в течение 1 года</p>
<p>Включает в себя:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Общие сведения об организации (предприятии) 2. Данные о счетчиках (марка, количество, дата поверки) 3. Технические характеристики здания 4. Данные о потреблении всех энергоресурсов, а также воды за последние 5 лет 5. Общие сведения об уплате за энергетические ресурсы и воды за последние 5 лет 6. Сведения о техническом состоянии инженерных систем. 7. Показатели эффективности потребления энергоресурсов 8. Потенциал энергосбережения (на последующие 5 лет) 9. План мероприятий по энергосбережению 10. Прочая информация для более детального описания энергетического хозяйства организации 	<p>Включает в себя:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Общие сведения об организации (предприятии) 2. Данные о счетчиках (информация о наличии) 3. Технические характеристики здания 4. Данные о потреблении всех энергоресурсов, а также воды за последний год 5. Общие сведения об уплате за энергетические ресурсы и воды за последний год
<p>К паспорту прилагается подробный отчет с детальными расчетами и актуальными значениями потребления энергоресурсов и тарифов за предшествующие годы.</p> <p>В отчете и энергопаспорте представлена Программа энергосбережения на последующие годы с оценкой</p>	<p>-</p>

экономической эффективности внедрения мероприятий.	
Позволяет оценить динамику изменения потребления энергоресурсов за предшествующий период и спрогнозировать потенциал энергосбережения на предстоящие годы.	Дает возможность самостоятельно контролировать и анализировать потребление энергоресурсов за один год.
Необходимо выделение бюджетных средств, для оплаты услуг энергоаудитора.	Не требует затрат бюджетных средств

Очевидно, что информативность энергодекларации меньше, чем энергопаспорта. Но благодаря тому, что в энергодекларации ведется заполнение сведений отдельно по каждому зданию, была накоплена большая база данных о потреблении ресурсов зданиями различных типов. Это позволило Министерству экономического развития выявить средние и наиболее высокие фактические значения показателей энергоэффективности и обосновать разработанные «Методические рекомендации по определению в сопоставимых условиях целевого уровня снижения государственными (муниципальными) учреждениями суммарного объема потребляемых ими дизельного и иного топлива, мазута, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, угля, а также объема потребляемой ими воды», которые были утверждены 15 июля 2020 г. [11].

На четвертом этапе все в большей степени уделяется внимание применению возобновляемых источников энергии [12].

В работе [13] приводятся данные из государственного доклада Минэкономразвития от декабря 2019 года о состоянии дел в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности в России. Сказано, что за 10 лет энергоемкость ВВП РФ снизилась только на 9%. Предстоит большая работа в направлении повышения энергоэффективности и энергосбережения. Реализация имеющегося в стране потенциала энергосбережения позволит «озеленить» баланс потребляемой энергии, сократить выбросы в атмосферу, повысить качество жизни.

Список литературы

1. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ
2. Федеральный закон "О внесении изменений в Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 28.12.2013 N 399-ФЗ (последняя редакция)
3. Приказ Минэнерго России от 30.06.2014 N 398 "Об утверждении требований к форме программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций с участием государства и муниципального образования, организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности, и отчетности о ходе их реализации"
4. Приказ Минэнерго России от 30.06.2014 N 399 «Об утверждении методики расчета значений целевых показателей в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в том числе в сопоставимых условиях»
5. Приказ Минэнерго России от 30.06.2014 N 400 "Об утверждении требований к проведению энергетического обследования и его результатам и правил направления копий энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования"
6. Постановление Правительства РФ от 16 августа 2014 г. N 818 "Об установлении объема энергетических ресурсов в стоимостном выражении для целей проведения обязательных энергетических обследований"
7. Постановление Правительства РФ от 07 октября 2019 г. N 1289 « О требованиях к снижению государственными (муниципальными) учреждениями в сопоставимых условиях суммарного объема потребляемых ими дизельного и иного топлива, мазута, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, угля, а также объема потребляемой ими воды».

8. Приказ Минэкономразвития России от 25 мая 2020 г, №307 «Об утверждении Порядка представления копии энергетического паспорта и отчетов о проведении энергетического обследования»

9. Приказ Минэкономразвития России от 25 мая 2020 г, №310 «Об утверждении требований к проведению энергетического обследования, результатам энергетического обследования (энергетическому паспорту и отчету о проведении энергетического обследования)»

10. Постановление Правительства РФ от 23 июня 2020 г. N 914 «О внесении изменений в требования к снижению государственными (муниципальными) учреждениями в сопоставимых условиях суммарного объема потребляемых ими дизельного и иного топлива, мазута, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, угля, а также объема потребляемой ими воды».

11. Приказ Минэкономразвития России от 15 июля 2020 г, № 425 «Об утверждении методических рекомендаций по определению в сопоставимых условиях целевого уровня снижения государственными (муниципальными) учреждениями суммарного объема потребляемых ими дизельного и иного топлива, мазута, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, угля, а также объема потребляемой ими воды».

12. Альтернативная энергетика в регионах России: Материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5-7 декабря 2018г) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Зайнутдиновой Л.Х. и д-ра техн. наук, проф. Тягунова М.Г. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018. – 304 с.

13. Пресняков В. «Жандармы и инопланетяне в энергоэффективности» // газета «Энергетика и промышленность России» №13-14 (393-394) июль 2020 года

В ходе работы над статьей использованы материалы, полученные при выполнении научного проекта по Гранту РФФИ: 18-38-10063 – проект

организации молодежной научной конференции «Альтернативная энергетика в регионах России».

©, Зайнутдинова Л.Х., Казарвалиева А.С., – 2020

УДК 620.91

**ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ
ЭНЕРГОУСТАНОВОК В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ**

Кирпичникова Ирина Михайловна, доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Россия, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, e-mail: kirpichnikovaim@susu.ru

Махсумов Илхом Бурхонович, аспирант, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Россия, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, e-mail: makhsumovib@susu.ru

Сологубов Андрей Юрьевич, аспирант, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Россия, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, e-mail: andrewsteelmaker@gmail.com

Шестакова Валерия Вячеславовна, аспирант, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Россия, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, e-mail: shestakovavv@susu.ru

Аннотация

В статье показаны проблемы, существующие в солнечной энергетике при эксплуатации энергоустановок в различных климатических условиях, приведены возможные пути решения и разработки, способствующие снижению

отрицательных факторов на генерацию электрической энергии солнечными модулями.

Ключевые слова

солнечные энергоустановки, загрязнение, перегрев, обледенение, ориентация солнечных модулей.

FEATURES OF OPERATION OF SOLAR POWER INSTALLATIONS IN VARIOUS CLIMATE CONDITIONS

Kirpichnikova Irina Mikhailovna, doctor of engineering, professor, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, 454080, Russia, 76 Lenin ave, e-mail: kirpichnikovaim@susu.ru

Makhsumov Ilkhom Burkhonovich, graduate student, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, 454080, Russia, 76 Lenin ave, e-mail: makhsumovib@susu.ru

Sologubov Andrey Yuryevich, graduate student, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Россия, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, e-mail: andrewsteelmaker@gmail.com

Shestakova Valeria Vyacheslavovna, graduate student, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Россия, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, e-mail: mrsshestakova@mail.ru

Annotation

The article shows the problems that exist in solar energy during the operation of power plants in various climatic conditions, shows possible solutions and developments that help reduce negative factors for the generation of electrical energy by solar modules.

Keywords

solar power plants, pollution, overheating, icing, orientation of solar modules.

Солнечная энергетика согласно, последним тенденциям, стремительно развивается. Развитие это наблюдается не только в странах с повышенной инсоляцией, но и в других, более северных регионах, в том числе и в нашей стране. Объясняется это введением и разработкой устройств, улавливающих не только прямые солнечные лучи, но и рассеянное (диффузное) солнечное излучение и обладающих высокой степенью эффективности преобразования солнечной энергии.

Однако, при эксплуатации солнечных энергоустановок существуют проблемы, которые приводят к недовыработке электроэнергии, быстрому выходу из строя солнечных модулей, сокращению срока эксплуатации и, связанные с этим в дальнейшем, проблемы утилизации отработанных солнечных батарей. Опыт эксплуатации солнечных энергоустановок показал, что указанные проблемы решаются тем или иным образом в зависимости от места и климатических условий эксплуатации.

Рассмотрим наиболее характерные причины, снижающие фотогенерацию на солнечных электростанциях.

1. Запыленность солнечных модулей

Каким бы высоким ни был коэффициент преобразования солнечной энергии, производство электроэнергии может уменьшиться из-за загрязнения поверхности солнечного модуля. Загрязнение может снижать КПД солнечных установок на 25-30% из-за затенения поверхности и снижения поглощения ею солнечных лучей. Такая проблема стоит в любом регионе, где эксплуатируются солнечные энергоустановки. В южных странах загрязнение происходит из-за пылевых бурь, осадения пылицы и листьев растений, загрязнений птицами и животными. Для промышленных районов это осадки, содержащие смеси, выбросы от промышленных предприятий, транспорта и т.д., которые существенно снижают производство электроэнергии на солнечных электростанциях.

Такая ситуация наблюдается, например, для территории индустриального Челябинска и других городов области. Пылевые частицы, в зависимости от их размеров, могут находиться в атмосфере разное время. Чем они мельче, тем время их витания в воздухе больше. Мелкодисперсная пыль оседает на лицевой поверхности модулей, расположенных в зоне распространения выбросов и буквально въедается в структуру стекла. Очистить такой пылевой слой очень сложно. Существуют несколько способов очистки запыленных поверхностей солнечных модулей. Например, для небольших площадей применяется ручная очистка. Для больших объемов используется механическая или роботизированная система очистки. Однако все они связаны со значительными финансовыми и временными затратами, требуют людских и водных ресурсов.

Поэтому, запыление и загрязнение легче предотвратить, чем тратить огромные средства для очистки. Разработанное нами устройство предназначено именно для этой цели. Работа устройства основана на принципе электронно-ионной технологии (ЭИТ) [1].

Устройство представляет собой решетку из тонкой проволоки, на которую подается высокое (9-12 кВ) напряжение. Ряды проволоки, которые играют роль осадительных электродов, подключены к клемме источника высокого напряжения (ИВН) с отрицательным потенциалом (рис.1)

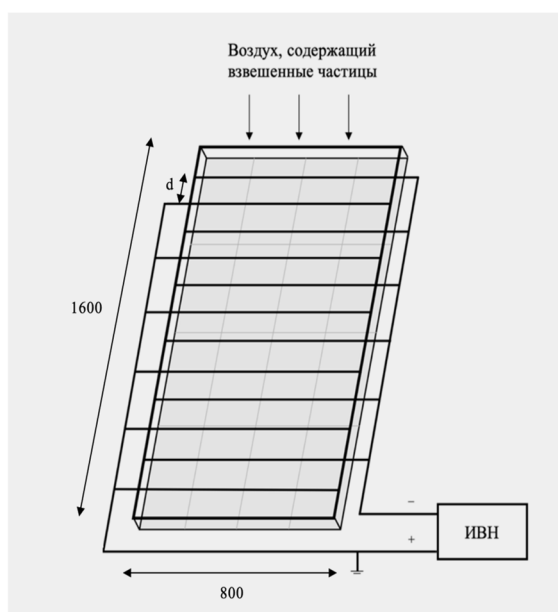


Рис.1. Схема устройства защиты солнечного модуля от пылевых загрязнений

Процесс очистки происходит за счет воздействия нескольких электрических сил межэлектродного промежутка на заряженную частицу пыли. Имея свой положительный заряд, частицы осаждаются на ближайшем отрицательном электроде. Поверхность модуля остается чистой, а решетка с определенной периодичностью снимается и промывается. Степень улавливания мелкодисперсных частиц рассчитывается на основе формулы Дейча с учетом сил тяжести, пандеромоторной силы, силы сопротивления среды и характеристик пыли:

$$\eta = 1 - e^{-\frac{(E \cdot q + 2\pi \varepsilon_0 a^3 \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \text{grad} E^2) \cdot (1 + \frac{A \cdot l_m}{a}) \cdot l}{6\pi \cdot \mu \cdot a \cdot (1 + \frac{ba}{x}) \cdot d \cdot v_B}}$$

Для частиц пыли, имеющих естественный электрический заряд, степень очистки составляет 77%, а при использовании коронирующих электродов, дополнительно заряжающих пылевые частицы, достигает 95%. Такой способ предотвращения загрязнений будет достаточно эффективен при больших массивах солнечных батарей.

2. Перегрев солнечных модулей

Эта, достаточно серьезная проблема, характерна для регионов с повышенными температурами воздуха. Известно, что с увеличением температуры окружающей среды на каждые 5⁰С относительно стандартной, равной 25⁰С, выход прогнозируемой мощности постоянного тока может снизиться на 2,25%. Необходимо также учитывать, что если перегрев будет постоянно, то наступает деградация модулей и снижается их фотогенерация. Снижение энергетических характеристик солнечного модуля при повышении температуры можно видеть по его вольт-амперным (ВАХ) и мощностным характеристикам.

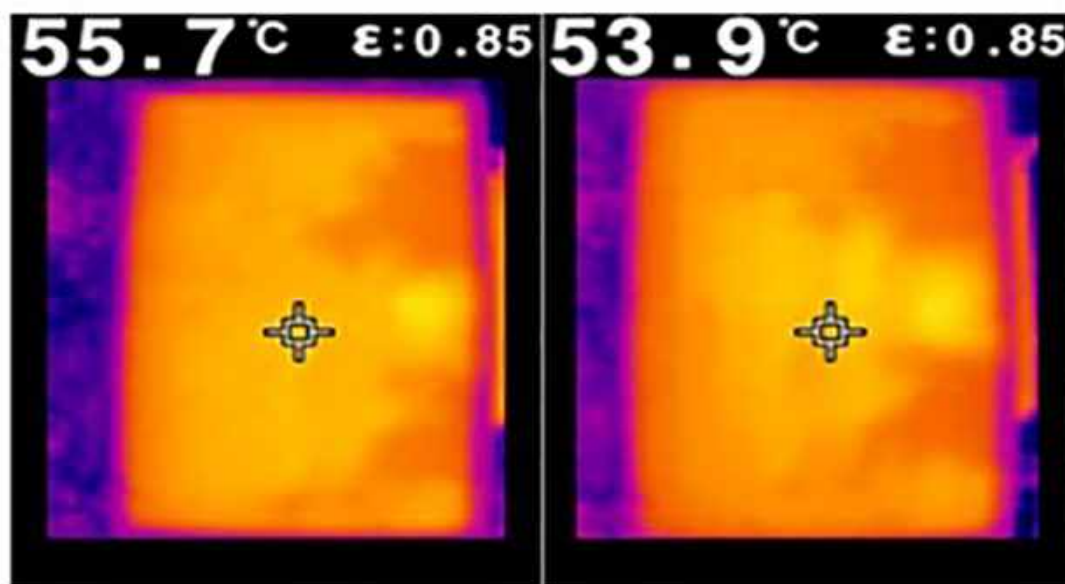
Такая проблема серьезно обозначилась на Орской СЭС, Оренбургской области. Температура воздуха в летние месяцы в 2019 году наблюдалась до 40

градусов, а в бывших союзных республиках Средней Азии эта температура является обычной.

Для защиты модулей от перегрева в настоящее время используются различные способы – от охлаждения водой до применения сложных механизмов отвода тепла. В некоторых случаях применение таких способов себя оправдывает, но для крупных СЭС необходимы простые, недорогие и эффективные средства.

Мы предложили в качестве термозащиты использовать специальную структурированную пленку на основе голограммы. Благодаря внутренней структуре пленки в ней происходит отражение инфракрасной (тепловой) составляющей солнечного спектра и поверхность модуля не перегревается. Полевые испытания в Республике Таджикистан показали, что использование пленки предотвращает перегрев панели и при этом фотогенерация несколько повышается, что дает основание полагать, что использование разработанной пленки на крупных СЭС будет достаточно эффективным [3].

На рис. 2 показаны снимки модулей, полученных с помощью тепловизора, с пленкой и без нее.



а)

б)

Рис. 2. Инфракрасные изображения солнечного модуля:

а) без плёнки, б) с плёнкой

Разница в значениях температур объясняется тем, что рисунок голограммы структурированной пленки позволяет концентрировать солнечные лучи, повышая тем самым производительность солнечных модулей без снижения вольт-амперных и мощностных показателей, защищая при этом поверхность модуля от перегрева.

3. Обледенение модулей

Эта проблема существует главным не только для регионов с длительными холодными периодами года, но и для мест, где возможно выпадение осадков в виде льда и снега. Снижение температуры окружающей среды не сказывается значительно на фотогенерации, но наледь или покрытие модуля снегом, по аналогии с загрязнением поверхности, может значительно снизить выработку электроэнергии.

Для решения данной задачи авторами [2] было предложено использование электротепловой системы противообледенения солнечного модуля (рис.3):

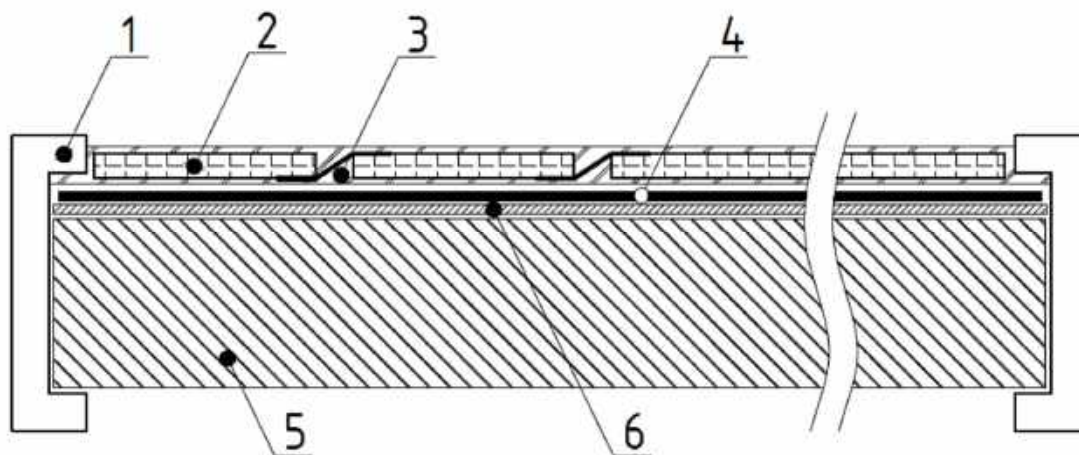


Рис. 3. Устройство системы обогрева (внутренние элементы солнечного модуля): 1 – рама солнечного модуля; 2 – солнечный элемент; 3 – лицевая панель; 4 – токопроводящий контур (ТК); 5 – теплоизолирующий материал (пенопласт); 6 – фольгированный изолон.

Кабели ТК подключаются либо вручную, либо автоматически при срабатывании датчиков осадков или температуры. Тепловая энергия передается от токопроводящего контура к внутренней поверхности солнечного модуля и оттуда посредством теплопередачи на лицевую панель. Под действием температуры снег или наледь тает, при этом ледяная корка не образуется.

Разработанная система энергоэффективна, поскольку для обогрева солнечного модуля тратится энергии в 10 раз меньше, чем количество энергии, вырабатываемой модулем.

4. Ориентация солнечных модулей

Использование систем слежения за солнцем (трекеров) несомненно ведет к повышению выработки электроэнергии солнечными энергоустановками. Для этих целей используются либо одноосные, либо двухосные системы ориентации. Они, как правило дискретны или имеют только несколько фиксированных положений трекера в течение светового дня. Кроме того, на сегодняшний день и те и другие достигли относительного предела эффективности (для 2-х осевых систем он составляет примерно 40%). Если не произойдет стремительного роста эффективности солнечных элементов, то развитие солнечной энергетики может пойти по пути совершенствования и привлечения новых, не входящих в традиционную парадигму создания систем слежения за Солнцем приёмов и объектов, способных получить более эффективные результаты преобразования солнечной энергии [4]

Для того, чтобы отследить точку максимальной мощности, которая получается при прямом угле луча к поверхности, нужно постоянное движение модуля за солнцем. Концепция проектирования и создания таких систем основана на принципиально новом трёхкоординатном позиционном сферическом манипуляторе с установленной на подвижную платформу солнечной батареей, приводимый в движение тремя коаксиальными вентильно-индукторными двигателями под управлением системы экстремального регулирования для отслеживания точки максимальной энергоэффективности. Управление манипулятором осуществляется с помощью разработанной и запатентованной программы [5].

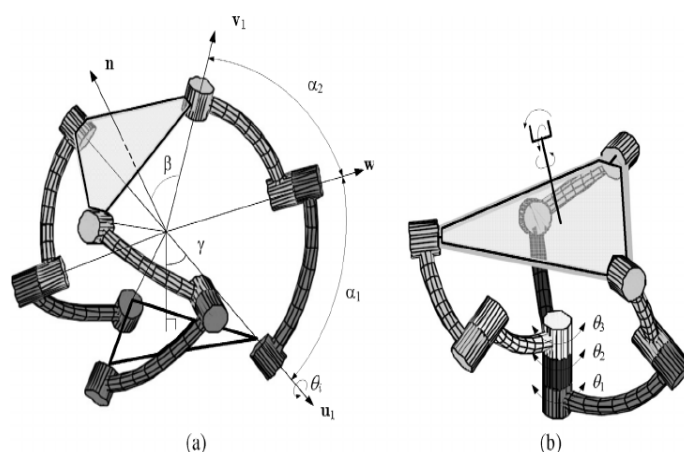


Рис. 4. Траектории движения платформы манипулятора в пространстве

Разработка комплекса была поддержана грантом РФФИ – Аспиранты, в 2019 году №19-31-90156 «Фундаментальное исследование синергетического эффекта от объединения дискретной структуры (двойная зубчатость) безредукторных вентильно-индукторных электроприводов сферических позиционных параллельных манипуляторов с многопараметрической системой экстремального управления и его влияние на энергоэффективность систем слежения за Солнцем (с перспективой использования в позиционно-слеящих систем других классов)». Необходимо отметить, что данная система ориентации найдет свое применение не только в солнечной энергетике, но и в системах навигации любой сложности.

Список литературы

1. I.M. Kirpichnikova, V. V. Shestakova. Electron-Ion Technology as Protection of Solar Modules from Contamination // Advances in Automation // Proceedings of the International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019, September 8–14, 2019, Sochi, Russia, pp 554-562 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39225-3>.
2. Долгошеев В.В., Мартьянов А.С., Коробатов Д.В., Бодрова Е.С. Электротепловая система противообледенения солнечного модуля. *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. 2017;(10-12):24-32. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2017.10-12.024-032>.

3. Кирпичникова И.М., Махсумов И.Б. Исследование температуры поверхности солнечных модулей с использованием голографической защиты от перегрева// Электротехнические и информационные комплексы и системы, №4, т.15, 2019, с. 19-29.

4. Кирпичникова И.М., Сологубов А.Ю. Кинематические свойства электротехнических комплексов с системой слежения за солнцем, полученные методом полиномиальной аппроксимации небесных координат// Вестник ЮУрГУ, серия Энергетика 2019, вып. 72 19, №. 3, pp. 72–83.

5. Сологубов А.Ю., Кирпичникова И.М. Программа формирования двухпараметрических временных сеток для вычисления солнечной позиции и обработки угловых данных расчета. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019665999.

Доклад подготовлен с использованием результатов проекта РФФИ №19-31-90156

© Кирпичникова И.М., Махсумов И.Б., Сологубов А.Ю., Шестакова В.В. – 2020

УДК 620.9

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГРУППЫ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВЫХ ВЭУ

Козин Александр Александрович, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Россия, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, e-mail: kozinaa@susu.ru

Кирпичникова Ирина Михайловна, доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Россия, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, e-mail: kirpichnikovaim@susu.ru

Аннотация

В статье дано описание существующего способа резервного электроснабжения с помощью вертикально-осевых ВЭУ в ОЭЗ «Байкальская гавань». Рассмотрена возможность параллельной работы ВЭУ с солнечной электростанцией. Определена модель ФЭМ к использованию. Рассчитана вырабатываемая солнечной установкой мощность, показана целесообразность параллельной работы СЭС и ВЭУ.

Ключевые слова

Ветроэнергетическая установка, солнечная электростанция, ветро-солнечная электростанция

Kozin Alexander Alexandrovich, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, 454080, Russia, 76 Lenin ave, e-mail: kozinaa@susu.ru

Kirpichnikova Irina Mikhailovna, doctor of engineering, professor, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, 454080, Russia, 76 Lenin ave, e-mail: kirpichnikovaim@susu.ru

Abstract

The article describes the existing method of backup power supply using vertical-axis wind turbines in the special economic zone "Baikal Harbor". The author considers the possibility of parallel operation of wind turbines with a solar power plant and determines the model of the photovoltaic module to be used. The power generated by the solar installation is calculated, expediency of parallel operation of SES and wind turbines is shown.

Keywords

Wind power plant, solar power plant, wind-solar power plant

В особой экономической зоне (ОЭЗ) «Байкальская гавань» на территории Прибайкальского района Республики Бурятия находится в эксплуатации

ветропарк из группы вертикально-осевых ВЭУ, разработанных в Южно-Уральском государственном университете (рисунок 1).



Рисунок 1. Группа ВЭУ в ОЭЗ «Байкальская гавань»

Конструкция ВЭУ разработана и исследована в рамках гранта РФФИ по теме «Разработка и создание масштабируемой ветроэнергетической установки на основе оптимизационной методологии с организацией центра коллективного пользования», Соглашение № 14.В37.21.1226 от 14 сентября 2012 г.

Работа ветропарка осуществляется параллельно с сетью. ВЭС в данном случае используется в качестве резервного источника питания, а также для постоянного энергоснабжения объектов малой мощности (освещение).

Среднегодовая скорость ветра по данным годовых наблюдений на метеостанции «Бабушкин», расположенной на побережье озера Байкал в 206 км от «Байкальской гавани» на момент строительства ВЭС составила 2,67 м/с.

Опыт эксплуатации показал, что из-за таких низких скоростей ветра использование данных ВЭУ является малоэффективным, если использовать их как единственный источник резервного питания. В связи с этим, было принято решение об исследовании целесообразности и возможности организации дополнительного электроснабжения объекта с помощью солнечной электростанции, подключенной параллельно с данными ВЭУ (рисунок 2).



Рисунок 2. Пример схемы подключения ветро-солнечной установки

Расчет выработки электроэнергии солнечными энергоустановками проводился на основе потенциала солнечной энергии в Забайкалье. Республика Бурятия относится к той части территории Российской Федерации, которая имеет одну из наибольших продолжительностей солнечного сияния (более 2000 часов в год) (рис. 3) [1].



Рисунок 3. Солнечные энергоресурсы РФ

Данные о солнечной инсоляции $E_{уд}$ для столицы Бурятии, г. Улан-Удэ (53.7536, 109.7726), а также оптимальный угол наклона солнечных панелей относительно поверхности земли приведены в таблице 1. Они позволяют рассчитать максимальный КПД преобразования солнечной энергии для любого

времени года. Для управления углом наклона могут быть использованы трекеры, либо изменение угла может выполняться вручную с помощью специального крепежа.

Таблица 1. Данные о солнечной инсоляции для г. Улан-Удэ

Месяц	$E_{уд}, \text{кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{день})$	Оптимальный угол наклона, °
Январь	1,84	70
Февраль	2,66	61
Март	3,52	47
Апрель	4,54	32
Май	5,84	19
Июнь	6,42	13
Июль	6,04	16
Август	5,37	29
Сентябрь	4,44	44
Октябрь	3,22	58
Ноябрь	2,12	67
Декабрь	1,77	73
Среднее за год	3,99	

Для эффективной работы фотоэлектрических модулей (ФЭМ) необходимо было определить режим их работы (круглогодичный или сезонный), который был сделан на основании данных таблицы 1.

Были рассчитаны месячные и суммарные годовые значения солнечной радиации по формуле (1), полученные данные занесены в таблицу 2.

$$E = E_{уд} \cdot n_{дм}, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \quad (1)$$

где $n_{дм}$ – количество дней в заданном месяце.

Таблица 2. Значения месячной и годовой радиации

Месяц	$E_{уд}, \text{кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{день})$	$n_{дм}, \text{дни}$	$E_{мес}, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$
Январь	1,84	31	57,04
Февраль	2,66	28	74,48
Март	3,52	31	109,12
Апрель	4,54	30	136,20
Май	5,84	31	181,04
Июнь	6,42	30	192,60
Июль	6,04	31	187,24
Август	5,37	31	166,47
Сентябрь	4,44	30	133,20
Октябрь	3,22	31	99,82
Ноябрь	2,12	30	63,60

Декабрь	1,77	31	54,87
Всего		365	1 455,68

Критерий для определения рационального режима работы ФЭМ находится по формуле:

$$k_{\text{рад}} = E_{\text{год}}/E_{\text{мес}} \quad (2)$$

где $E_{\text{год}}$ – средние годовые суммы суммарной радиации на горизонтальную поверхность, кВт·ч/м²;

$E_{\text{мес}}$ – среднемесячная сумма суммарной радиации на горизонтальную поверхность, минимальная в течение года, кВт·ч/м².

Коэффициент $k_{\text{рад}}$ характеризует отношении солнечной радиации при наименее солнечном месяце к радиации за весь год, поэтому можно сказать, что если это отношение будет больше 50, то режим работы для ФЭМ необходимо выбрать сезонный, если меньше 50 – круглогодичный [1].

$$k_{\text{рад}} = 1\,455,68/54,87 = 26,52.$$

Так как значение $k_{\text{рад}}$ получилось менее 50, то для ФЭМ применимо круглогодичное использование.

В связи с низкой инсоляцией с ноября по февраль согласно, табл. 1, лучше выбрать к использованию монокристаллические ФЭМ, имеющие по сравнению с другими видами солнечных модулей более высокий КПД преобразования.

Расчет мощности солнечных батарей необходим для правильного их выбора и обеспечения необходимым количеством электроэнергии СЭС.

Площадь солнечной батареи рассчитывается по формуле, м²:

$$S_{\text{СЭС}} = P_{\text{нагр}} / P_{\text{ФЭМ}} \quad (3)$$

где $P_{\text{нагр}}$ –общая электрическая нагрузка рассматриваемого объекта, равная 10 кВт.

В связи с неизбежными потерями в проводах, контроллере и инверторе, а также с возможным увеличением нагрузки и постепенным незначительным снижением эффективности ФЭМ при эксплуатации, необходимо увеличить мощность объекта $P_{\text{расч.нагр}}$ на 20%, тогда:

$$P_{\text{нагр}} = P_{\text{расч.нагр}} \cdot 1,2 = 10\,000 \cdot 1,2 = 12\,000 \text{ Вт};$$

Рассчитываемая средняя мощность ФЭМ $P_{\text{ФЭМ ср}}$, определяется:

$$P_{\text{ФЭМ ср}} = P_{\text{ФЭМ}} \cdot \eta, \text{ Вт/м}^2; \quad (4)$$

где $P_{\text{ФЭМ}}$ – максимальная удельная мощность, отдаваемая ФЭМ, Вт/м, согласно [2], при условии номинального освещения, $P_{\text{ФЭМ}} = 1000 \text{ Вт/м}^2$; η – коэффициент полезного действия (КПД) монокристаллических ФЭМ, в среднем составляет значение от 15 до 22%. [3]. Принимаем в расчетах среднее значение 17 %, тогда:

$$P_{\text{ФЭМ ср}} = 1\,000 \cdot 0,17 = 170 \text{ Вт}.$$

Выбираем к использованию близкую по мощности к установке ФЭМ [4] Российской компании SOLBAT (г. Краснодар) со следующими характеристиками из таблицы 3.

Таблица 3 – ФЭС компании SOLBAT [4]

Модель	Размер, мм	$U_{\text{н}}$, В	$U_{\text{хх}}$, В	$I_{\text{кз}}$, А	$U_{\text{р}}$, В	$I_{\text{р}}$, А	$P_{\text{ФЭМ}}$, Вт	Вес, кг
МСК-200	805x1575x40	24	44,2	5,98	36	5,56	200	17

Принимаем к установке ФЭС типа МСК-200.

Тогда площадь СЭС составит:

$$S_{\text{СЭС}} = P_{\text{нагр}} / P_{\text{ФЭМ}} = 12\,000 / 200 = 60 \text{ м}^2.$$

Из таблицы 3 площадь одного ФЭМ равна:

$$S_{\text{ФЭС}} = 0,805 \cdot 1,575 = 1,268 \text{ м}^2;$$

Соответственно количество панелей СЭС:

$$N_{\text{СЭС}} = S_{\text{СЭС}} / S_{\text{ФЭС}} = 60/1,268 = 47,31 \text{ шт.}$$

Округляем до четного ближайшего значения 48 шт.;

Соответственно номинальная мощность всех ФЭМ СЭС составит:

$$P_{\text{СЭС}} = N_{\text{СЭС}} \cdot P_{\text{ФЭМ}} = 48 \cdot 200 = 9,6 \text{ кВт}.$$

СЭС мощностью $P_{\text{СЭС}}$ в течение выбранного периода выработает следующее количество энергии:

$$W_i = k_i \cdot E_{\text{уді}} \cdot P_{\text{СЭС}}/1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (5)$$

где $E_{уді}$ – значение инсоляции за выбранный период из табл.2;

k_i – коэффициент, равный 0,5 и 0,7 в летний и зимний периоды, соответственно. Он делает поправку на потерю мощности солнечных элементов при нагреве на солнце, а также учитывает наклонное падение лучей на поверхность модулей в течение дня. Разница в его значении зимой и летом обусловлена меньшим нагревом элементов в зимний период.

График расчетной выработки электроэнергии ФЭМ по месяцам по данным таблицы 4 показан на рисунке 4.

Для дополнительной оценки ресурсов солнечной энергии воспользуемся так же программой онлайн-калькулятор [5], которая определяет выработку электроэнергии ФЭМ, в зависимости от солнечной радиации на выбранной территории.

На рисунке 5 отображен график выработки электроэнергии солнечными модулями за год [5].

Таблица 4. Выработка энергии СЭС в зависимости от месяца

Месяц	W, кВт·ч
Январь	12,36
Февраль	17,88
Март	23,65
Апрель	30,51
Май	39,24
Июнь	43,14
Июль	40,59
Август	36,09
Сентябрь	29,84
Октябрь	21,64
Ноябрь	14,25
Декабрь	11,89

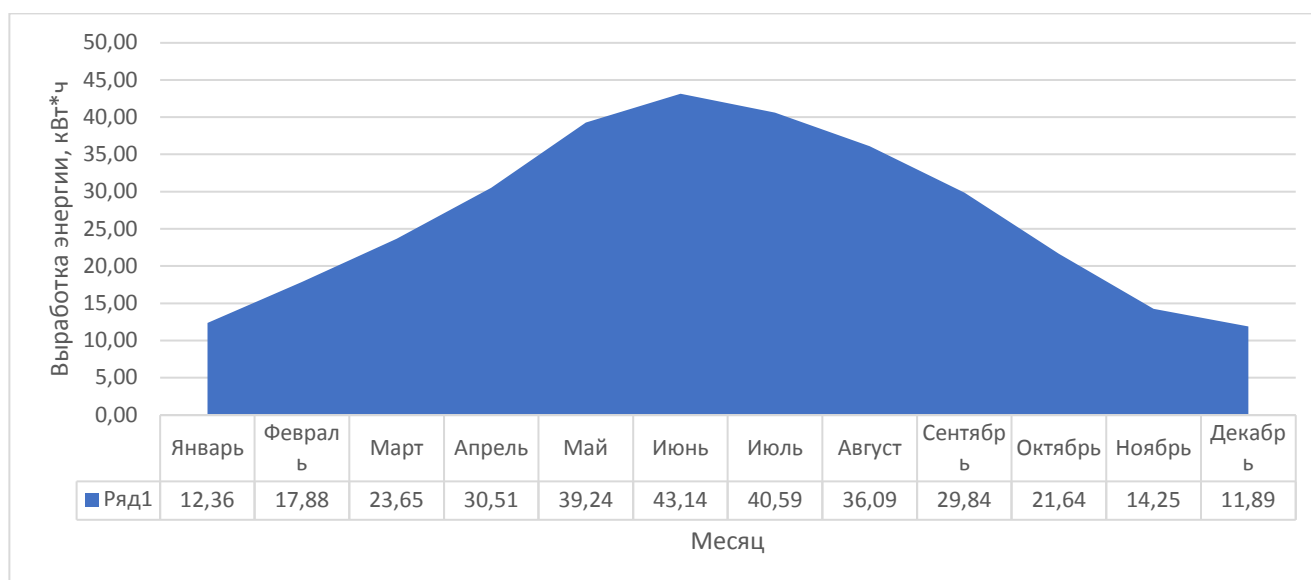


Рисунок 4. График расчетной выработки электроэнергии ФЭМ по месяцам

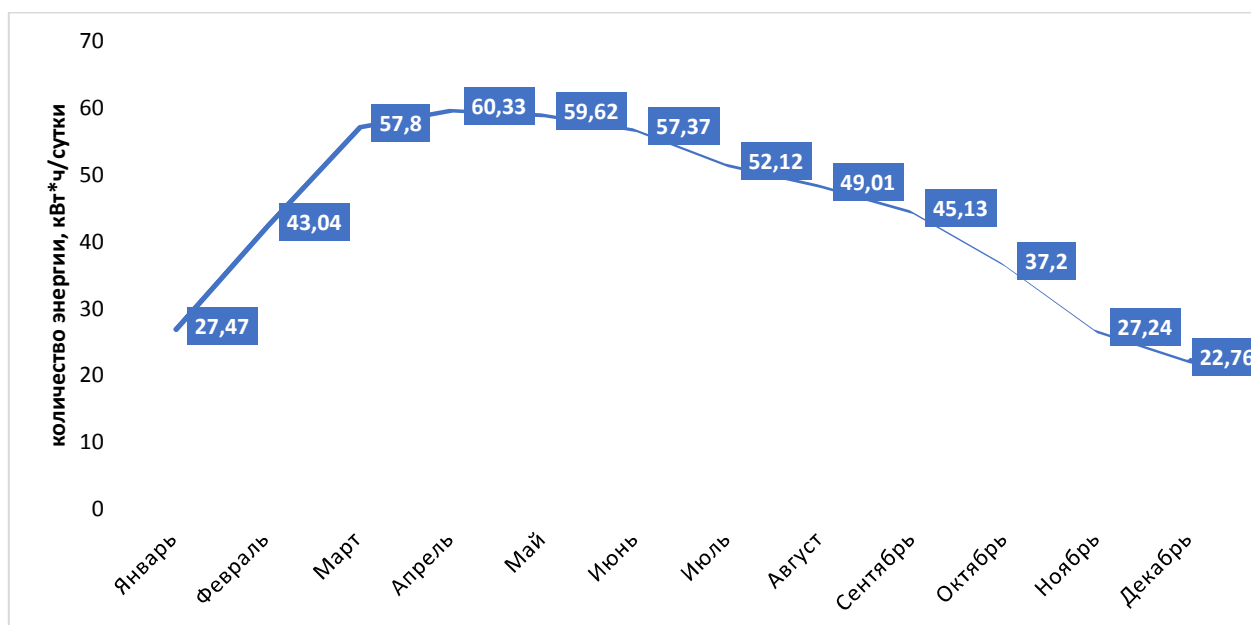


Рисунок 5. График выработки по месяцам электроэнергии ФЭМ в соответствии с программным расчетом

Из указанных выше графиков видно, что минимальная выработка СЭС придется на зимние месяцы, которая при этом все же превышает объем электроэнергии, вырабатываемой существующими вертикально-осевыми ВЭУ.

Избыточную энергию, возникающую в летне-весенний период, можно направить на заряд резервных АКБ, либо отдавать в сеть.

Таким образом, результаты проведенных расчетов подтверждают целесообразность установки солнечной электростанции для параллельной работы с существующей группой вертикально-осевых ВЭУ.

Список литературы

1. Лукутин, Б. В. Системы электроснабжения с ветровыми солнечными электростанциями: учебное пособие / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев, И. А. Плотников. – Томск: Издательство ТПУ, 2015 – С. 47–66.

2. Нян, Л. А. Разработка солнечной фотоэлектрической системы автономного электроснабжения индивидуальных потребителей в тропических условиях : автореф. дис. ... к. т. н. Электротехнические комплексы и системы 05.09.03 ; рук. В. Г. Еременко к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ») / Л. А. Нян. Москва : Типография издательства МЭИ, 2015 – 157 с.

3. Проекты гибридных ресурс]: / ООО «Солнечная энергия+». – Горно-Алтайск, 2017 – Режим доступа: <http://solar04.ru/project/>

4. Каталог стандартных солнечных батарей и модулей [Электронный ресурс]: /ООО «Solbat». – Краснодар, <http://www.solbat.su/catalog/standsolmod/>

5. On-line калькулятор солнечной, ветровой и тепловой энергии [Электронный ресурс] : / ООО "Гелиос Хаус. – Москва, 2017 – Режим доступа: <http://www.helios-house.ru/on-line-kalkulyator.html>

Доклад подготовлен с использованием результатов проекта РФФИ №19-31-90156

©, Козин А.А., Кирпичникова И.М., – 2020

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ
МОЩНОСТИ В СЕТЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИ КРМ В СЕТИ
ПОТРЕБИТЕЛЯ**

Кузнецов Анатолий Викторович, доктор технических наук, профессор, Ульяновский государственный технический университет, Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, e-mail: kav2@ulstu.ru.

Ребровская Диана Андреевна, старший преподаватель, Ульяновский государственный технический университет, Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, e-mail: diana-06-08@mail.ru.

Петрова Марина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Ульяновский государственный технический университет, Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, e-mail: marine1310@mail.ru.

Аннотация

Предложена новая уточненная модель оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя, которая содержит в узле схемы замещения фиктивное КУ, обеспечивающее коррекцию результатов расчета в сторону уменьшения погрешности вычислений. Применение этой модели требует больше исходных данных, но является предпочтительным с точки зрения точности вычислений.

Ключевые слова

потребитель, сетевая организация, потери мощности, коэффициент снижения потерь, реактивная мощность, компенсирующие устройства, модель, погрешность модели.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ульяновской областью в рамках научного проекта №18-48-730025.

IMPROVEMENT OF THE MODEL FOR THE EVALUATION OF REDUCED POWER LOSSES IN THE NETWORK ORGANIZATION AT RPC IN THE CONSUMER NETWORK

Kuznetsov Anatoly Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ulyanovsk State Technical University, 32, Severniy Venets str., 432027 Ulyanovsk, Russia, e-mail: kav2@ulstu.ru.

Rebrovskaya Diana Andreevna, Senior Lecturer, Ulyanovsk State Technical University, 32, Severniy Venets str., 432027 Ulyanovsk, Russia, e-mail: diana-06-08@mail.ru.

Petrova Marina Valerievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ulyanovsk State Technical University, 32, Severniy Venets str., 432027 Ulyanovsk, Russia, e-mail: marine1310@mail.ru.

Abstract

A new refined model is proposed for assessing the reduction of power losses in a network organization when reactive power is compensated in a consumer network, which contains a fictitious compensating device in the equivalent circuit node, which provides correction of calculation results in the direction of reducing the calculation error. The application of this model requires more initial data, but is preferable in terms of accuracy of calculations.

Keywords

consumer, network organization, power loss, loss reduction coefficient, reactive power, compensating devices, model, model error.

Funding: the reported research was funded by Russian Foundation for Basic Research and the government of the region Ulyanovsk, grant № 18-48-730025.

Известна модель основное выражение для определения снижения потерь $\delta\Delta P_{\text{КУ}}$ в которой выглядит следующим образом [1].

$$\delta\Delta P_{\text{КУ}} = 1 - \left(\frac{(1+\text{tg}^2\phi_{1,\text{CX,НОВ}})}{(1+\text{tg}^2\phi_{1,\text{CX}})} \cdot \frac{\Delta P_1}{\sum_1^3 \Delta P_i} + \frac{\Delta P_2}{\sum_1^3 \Delta P_i} + \frac{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{CX,НОВ}})}{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{CX}})} \cdot \frac{\Delta P_3}{\sum_1^3 \Delta P_i} \right) \quad (1)$$

В выражении (1)

$\frac{\Delta P_1}{\sum_1^3 \Delta P_i}, \frac{\Delta P_2}{\sum_1^3 \Delta P_i}, \frac{\Delta P_3}{\sum_1^3 \Delta P_i}$ – потери мощности в ветвях 1,2,3 схемы замещения

трехлучевой звезды;

$\frac{(1+\operatorname{tg}^2 \phi_{1,\text{cx,нов}})}{(1+\operatorname{tg}^2 \phi_{1,\text{cx}})}, \frac{(1+\operatorname{tg}^2 \phi_{3,\text{cx,нов}})}{(1+\operatorname{tg}^2 \phi_{3,\text{cx}})}$ – коэффициенты снижения потерь мощности в ветвях 1

и 3 соответственно в результате КРМ.

В модели принято допущение, в соответствии с которым все нагрузки схемы электроснабжения разделены на две. Одна из них – это нагрузка исследуемого потребителя по ветви 1. Другая – эквивалентная нагрузка всех остальных потребителей подключена к ветви 2. В известной модели нагрузки, составляющие эквивалентную нагрузку ветви 2 и сосредоточенные в реальности в разных местах схемы электроснабжения перемещены в один общий узел. Очевидно, что перемещение нагрузки из одного узла схемы в другой может изменять поток мощности в ветви между этими узлами. Изменение потоков мощности может повлиять на результат вычисления величины снижения потерь в этой ветви при КРМ. Это вызывает необходимость оценки корректности принятого допущения.

Нагрузка первой ветви, представляющая собой нагрузку исследуемого потребителя при преобразовании схемы электроснабжения, не переносится из одного узла в другой. Следовательно, коэффициент снижения потерь остается прежним. Изменение коэффициента снижения потерь касается только ветви 3. Эта ветвь представляет собой последовательно соединенные ветви схемы электроснабжения, которые преобразуются в одну эквивалентную ветвь. При преобразовании схемы нагрузки сосредоточенные в узлах схемы электроснабжения переносятся в один узел.

Если обозначить новый измененный коэффициент снижения потерь в ветви 3 схемы трехлучевой звезды как $k_{\text{прив}}$ то выражение (1) изменится следующим образом.

$$\delta \Delta P_{\text{КУ}} = 1 - \left(\frac{(1+\operatorname{tg}^2 \phi_{1,\text{cx,нов}})}{(1+\operatorname{tg}^2 \phi_{1,\text{cx}})} \cdot \frac{\Delta P_1}{\sum_1^3 \Delta P_i} + \frac{\Delta P_2}{\sum_1^3 \Delta P_i} + k_{\text{прив}} \cdot \frac{\Delta P_3}{\sum_1^3 \Delta P_i} \right). \quad (2)$$

Задача состоит в определении значения этого коэффициента. После КРМ в новой модели коэффициент мощности изменяется до некоторого значения $\text{tg}\phi_{\text{ЭКВ}}$, значение которого можно определить из равенства.

$$k_{\text{прив}} = \frac{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх,ЭКВ}})}{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх}})} . \quad (3)$$

Применение нового коэффициента $k_{\text{прив}}$ связано с появлением нового эквивалентного $\text{tg}\phi_{3,\text{сх,ЭКВ}}$ который определяет величину реактивной мощности в ветви после КРМ. Значение $\text{tg}\phi_{3,\text{сх,ЭКВ}}$ зависит от $k_{\text{прив}}$ и не является постоянной величиной.

Арифметическая разность между расчетами по новой (2) и известной модели (1) определяется как

$$\Delta\delta\Delta P_{\text{КУ}} = \frac{\Delta P_3}{\sum_1^3 \Delta P_i} \cdot \left(\frac{\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх,нов}} - \text{tg}^2\phi_{3,\text{сх,ЭКВ}}}{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх}})} \right). \quad (4)$$

Полученное выражение для определения арифметической разности позволяет оценить корректность принятого в известной математической модели допущения. Соотношение между результатами расчета потерь в третьей ветви схемы замещения трехлучевой звезды полученное по новой по известной модели позволяет оценить степень отличия коэффициентов изменения потерь при использовании известной и новой модели. Это соотношение является

$$k_{\text{прив}} = \frac{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх,нов}})}{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх}})} \cdot \frac{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх,ЭКВ}})}{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх,нов}})} . \quad (5)$$

С учетом этого выражение для $\delta\Delta P_{\text{КУ}}$ может быть преобразовано в следующий вид.

$$\delta\Delta P_{\text{КУ}} = 1 - \left(\frac{(1+\text{tg}^2\phi_{1,\text{сх,нов}})}{(1+\text{tg}^2\phi_{1,\text{сх}})} \cdot \frac{\Delta P_1}{\sum_1^3 \Delta P_i} + \frac{\Delta P_2}{\sum_1^3 \Delta P_i} + \frac{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх,нов}})}{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх}})} \cdot \frac{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх,ЭКВ}})}{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх,нов}})} \cdot \frac{\Delta P_3}{\sum_1^3 \Delta P_i} \right). \quad (6)$$

Из выражения следует, что потери в третьей ветви снижаются в соответствии с двумя коэффициентами снижения потерь. Коэффициент $\frac{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх,нов}})}{(1+\text{tg}^2\phi_{3,\text{сх}})}$ определяет снижение потерь в соответствии с известной

математической моделью. Коэффициент $\frac{(1+\operatorname{tg}^2\phi_{3,\text{сх,ЭКВ}})}{(1+\operatorname{tg}^2\phi_{3,\text{сх,нов}})}$ - приводит найденное значение потерь в соответствие с новой математической моделью.

Коэффициент $\frac{(1+\operatorname{tg}^2\phi_{3,\text{сх,ЭКВ}})}{(1+\operatorname{tg}^2\phi_{3,\text{сх,нов}})}$ говорит о том, что поток реактивной мощности в ветви 3 изменяется. Но такое изменение возможно только при подключении в узел схемы трехлучевой звезды дополнительной КУ. Эта КУ является виртуальной, фиктивной, корректирующей погрешность расчета по известной математической модели. Мощность этой КУ определяется путем несложных математических преобразований из соотношения $\frac{(1+\operatorname{tg}^2\phi_{3,\text{сх,ЭКВ}})}{(1+\operatorname{tg}^2\phi_{3,\text{сх,нов}})}$. Если принять

$Q_{\text{КУ,ФИКТ}} = \frac{Q_{\text{КУ,ФИКТ}}}{\sum_1^3 \Delta P_i}$, то после преобразования получим

$$Q_{\text{КУ,ФИКТ}} = \sqrt{\operatorname{tg}^2\phi_{3,\text{сх,нов}} - \operatorname{tg}^2\phi_{3,\text{сх,ЭКВ}}} \cdot \quad (7)$$

С учетом этого новая схема замещения трехлучевой звезды будет отличаться тем, что в узел схемы замещения подключается емкость $Q_{\text{КУ,ФИКТ}}$. Предложенная новая уточненная модель содержит в узле схемы замещения фиктивное КУ, обеспечивающее коррекцию результатов расчета в сторону уменьшения погрешности вычислений. Применение этой модели требует больше исходных данных, но является предпочтительным с точки зрения точности вычислений.

Список литературы

1. Кузнецов А.В. Математическая модель оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя/ А.В. Кузнецов, И.В. Аргентова// Электротехника, 2016. - №10. – С. 68-73.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ульяновской области в рамках научного проекта №18-48-730025.

©, Кузнецов А.В., Ребровская Д.А., Петрова М.В., – 2020

КЛАССИФИКАЦИЯ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Кузнецов Анатолий Викторович, доктор технических наук, профессор, Ульяновский государственный технический университет, Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, e-mail: kav2@ulstu.ru.

Юренков Юрий Петрович, ассистент, Ульяновский государственный технический университет, Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, e-mail: alxim2@mail.ru.

Аннотация

Проведена классификация токоограничивающих устройств, применяющихся в системах электроснабжения. Результаты могут быть полезны для формирования технической политики в направлении исследований, разработки и применения токоограничивающих устройств.

Ключевые слова

система электроснабжения, ток короткого замыкания, устройство ограничения тока.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90307.

CLASSIFICATION OF CURRENT LIMITING DEVICES IN ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS

Kuznetsov Anatoly Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ulyanovsk State Technical University, 32, Severniy Venets str., 432027 Ulyanovsk, Russia, e-mail: kav2@ulstu.ru.

Yurenkov Yury Petrovich, assistant, Ulyanovsk State Technical University, 32, Severniy Venets str., 432027 Ulyanovsk, Russia, e-mail: alxim2@mail.ru.

Abstract

Classification of the current-limiting devices which are used in power supply systems is carried out. Results can be useful to formation of technical policy in the direction of researches, development and use of current-limiting devices.

Keywords

power supply system, short circuit current, current limiting device.

Funding: The reported study was funded by RFBR, project number 19-38-90307.

Известно, что часть систем электроснабжения, участвующих в передаче и распределении электроэнергии, характеризуется повышенными значениями токов короткого замыкания. Увеличение токов коротких замыканий происходит за счёт:

- увеличения единичной мощности силовых трансформаторов до $S_n = 4$ МВА;
- включения двух или трёх силовых трансформаторов в параллельную работу;
- применения мощных автономных энергетических систем (судовые энергосистемы);
- распространения мощных преобразователей, обеспечивающих преобразование переменного тока в постоянный ток [1].

Принципиальные схемы систем электроснабжения, соответствующие перечисленным случаям изображены на рис. 1.

В таких СЭС возникает необходимость ограничения токов короткого замыкания путем применения токоограничивающих устройств. Конструкций токоограничивающих устройств достаточно много. Часть из них производится в РФ, часть за рубежом. Имеются устройства, которые уже нашли широкое применение в системах электроснабжения. Также имеются новые разработки, среди них есть устройства, которые проходят эксплуатационные испытания, стадию ОКР или стадию НИР. Каждое из них обладает преимуществами и недостатками.

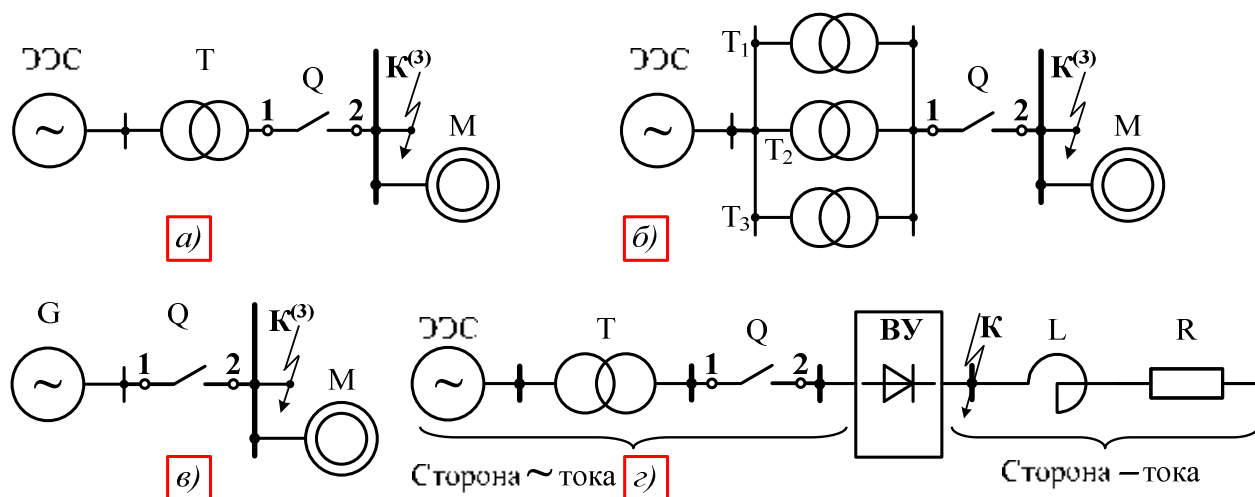


Рис. 1. Системы электроснабжения с большими токами КЗ:

a – СЭС с мощной п/ст за счёт увеличенной единичной мощности силового трансформатора до $S_n = 4$ МВА; *б* – СЭС с мощной п/ст за счёт включения нескольких силовых трансформаторов на параллельную работу; *в* – судовая электроэнергетическая система, где в качестве источника питания служит мощный генератор *G*;

г – СЭС с мощным преобразователем; ЭЭС – электроэнергетическая система бесконечной мощности; *T* – силовой трансформатор с предельным значением номинальной мощности; T_1, T_2, T_3 – группа трансформаторов большой номинальной мощности включаемых в параллель; *M* – эквивалентный по мощности электродвигатель, соответствующий суммарной мощности одновременно работающих электродвигателей; *Q* – полюс аппарата — жидкометаллический токоограничитель - автоматический выключатель; **1** – вывод токоограничителя; **2** – вывод автоматического выключателя; $K^{(3)}$ – место трёхфазного КЗ; **ВУ** – вентильное устройство; *L* – реактор; *R* – активная нагрузка; **К** – место КЗ.

Возникает задача выбора токоограничивающих устройств в соответствии с требованиями СЭС. Конкретные рекомендации по выбору можно дать на основании сравнительного анализа известных токоограничивающих устройств, их классификации, определения преимуществ и т.п. Результаты могут быть полезны для формирования технической политики в этом направлении, для разработчиков токоограничивающих устройств, бизнеса, государственных органов [2].

Все устройства ограничения можно разделить на две большие группы: многофункциональные и узкофункциональные:

1. Многофункциональные токоограничивающие устройства.

Эти токоограничивающие устройства наряду с функцией ограничения токов короткого замыкания осуществляют ряд других функций. В эту группу отнесем:

1.1. Быстродействующие автоматические выключатели и предохранители. Они отключают электрическую сеть при повреждении и могут ограничивать при этом ток короткого замыкания.

1.2. Взрывные предохранители. Они представляют собой устройства, в которых плавкая вставка в аварийном режиме разрушается под действием взрывного заряда. Контроль тока в цепи осуществляется датчиком тока. При коротком замыкании датчик выдает сигнал для срабатывания взрывного устройства, расположенного внутри плавкой вставки трубчатой формы. В результате взрыва вставка разрушается. Электрическая дуга гасится. Электрическая цепь отключается.

1.3. Полупроводниковые выключатели. Полупроводниковые выключатели не уступают по отключающей способности взрывным предохранителям.

2. Узкофункциональные токоограничивающие устройства.

Эти устройства выполняют одну функцию: ограничение тока короткого замыкания. Такие устройства могут использоваться в качестве альтернативы многофункциональным токоограничивающим устройствам для обеспечения надежности СЭС при высоких значениях токов короткого замыкания. В эту группу отнесем:

2.1. Неэнергосберегающие токоограничивающие устройства.

2.1.1. Токоограничивающий реактор. Это традиционное устройство, получившее широкое распространение в электроэнергетике. В нормальном режиме они создают дополнительные потери электроэнергии. Это ограничивает их применение.

2.1.2. Токоограничивающие устройства резонансного типа. Резонансные токоограничивающие устройства (РТОУ) основаны на использовании эффекта резонанса при рабочих режимах соответствующей цепи и расстройке резонанса при аварийных режимах.

2.2. Энергосберегающие токоограничивающие устройства.

Представляют собой токоограничивающий резистор, зашунтированный в нормальном режиме быстродействующим электрическим аппаратом. Таким как

полупроводниковый выключатель, предохранитель взрывного типа, сверхпроводниковый ограничитель тока, бесконтактный углеродный ограничитель тока, жидкометаллический самовосстанавливающийся предохранитель.

2.2.1. Сверхпроводниковые ограничитель тока (COT). Основным рабочим элементом устройства является сверхпроводник. Он увеличивает свое сопротивление в несколько тысяч раз при скачке тока и снижает ток до безопасного уровня. Это происходит за счет физических свойств материала сверхпроводника.

2.2.2. Бесконтактный углеродный ограничитель тока. Основным элементом конструкции БУТ являются тонкие, толщиной около 1 мкм наноструктурированные углеродные пленки, нанесенные на кварцевую подложку. Переключение их состояния с низким сопротивлением в состояние с высоким происходит за время порядка 100 мкс. По информации [3] разработка БУТ и последующее его внедрение в различных отраслях может оказаться настоящим прорывом России в области хайтека, а также создать базис для экспансии данных российских технологий на глобальном рынке.

2.2.3. Жидкометаллический самовосстанавливающийся предохранитель (ограничитель тока). ЖСП – это электрический аппарат, подобный обычному плавкому предохранителю, в котором в качестве плавкого элемента применяется жидкий металл, (индий, галлий, ртуть, щелочные металлы и т.п.) расположенный в канале диэлектрической втулки. При протекании по жидкометаллической плавкой вставке тока короткого замыкания она испаряется, вызывая взрывообразное повышение давления. При высоком давлении пары металла обладают значительным сопротивлением. В результате ток резко ограничивается. После чего в канале образуется электрическая дуга, которая гасится при естественном переходе тока через нулевое значение. После остывания и конденсации паров жидкого металла электрическая цепь восстанавливается [1].

Список литературы

1. Кузнецов А.В. Жидкометаллические предохранители и инвестиционная привлекательность их разработки. / А.В.Кузнецов - М: Энергоатомиздат, 2006 – 297 с.
2. Елагин П. Коммутационные ограничители тока. Новые устройства для защиты электрооборудования // Новости электротехники. 2004. - № 4 (28).
3. Андриянов Н.И. Бесконтактный углеродный переключатель — ограничитель тока как элемент системы управления электрическими сетями и их защиты в технологии smart grid/ Н.И. Андриянов, С.П. Юркевичюс, С.В. Генералова// Инноватика и экспертиза. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. 2015. - № 1 (14).
Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90307.

©, Кузнецов А.В., Юренков Ю.П., – 2020

УДК 621.314

ДИАГНОСТИКА ВНУТРЕННИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗ ВЫВОДА ИЗ РАБОТЫ

Кулешова Галина Сергеевна, аспирант, ассистент, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, 111250 г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: AlekseenkovaGS@mail.ru

Янченко Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, 111250 г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: Yanchenko_SA@mail.ru

Аннотация

В статье описана суть метода частотного анализа для диагностики внутренних повреждений силовых трансформаторов, а также определены проблемы реализации данного метода без отключения трансформатора от энергосистемы с целью повышения энергоэффективности.

Ключевые слова

частотная характеристика, силовой трансформатор, диагностика внутренних повреждений, диагностика без отключения, энергоэффективность.

INTERNAL FAULTS DIAGNOSTIC OF THE TRANSFORMER BASED ON FREQUENCY RESPONSE WITHOUT DISCONNECTING FROM OPERATION

Kuleshova Galina Sergeevna, graduate student, assistant, National Research University MPEI, Russia, 111250 Moscow, ul. Krasnokazarmennaya, 14, e-mail: AlekseenkovaGS@mail.ru

Yanchenko Sergey Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Research University MPEI, Russia, 111250 Moscow, ul. Krasnokazarmennaya, 14, e-mail: Yanchenko_SA@mail.ru

Annotation

The article describes the essence of the frequency response analysis method for diagnosing internal faults to power transformers, and also identifies the problems of implementing this method without disconnecting the transformer from the power system in order to increase energy efficiency.

Keywords

frequency response, power transformer, internal damage diagnostics, on-off diagnostics, energy efficiency.

Своевременная диагностика силовых трансформаторов (СТ) является важной и актуальной задачей в виду того, что СТ является одним из наиболее

ответственных и дорогостоящих элементов системы электроснабжения. В процессе эксплуатации могут происходить нарушения в работе различных элементов СТ, которые в последствии могут привести к возникновению и развитию аварийных ситуаций и значительным убыткам. К наиболее частым повреждениям, приводящим к аварийному отключению СТ, относятся внутренние повреждения – повреждения активной части (обмоток и магнитопровода) [7].

В настоящее время наряду с другими методами для оценки состояния активной части СТ используется метод частотного анализа (МЧА), как наиболее чувствительный к таким видам повреждений как осевые и радиальные деформации обмоток, смещение обмоток, межвитковые короткие замыкания, деформации магнитопровода [5].

Для проведения диагностики состояния СТ по МЧА необходимо вывести СТ из работы (отключить от сети и снять нагрузку), а затем подать на один из выводов первичной обмотки зондирующий сигнал от генератора помех. Отклик (реакцию обмотки на входной сигнал) или выходной сигнал можно регистрировать с другого конца той же обмотки или с одноименного вывода вторичной обмотки. Отношение входного и выходного сигналов в широком частотном диапазоне (от 20 Гц до 2 МГц) представляет собой уникальную частотную характеристику (ЧХ), которая обладает высокой чувствительностью к различным типам внутренних повреждений СТ (рис.1). Суть МЧА состоит в том, чтобы диагностировать конкретное внутреннее повреждение по изменениям в форме ЧХ, которая в значительной степени определяется конструкцией магнитной системы и обмоток СТ [8].

К основным ограничениям использования МЧА можно отнести следующие:

- 1) сложность интерпретации полученных откликов и анализа ЧХ для правильной оценки состояния СТ;
- 2) необходимость отключения СТ от энергосистемы для проведения диагностики (проведение измерений в автономном режиме).

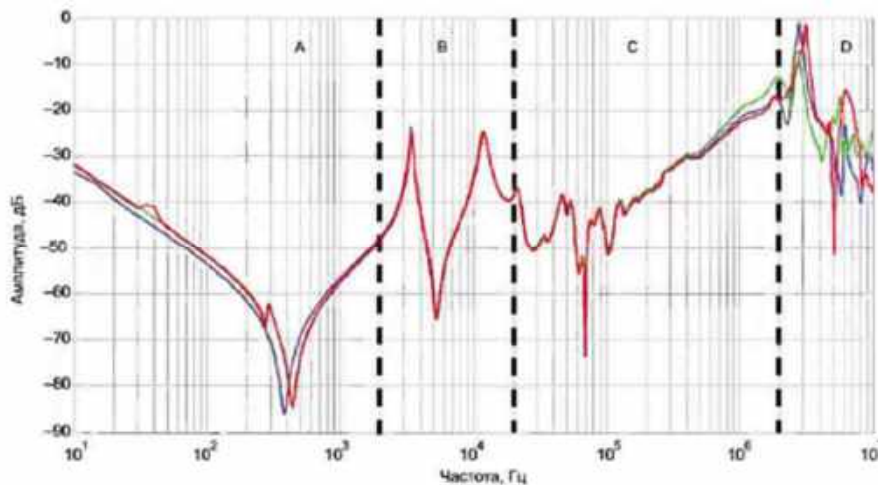


Рис.1. ЧХ силового трансформатора

Для устранения первого ограничения был достигнут прогресс в интерпретации ЧХ, полученных с использованием моделей СТ, которые не только способны воспроизводить тот же частотный отклик, что и реальный СТ, но и представляют фактические электромагнитные явления, возникающие в реальном СТ [1]-[3]. Также существуют исследования, позволяющие проводить анализ форм ЧХ с помощью различных коэффициентов [1]-[2]. Кроме того, большое практическое значение для анализа ЧХ имеют результаты исследований рабочей группы СИГРЭ [4].

Необходимость отключения СТ от энергосистемы приводит к высоким затратам и снижению надежности электроснабжения, поэтому оценка состояния по МЧА проводится только при возникновении подозрения о наличии внутреннего повреждения СТ, а не в порядке планового техобслуживания. В условиях перехода от системы организации планово-предупредительных ремонтов к организации ремонтов по фактическому техническому состоянию электрооборудования электрических сетей в России диагностика СТ по МЧА без отключения имеет большие преимущества [6].

При внедрении диагностики по МЧА без отключения возникает ряд проблем, связанных с наличием подключения СТ к энергосистеме.

Во-первых, диагностика выполняется под напряжением, что делает само измерение более сложным как с точки зрения осуществления

(электробезопасность персонала при выполнении измерений), так и с точки зрения достоверности полученных результатов измерений (присутствие электрических помех от энергосистемы).

Во-вторых, когда СТ остается подключенным к энергосистеме во время измерения, измеряемый отклик является реакцией всей системы, что приводит к необходимости вычленения реакции самого СТ из суммарного отклика и как следствие усложнению интерпретации результатов измерений.

В-третьих, подключение генератора помехи для проведения диагностики по МЧА может оказывать влияние на работу энергосистемы.

Кроме того, необходимо обеспечить повторяемость результатов измерений без отключения. Так как форма ЧХ на высоких частотах сильно зависит от параметров измерительной аппаратуры, положение измерительных щупов и сопротивления измерительных кабелей должны соответствовать эталонному случаю (случаю получения эталонной ЧХ трансформатора), что в реальных условиях на работающем СТ выполнить проблематично.

Перечисленные проблемы приводят к особым трудностям в реализации МЧА без вывода из работы и требуют научных исследований. Проведение оценки состояния СТ без их вывода из работы приведет к более эффективной эксплуатации энергосистемы, повышению энергоэффективности, обеспечению высокой надежности и сравнительно недорогого обслуживания.

Список литературы

1. E. Gomez-Luna, G. Aponte Mayor, C. Gonzalez-Garcia, J. Pleite Guerra. Current Status and Future Trends in Frequency-Response Analysis With a Transformer in Service. // <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6412763&isnumber=6484160>

2. P. Picher, S. Tenbohlen, M. Lachman, A. Scardazzi, P. Patel. Current state of transformer FRA interpretation: On behalf of CIGRE WG A2.53. // URL <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.689>

3. Алексеенкова Г.С., Янченко С.А. Диагностика внутренних повреждений трансформатора методом частотного анализа без отключения от сети // XXVI Международная научно–техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», 2020.

4. Брошюра СИГРЭ № 342. Mechanical condition assessment of transformer windings using frequency response analysis (FRA), WG A2.26, 2008 // URL https://tuxdoc.com/download/cigre-3422008_pdf

5. Дробышевский А. А. Электродинамическая стойкость трансформаторов и методы оценки механического состояния обмоток в эксплуатации // URL <http://news.elteh.ru/arh/2010/65/09.php>

6. Распоряжение Правительства РФ от 29.11.2017 N 2664-р «О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 N 511-р» // URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201712010007>

7. Хренников А.Ю., Гольдштейн В.Г. Классификация основных видов дефектов и повреждений трансформаторно-реакторного оборудования и факторов, приводящих к их возникновению // URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=11563364>

8. Хренников А. Ю. Методы низковольтных импульсов и частотного анализа для контроля механического состояния обмоток силовых трансформаторов // URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=12501675&>

©, Кулешова Г.С., Янченко С.А., – 2020

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦ В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ХОЗЯЙСТВАХ

Пташкина-Гирина Ольга Степановна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», г. Троицк, Челябинской области, ул. Гагарина, д. 13, e-mail: girina2003@mail.ru

Волкова Ольга Сергеевна, ассистент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», г. Троицк, Челябинской области, ул. Гагарина, д. 13, e-mail: olgamezhenina@mail.ru

Аннотация

Актуальность исследования заключается в разработке методов управления микроклиматом небольших приусадебных теплиц, автоматизация которых слабо представлена на рынке услуг. Проведен анализ потребности в автоматизированных приусадебных теплицах на территории Челябинской области. Предложен алгоритм системы управления микроклиматом теплицы.

Ключевые слова

микроклимат, теплица, система автоматического управления микроклиматом теплиц

GREENHOUSE CLIMATE CONTROL SYSTEM IN INDIVIDUAL FARMS

Ptashkina-Girina Olga Stepanovna, candidate of technical Sciences, associate Professor, South Ural state agrarian University, Troitsk, Chelyabinsk region, Gagarin street, 13, e-mail: girina2003@mail.ru

Volkova Olga, assistant, South Ural state agrarian University, Troitsk, Chelyabinsk region, 13 Gagarin street, e-mail: olgamezhenina@mail.ru

Annotation

The relevance of the research lies in the development of engineering methods for managing the microclimate of small backyard greenhouses, the automation of which is poorly represented in the market of services. The analysis of the need for automated greenhouses in the Chelyabinsk region is carried out. The algorithm of the greenhouse microclimate control system is proposed.

Keywords

microclimate, greenhouse, automatic control system of greenhouse microclimate

Анализ потребления продуктов населением Челябинской области показал, что в рационе преобладают овощи, фрукты и ягоды (рис. 1), скорее всего это связано с влиянием здорового образа жизни и основ правильного питания среди населения области.

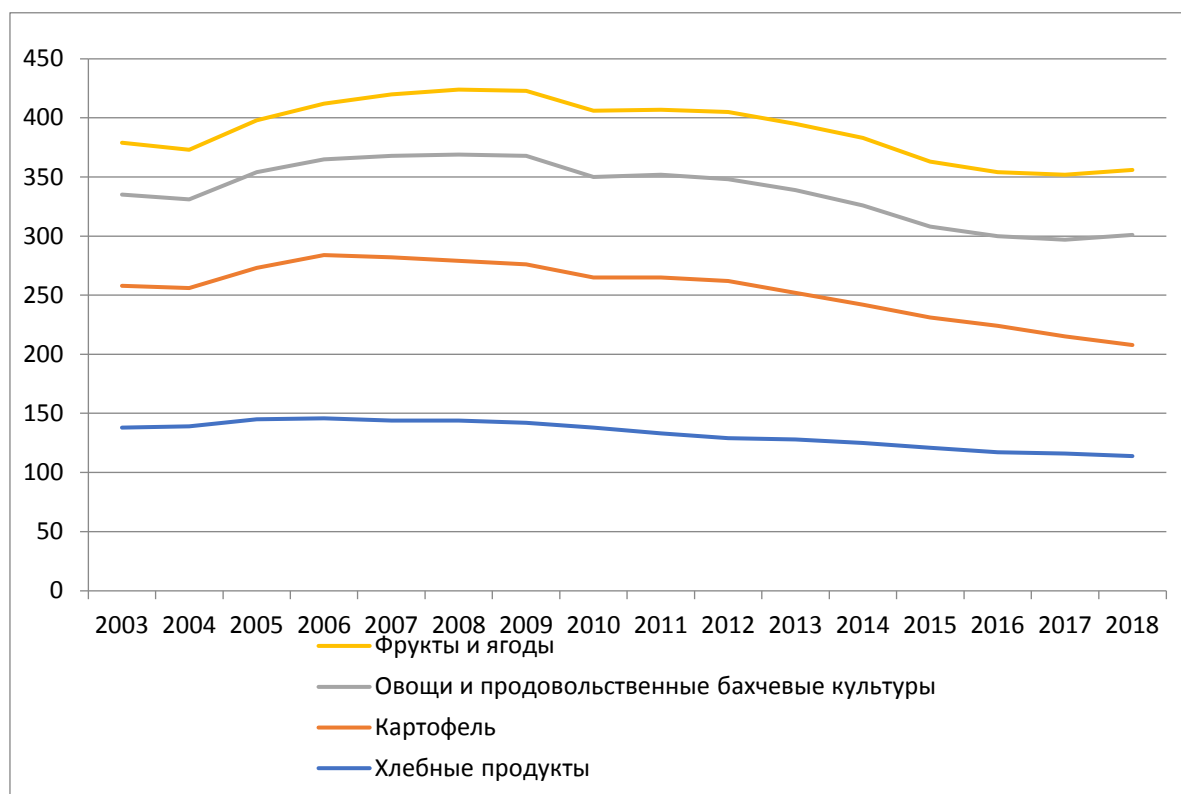


Рисунок 1. Потребление продуктов растениеводства населением Челябинской области [1].

С другой стороны, производители Челябинской области не могут полностью обеспечить население продуктами собственного производства и

дефицит продуктов питания покрывается поставками продукции из других регионов страны или других стран (рис. 2). Таким образом, увеличение производства овощей внутри области приведет к здоровой конкуренции на рынке.

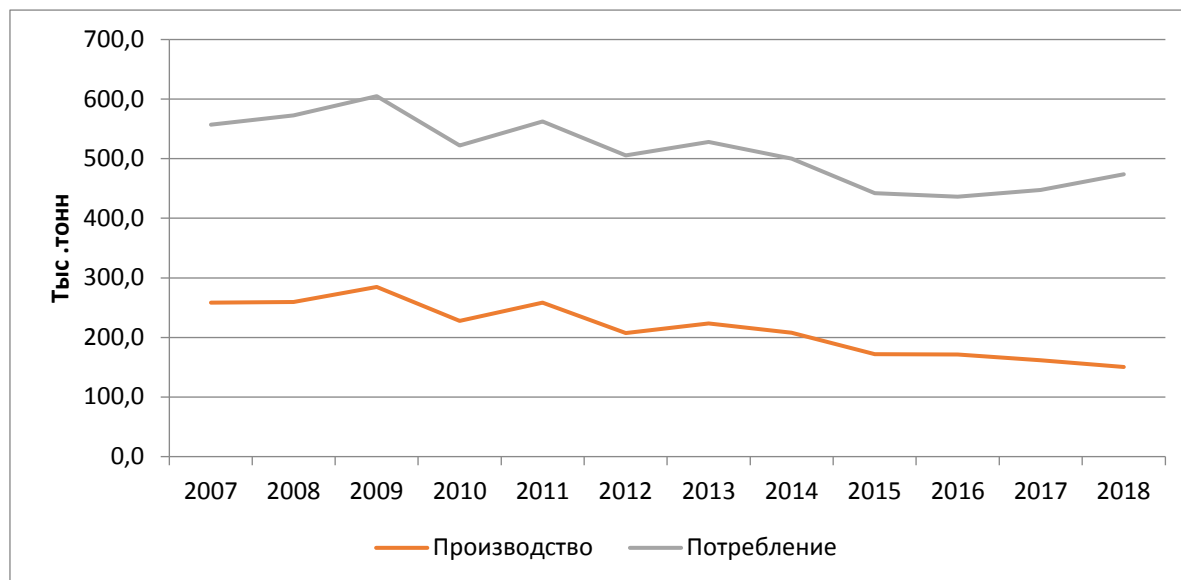


Рисунок 2. Балансы производства и потребления овощей и продовольственных бахчевых культур [1]

Согласно статистической информации об итогах работы сельского хозяйства за 2019 год в структуре посевной площади на хозяйства населения приходится 6,4 %. Однако в общем объеме производства овощей стабильно преобладает доля хозяйств населения, ими собрано 55,5% общего сбора по области. Из овощей население предпочитает выращивать капусту (26,7%) томаты (18,8%), морковь (17,7%), свеклу (11,1%) и огурцы (6,4%) [1].

Климатические особенности Южного Урала вносят свои коррективы в земледелие [2]. Так, если картофель, капуста, морковь, свекла могут вырасти в наших условиях в открытом грунте, то рост томатов и огурцов может быть замедлен и урожайность низкая. Для создания условий вегетации томатов и огурцов, обеспечивающих высокую урожайность, применяются теплицы.

Хозяйства населения, на которые приходится половина сбора урожая овощей, в основном применяют пленочные парники или стационарные поликарбонатные (или стеклянные) теплицы без систем автоматизации, что приводит к трудностям в процессе их эксплуатации в период вегетации растений.

Таким образом, разработка системы автоматизации управления микроклиматом небольших (приусадебных, фермерских) теплиц является актуальной для нашего региона.

Целью работы является разработка недорогой системы управления, обеспечивающей требуемый микроклимат в приусадебной теплице при выращивании овощей, так как именно экономический аспект способен привлечь потенциальных потребителей установить в садоводческих теплицах систему автоматизации.

Анализ существующих алгоритмов управления параметрами микроклимата через соответствующее электротехнологическое оборудование в условиях защищенного грунта показал, что для небольших приусадебных теплиц, основными параметрами, требующими средств автоматизации, являются освещенность, температура и влажность [3].

С целью настройки системы автоматизации для приусадебной теплицы был изготовлен макет теплицы, в котором искусственно создаются требуемые параметры микроклимата, датчики подают сигналы на исполнительные механизмы через контроллер на базе Arduino. Это позволяет настроить работу системы для заданных параметров, используя недорогую, простую и понятную среду программирования [4].

Предлагаемая модель работает по алгоритму, представленному на рисунке 3, прототипом которого послужил алгоритм [5]:

- 1) измерение и регулирование температуры внутри теплицы

Температура воздуха в теплице составляет $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и измеряется при помощи термопреобразователя сопротивления типа DS18B20. При снижении температуры ниже $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ подается сигнал на включение (увеличение скорости подачи греющего теплоносителя) системы отопления. При увеличении температуры выше $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ подается на сервопривод, тем самым открывая форточку теплицы.

- 2) измерение и регулирование влажности почвы внутри теплицы

В теплице установлен датчик влажности почвы, при снижении последней – включается система автоматического полива из резервуара, в котором установлен кондуктометрический датчик уровня. Сигнал с датчика подается на контроллер «Arduino» и при условии, что уровень воды в баке выше минимального значения, произойдет включение насоса автополива.

3) контроль освещения в теплице

На пульте управления находится фоторезистор MLG5516В. При недостаточной освещенности, контролер подает напряжение для питания светодиодных светильников.

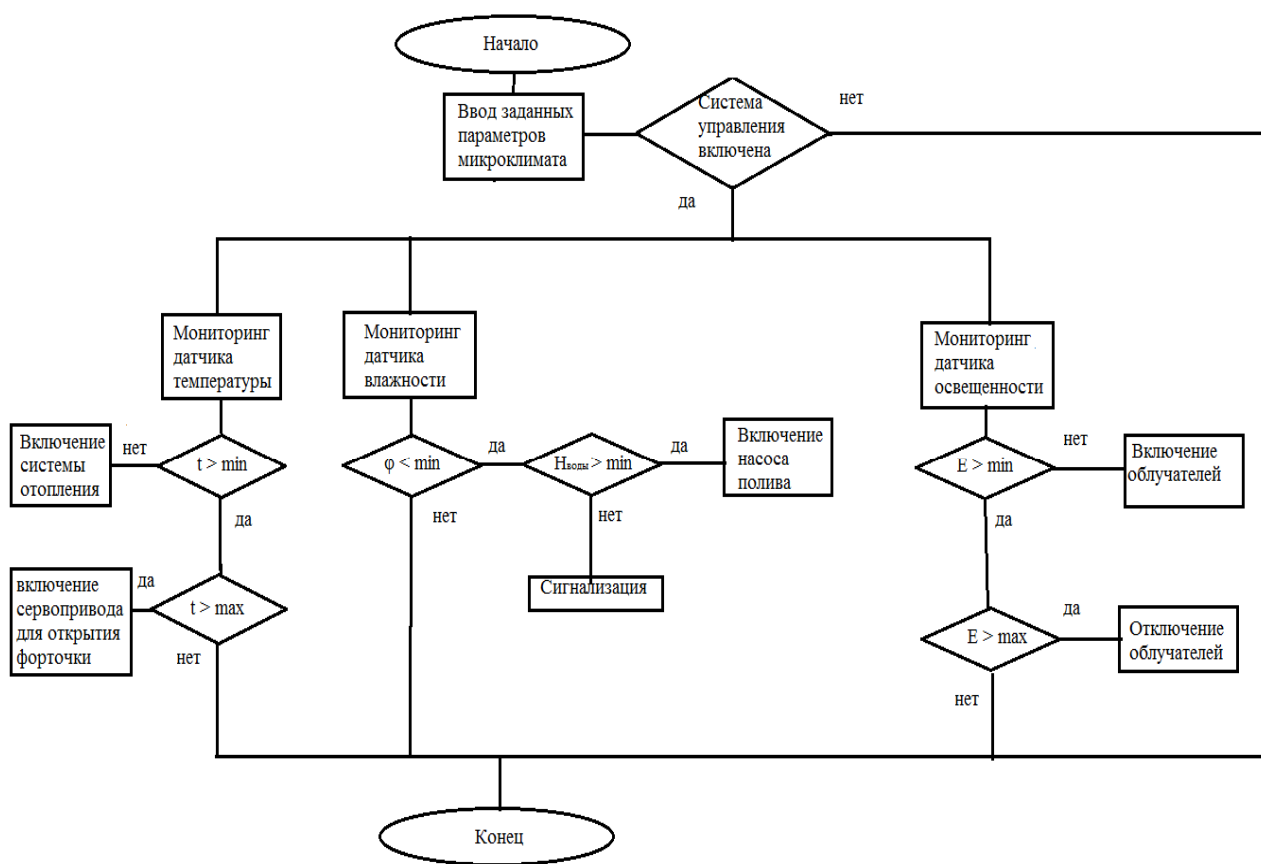


Рисунок 3. Алгоритм системы управления небольших приусадебных теплиц

В дальнейшем предлагается проводить исследования параметров в зависимости от фазы роста выращиваемых растений с целью обеспечения высокой урожайности и применения энергосберегающих режимов.

Список литературы

1. Сельское хозяйство Челябинской области // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Челябинской области // <https://chelstat.gks.ru/> дата обращения 25.03.2020
2. Шерьязов С. К., Пташкина-Гирина О. С. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве [Текст]: учеб. пособие / С. К. Шерьязов, О. С. Пташкина-Гирина. – Челябинск : ЧГАА, 2013. С. 173–205.
3. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации / Б.В. Шандров – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
4. Шишмарев В.Ю. Основы автоматического управления / В.Ю. Шишмарев – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.
5. Логинов В.В. Повышение эффективности работы электрооборудования для систем поддержания микроклимата в сооружениях защищенного грунта автореферат дис.... канд. техн. наук «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства», Москва, 2016.

©, Пташкина-Гирина О.С., Волкова О.С., – 2020

УДК 621.577

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ИСТОЧНИКЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ РАБОТЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Пташкина-Гирина Ольга Степановна, кандидат технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный аграрный университет, 454080, Россия г. Челябинск, пр. Ленина, 75, e-mail: girina2002@mail.ru

Гусева Ольга Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный аграрный университет, 454080, Россия г. Челябинск, пр. Ленина, 75, e-mail: gusevaoa2010@mail.ru

Козырев Дмитрий Владимирович, аспирант, Южно-Уральский государственный аграрный университет, 454080, Россия г. Челябинск, пр. Ленина, 75, e-mail: dmitros.kovarne@gmail.com

Аннотация

Одной из перспективных технологий, использующей возобновляемую низкопотенциальную тепловую энергию является система децентрализованного отопления на базе теплонасосных установок (ТНУ). В докладе рассматриваются вопросы взаимодействия испарителя с источником низкопотенциальной тепловой энергии в климатических условиях России и Южного Урала.

Ключевые слова

тепловой насос, тепловая мощность источника низкопотенциальной энергии, грунт, грунтовые воды.

MODELING OF HEAT EXCHANGE PROCESS IN A LOW-POTENTIAL GEOTHERMAL ENERGY SOURCE DURING OPERATION OF A HEAT PUMP UNIT

Ptashkina-Girina Olga, candidate of technical Sciences, Associate Professor at the Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South Ural State Agrarian University», 454080, Russia, Chelyabinsk, p. Lenina, 75, e-mail: girina2002@mail.ru

Guseva Olga, candidate of technical Sciences, Associate Professor at the Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South Ural State Agrarian University», 454080, Russia, Chelyabinsk, p. Lenina, 75, e-mail: gusevaoa2010@mail.ru

Kozyrev Dmitry, graduate student Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South Ural State Agrarian University», 454080, Russia, Chelyabinsk, p. Lenina, 75, e-mail: dmitros.kovarne@gmail.com

Abstract

One of the promising technologies using renewable low-potential heat energy is a decentralized heating system based on heat pump units (HPU). The main problem with the use of such installations is the unexplored interaction of the evaporator with a source of low-grade thermal energy in the climatic conditions of Russia and the South Urals.

Keywords

heat pump, heat power of a source of low potential energy, soil, groundwater.

Все чаще в современном мире возникает борьба за традиционные энергоресурсы, влияющая на развитие мировых отношений. Исходя из увеличения спроса на энергоресурсы и ограниченности запасов топлива (нефть, газ, уголь и др.) можно с уверенностью утверждать о возрастающем интересе к альтернативным возобновляемым источникам энергии (ВИЭ).

Все установки ВИЭ используют либо прямую энергию солнца, либо косвенную. К одной из косвенных энергий солнца относится низкопотенциальная тепловая энергия грунта, водоемов, рек и воздуха, представляющую собой рассеянную аккумулированную солнечную энергию.

Количество установленных тепловых насосов в Европе приближается к 10 миллионам. В России до сих пор относятся к ТНУ с недоверием. По данным отчета Европейской ассоциации по тепловым насосам (The European Heat Pump Association, ЕНРА) в 2015 г. европейский рынок тепловых насосов вырос на 10 % по сравнению с данными 2014 г. (рис. 1) [1].

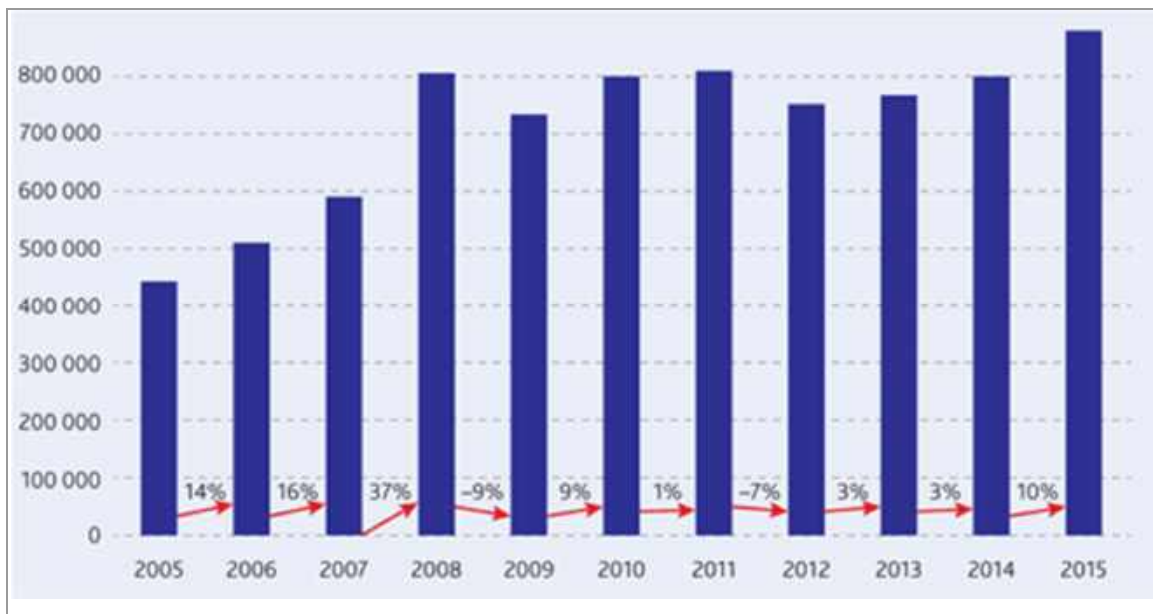


Рисунок 1. Статистика продаж тепловых насосов в Европе в 2005-2015 гг. [1].

В качестве источника низкопотенциальной энергии в Европе в основном служит окружающий воздух, т. е. работает система воздух-вода или воздух-воздух. На такие системы приходится до 95 % ТНУ. Это можно объяснить более низкой стоимостью воздушных систем по сравнению с геотермальными. Для обустройства последних требуется более дорогое оборудование из-за необходимости укладки геотермального поля или бурения скважин. Статистика производства тепловых насосов представлена на рисунке 2.

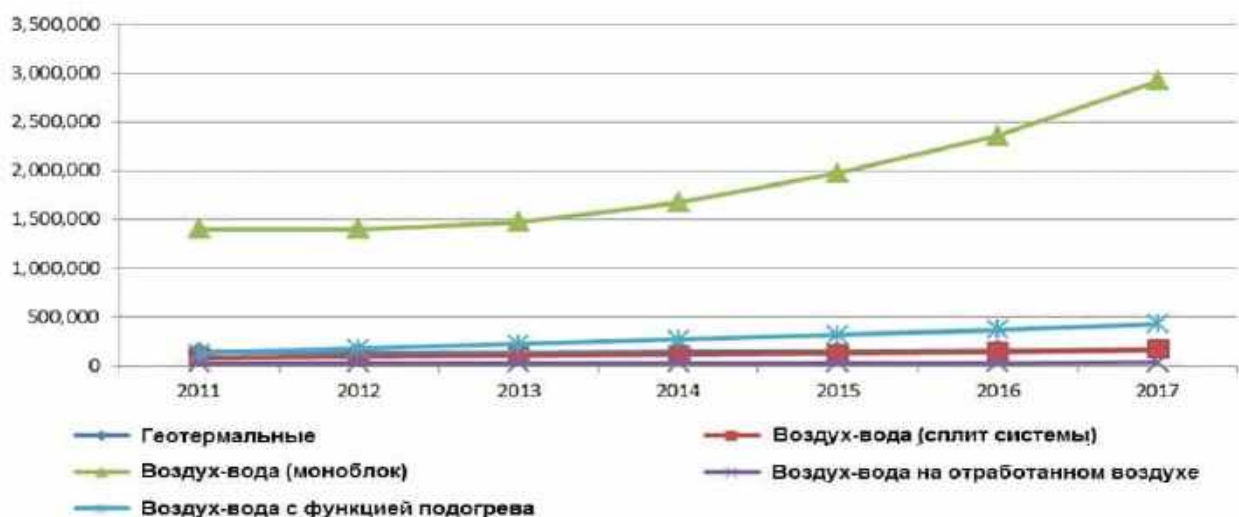


Рисунок 2. Статистика производства тепловых насосов типа грунт-вода и воздух-вода за последние 8 лет [2]

По объемам производства установок лидируют США и Китай. Первые – благодаря качеству продукции, вторые – из-за низкой стоимости.

В резко континентальном климате Урала с низкими температурами воздуха в отопительный период предпочтительны геотермальные скважные системы ТНУ

Получение тепла от источника подразумевает необходимость низкотемпературного теплообменного контура. Такие устройства могут быть выполнены как U – образные и коаксиальные теплообменники с косвенным или прямым отбором тепловой энергии.

Проектирование теплонасосных установок напрямую связано с мощностью, которую возможно получить от источника низкопотенциального тепла. С другой стороны, необходимо поддерживать сам источник в работоспособном состоянии при максимальной эффективности получения тепловой энергии. Тепловая мощность позволяет рассчитать протяжённость и количество скважин, необходимое для теплоснабжения потребителя, но расчет данного параметра невозможен без моделирования процессов, происходящих в источнике.

В общем виде для моделирования процессов, происходящих в источнике НПТ необходимо использовать уравнение теплопроводности [3]:

$$\alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] = \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (1)$$

Уравнение теплопроводности — дифференциальное уравнение в частных производных второго порядка $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$, которое описывает распределение температуры в заданной области пространства и ее изменение во времени $\frac{\partial T}{\partial t}$, α – коэффициент температуропроводности среды.

В 1882 году Кельвин впервые разработал модель теплообмена для бесконечного стержня, которая подразумевается, как классическое решение уравнения теплопроводности.

Нахождение частного решения этого дифференциального уравнения является задачей моделирования процессов теплообмена.

Исследование работы ТНУ проводилось на базе предприятия ООО «КЭП Лаборатория вариаторов», специализирующимся на производстве холодильных агрегатов, генераторов льда, промышленных ТНУ и прочих машин для пищевой промышленности. Одним из первых проектов в этой области было отопление участка сборки. Участок имел малые потери тепла через ограждающие конструкции из-за подземного расположения [5].

Следует заметить, что предприятие располагается в долине реки Миасс с хорошим дренажем подземного стока, что создает хороший тепловой поток грунтовых вод и положительно сказывается на эффективности работы ТНУ.

ТНУ базируется на спиральном компрессоре фирмы “Coorland” серии ZN, спроектированной специально для тепловых насосов. Установленная мощность ТНУ составила 8 кВт. Мощность компрессора 2 кВт. Коэффициент преобразования составил от 3,8 до 4,7 в зависимости от разности температур системы отопления и источника тепловой энергии.

Использование скважины в качестве источника тепла сопряжено с несколькими расчётными параметрами, которые можно рассчитать из модели предложенной П. Эскелсоном [3]: время переходного процесса, время достижения стационарного теплообмена, средняя температура фреона, средняя температура фреона в установившемся режиме.

Расчёт производится для глубины скважины в 60м (Н), диаметр 190 мм. Начальные условия среды: температура грунта в скважине (T_g) 8°C, средняя теплопроводность грунтов в открытом стволе скважины (k) 2,46 Вт/м К, плотность (ρ) 2600 кг/м³, теплоёмкость (C_p) 2700 Дж/кг К, сопротивление теплопередачи (R) 0,1 м² К/Вт, холодильная мощность установки 4600 Вт.

В результате расчёта получали, что при работе в скважине без грунтовых вод для отопления исследуемого здания достаточно двух скважин, при наличии подземных вод количество скважин сокращается до одной.

Для исследования влияния состояния источника энергии и интенсивности восстановления теплового поля после отбора энергии на режим работы ТНУ был изготовлен многофункциональный стенд, позволяющий имитировать режим работы ТНУ и источника тепловой энергии [4].

Задачей последующих исследований является разработка математической модели, позволяющей рассчитать режимы работы ТНУ при любых климатических условиях объекта отопления и источника энергии.

Список литературы

1. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6506
2. <https://vteple.xyz/ispolzovanie-teplovyih-nasosov-v-mire/>
3. Claesson J, Eskilson P, Conductive Heat Extraction by a Deep Borehole. Thermal Analyses and Dimensioning Rules. Dep. of - - Mathematical Physics, University of Lund, Box 118, S-221 00 Lund, Sweden (1987).
4. Низамутдинов Р.Ж., Козырев Д.В., Пташкина-Гирина О.С. Многофункциональный стенд теплонасосной установки. В сборнике: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ - АГРОПРОМЫШЛЕННОМУ КОМПЛЕКСУ РОССИИ. Материалы международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО "Южно-Уральский государственный аграрный университет". 2017. С. 208-215.
5. Пташкина-Гирина О.С., Низамутдинов Р.Ж., Козырев Д.В. Исследование режимов работы теплонасосной установки на многофункциональном стенде. В сборнике: Наука ЮУрГУ материалы 69-й научной конференции : секции технических наук. Министерство образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет. 2017. С. 327-333.

©, Пташкина-Гирина О.С., Гусева О.А., Козырев Д.В., – 2020

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ
ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМУ РАЗВИТИЮ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Семенова Наталья Геннадьевна, кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор, Оренбургский государственный университет, 460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы, 13, e-mail: ng_sem@mail.ru

Аннотация

Выявлены особенности функционирования СЭС. Выделены три этапа процесса принятия решения: формирование альтернативы, оценка альтернативы, выбор наилучшей альтернативы. Предложены модели и методы реализации каждого этапа в процессе разработки автоматизированной системы поддержки принятия решения по энергоэффективному развитию СЭС.

Ключевые слова

энергоэффективное развитие/функционирование, система электроснабжения, система поддержки принятия решения.

**MODELS AND METHODS OF DECISION-MAKING
ON ENERGY EFFICIENT DEVELOPMENT OF POWER SUPPLY
SYSTEMS**

Natalya Gennadyevna Semyonova, Candidate of Technical Sciences, doctor of pedagogical sciences, professor, Orenburg state university, 460018, Russia, Orenburg, Pobedy Ave., 13, e-mail: ng_sem@mail.ru

Summary

Features of functioning of SES are revealed. Three stages of process of decision-making are allocated: formation of an alternative, alternative assessment, choice of the best alternative. Models and implementation methods of each stage in the course of

development of the automated system of support of decision-making on energy efficient development of SES are offered.

Keywords

energy efficient development / functioning, power supply system, system of support of decision-making.

Одним из важнейших показателей электроэнергетики страны является техническое состояние систем электроснабжения (СЭС), имеющих следующие особенности, которые необходимо учитывать при оценке вариантов развития СЭС: 1) Высокая степень износа оборудования (парк изношенного оборудования составляет в некоторых районных СЭС более 50 и даже 70%); 2) Большой объем номенклатуры современного оборудования с разными технико-экономическими характеристиками; 3) Необходимость учета возросших социально-экономических требований к СЭС и финансовых ограничений; 4) Множество формируемых, возможных вариантов (альтернатив) развития/функционирования СЭС.

На основании вышесказанного, актуальным и значимым становится разработка и внедрение автоматизированных систем поддержки принятия решения (СППР), использование которых позволит: обрабатывать большие объемы информации с возможностью ранжирования вариантов развития СЭС и учётом возросших социально-экономических требований; сократить время на принятие решения; повысить обоснованность принятого решения за счет всестороннего анализа и оценки каждой сгенерированной альтернативы развития СЭС.

Анализ научно-технической литературы в области принятия решения, позволил выделить три основных этапа процесса принятия решения по развитию СЭС: формирование альтернатив, оценка альтернатив, выбор наилучшей альтернативы по энергоэффективному развитию СЭС. Кратко охарактеризуем каждый этап принятия решения.

1. Формирование альтернатив. На 1-м этапе выделены следующие операционные действия: разработка базы данных номенклатуры оборудования; формирование банка возможных альтернатив в соответствии с решаемой задачей.

1.1 Разработка базы данных. Предложено создавать базу данных реляционного типа, позволяющую структурировать номенклатуру оборудования по основным их свойствам, характеристикам и параметрам, с установлением семантических связей между ними, например: «Количество линий» $L\{l_1, l_2, \dots, l_m\}$; «Расстояние до источника питания» $D\{d_1, d_2, \dots, d_z\}$; «Тип проводника» $W\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$; «Количество цепей» $C\{c_1, c_2, \dots, c_k\}$; «Тип опоры» $P\{p_1, p_2, \dots, p_j\}$; «Сечение провода» $F\{f_1, f_2, \dots, f_g\}$; «Номер схемы подстанции» $S\{s_1, s_2, \dots, s_i\}$; «Тип выключателя» для стороны высшего и низшего напряжения подстанции $V_{ВН}\{b_{ВН_1}, b_{ВН_2}, \dots, b_{ВН_h}\}$ и $V_{НН}\{b_{НН_1}, b_{НН_2}, \dots, b_{НН_h}\}$; «Мощность трансформатора» $T\{t_1, t_2, \dots, t_v\}$ и т.д. [2].

1.2 Формирование банка возможных альтернатив подразумевает генерирование кортежей, включающих в себя вариативные совокупности параметров элементов оборудования СЭС. При этом каждая альтернатива развития СЭС представляет собой совокупность согласованных параметров, выбираемых из возможного множества значений, внесённых в реляционную базу данных. Формирование возможных альтернатив предлагается осуществлять методами поиска решений исчерпыванием всевозможных вариантов: полного перебора, поиска в глубину, ветвей и границ и т.д.

2. Оценка альтернатив. Второй этап включает в себя следующие операционные действия:

2.1 Выбор/обоснование критериев принятия решения и разработка их математических моделей. Система электроснабжения – динамично развивающаяся система. Для нее характерен непрерывный рост нагрузок, обусловленный появлением новых потребителей, увеличением степени электрификации, повышением требований к социально-культурному уровню жизни и другими факторами. Это приводит к необходимости выработки

нескольких альтернатив развития/ функционирования СЭС и выбору наилучшего решения. В современных условиях, ввиду необходимости учета экономических, технических, социальных, экологических и других требований (третья особенность развития СЭС) предлагается оценку развития СЭС осуществлять на основе многокритериальной модели оценивания.

В качестве системы частных критериев оценки альтернатив по развитию СЭС предложено использовать следующие критерии: экономический (суммарных дисконтированных затрат); технический (годовые потери электроэнергии); технико-экономический (экономических потерь от нарушения в электроснабжении); социально-экологический (площадь изымаемых земель); технико-эксплуатационный (унификации оборудования, ценологии) [1, 2].

Разработку математических моделей частных критериев оценки альтернатив предложено осуществлять на основе нормативных документов в области электроэнергетики, а также с учетом типизации номенклатурных параметров оборудования.

2.2 Многокритериальное оценивание каждой альтернативы. Анализ научно-технической литературы в области многокритериального оценивания технических решений по развитию/функционированию СЭС позволил условно выделить следующие группы методов искусственного интеллекта, используемых для оценивания альтернатив в автоматизированных СППР: методы экспертного оценивания (непосредственной оценки, ранжирования, парных сравнений и т.д.); методы теории нечетких множеств и нечеткой логики, основанных на использовании функции принадлежности; методы искусственных нейронных сетей (обратного распространения ошибки, Хебба и др.); нейро-нечеткие методы (Такаги-Суено-Канга и др.); генетические алгоритмы, основанные на настройке тренировочного цикла для механизма генерации популяции данных (оценка параметров).

В исследованиях научного коллектива Оренбургского государственного университета, работающего в области разработки автоматизированных систем управления электроэнергетическими объектами, применялись все методы,

перечисленные выше [1, 2, 3, 4, 5]. Проведенный сравнительный анализ показал, что наиболее точными являются нейро-нечеткие методы [4], а самыми простыми в программной реализации – методы экспертного оценивания и теории нечетких множеств [1].

3. Выбор наилучшей альтернативы.

3.1 Ранжирование и выбор наилучшей альтернативы по развитию СЭС. В виду того, что многокритериальное оценивание во многих исследованиях рассматривается как оптимизационная задача, то ранжирование альтернатив предложено осуществлять по значению целевой функции:

$$Z(k_1, k_2, k_3 \dots k_n) \rightarrow \text{extr},$$

где $k_1, k_2, k_3 \dots k_n$ – частные критерии оценки альтернативы развития СЭС.

3.2 Оценка результата и принятие решения. Так как СППР применяются для генерирования множества альтернативных вариантов развития СЭС с последующей их оценкой и ранжированием, соответственно, их основным предназначением является представление аргументированной информации руководителю (начальнику) службы технического перевооружения и реконструкции объектов электросетевого хозяйства для выбора адекватного и эффективного варианта развития/функционирования СЭС. СППР не заменяет руководителя, она оказывает только лишь техническую поддержку. Окончательное принятие решения остается за руководителем. Предложенные основные этапы и операционные действия процесса принятия решения по развитию СЭС представлены на рисунке 1.

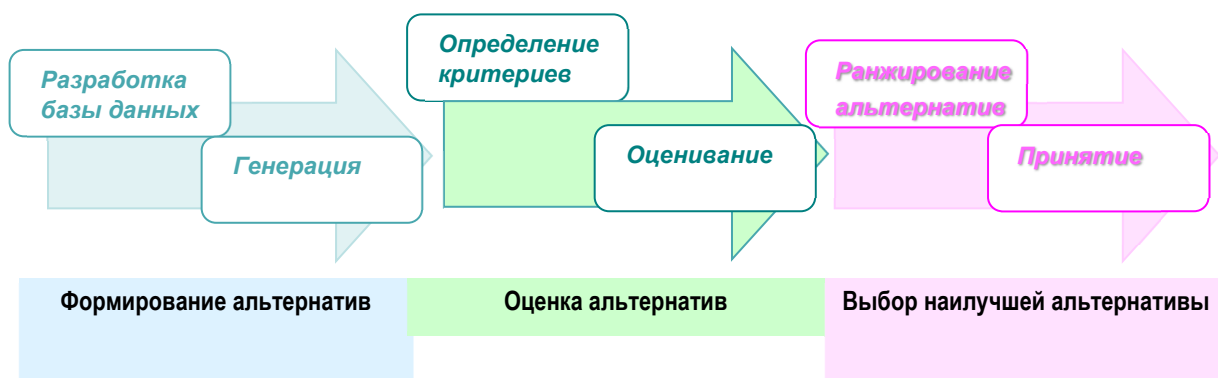


Рисунок 1. Этапы и операционные действия процесса принятия решения по энергоэффективному развитию СЭС

Список литературы

1. Семенова, Л.А. Разработка методики принятия решения по развитию систем электроснабжения с применением техноценологического подхода и теории нечетких множеств: дис. ... канд. тех. наук: 05.14.02. / Семенова Людмила Анатольевна. – Екатеринбург., 2010. – 187 с.

2. Чернова, А.Д. Разработка системы поддержки принятия решения по техническому перевооружению и реконструкции района электрических сетей на основе технологии искусственных нейронных сетей: дис. ... канд. тех. наук: 05.14.02. / Чернова Анастасия Дмитриевна. – Екатеринбург., 2020. – 177 с.

3. Валиуллин, К.Р. Повышение энергоэффективности электротехнических систем уличного освещения: дис. ... канд. тех. наук: 05.09.03. / Валиуллин Камиль Рафкатович. – Магнитогорск., 2019. – 154 с.

4. Семенова, Н.Г. Разработка агентно-ориентированной интеллектуальной обучающей системы на основе нечёткой нейронной сети Такаги-Сугено-Канга / Н. Г. Семенова, И. Б. Крылов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. - 2015. - № 2 (32). - С. 158-166.

5. Влацкая, Л.А. Применение генетических алгоритмов в задачах оптимизации размещения компенсирующих устройств / Л.А. Влацкая, Н.Г. Семенова // Автоматизированные системы и комплексы. – 2019. - № 12. – С. 21-28.

©, Семенова Н.Г., – 2020

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ
ГОРИЗОНТАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ УГЛОВ ОТКЛОНЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ**

Соломин Евгений Викторович, доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет, 454000, Россия, г. Челябинск, ул. Коммуны, д. 69, кв. 110, e-mail: solominev@susu.ru

Ковалёв Антон Александрович, студент-магистрант, Южно-Уральский государственный университет, 454030, Россия, г. Челябинск, пр. Краснопольский, д. 17, кв. 31, e-mail: alpenglow305@yandex.ru

Мирошниченко Алексей Александрович, аспирант, Южно-Уральский государственный университет, 454128, Россия, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, д. 131, кв. 314, e-mail: alex.miroshnichenko@mail.ru

Алаззави Омер Джамал Абдалгбар, аспирант, Южно-Уральский государственный университет, 454128, Россия, г. Челябинск, ул. Сони Кривой 79 А, e-mail: omer.jamal1986@gmail.com

Аннотация

В ветроэнергетике для горизонтально-осевых ветроэнергетических установок (ГО ВЭУ) существует проблема рассогласования угла ориентации, которая приводит к недостаточной выработке электроэнергии. Заключается она в следующем: когда поток ветра огибает вращающиеся лопасти ВЭУ, его направление искажается. В результате прибор для измерения скорости и направления ветра, анеморумбометр, расположенный на конце гондолы, получает сведения, не соответствующие действительности. Из-за чего система управления положением ротора относительно потока ветра разворачивает ротор перпендикулярно ему, но с определённым отклонением, что и приводит к недостаточной выработке электроэнергии, т. к. наибольшая эффективность ГО

ВЭУ достигается при наиболее точной перпендикулярной ориентации ротора по направлению потока ветра. Исследование направлено на изучение природы возникновения рассогласования угла ориентации ГО ВЭУ.

Ключевые слова

Ветроэнергетика, система ориентации, горизонтально-осевая ветроэнергетическая, установка, эффективность, коэффициент ветра, отслеживание максимальной точки мощности.

WIND FLOW SIMULATION OF HORIZONTAL-AXIAL WIND POWER PLANT FOR DETECTING DEFLECTION ANGLES IN VARIOUS MODES

Solomin Evgeny Viktorovich, doctor of engineering, professor, South-Ural State University, 454000, Russia, Chelyabinsk, Kommuna Street 69-110, e-mail: solominev@susu.ru

Kovalyov Anton Alexandrovich, master student, South-Ural State University, 454030, Russia, Chelyabinsk, Krasnopolskiy av. 17-31, e-mail: alpenglow305@yandex.ru

Miroshnichenko Alexey Alexandrovich, graduate student, South-Ural State University, 454128, Russia, Chelyabinsk, s. Br. Kashirinih 131-314, e-mail: alex.miroshnichenko@mail.ru

Abdalgabar Omer Jamal, graduate student, South-Ural State University, 454128, Russia, Chelyabinsk, s. Sony Krivoy, e-mail: omer.jamal1986@gmail.com

Annotation

In wind power for horizontal-axis wind power plants, there is a problem of misalignment of the orientation angle, which leads to insufficient power generation. It consists in the following: when the wind flow bends around the rotating blades of the wind turbine, its direction is distorted. As a result, a device for measuring wind speed and direction, a weather vane, located at the end of the gondola, receives information that does not correspond to reality. Because of this, the control system for the position of the rotor relative to the wind flow turns the rotor perpendicular to it, but with a

certain deviation, which leads to insufficient power generation, since the greatest efficiency of the wind turbine is achieved with the most accurate perpendicular orientation of the rotor in the direction of the wind flow. The research is aimed at studying the nature of the misalignment of the wind turbine orientation angle.

Keywords

Wind power, system, orientation, horizontal-axial, wind power, installation, efficiency, coefficient, wind, tracking, maximum, point, power.

1. Аналитическое описание проблемы

Горизонтально-осевые ветроэнергетические установки требуют ориентации ротора по направлению ветра с целью получения наибольшей выработки электроэнергии. Ориентация является либо пассивной (за счет наличия флюгера, жестко связанного с гондолой), однако для крупных турбин такой подход не приемлем в связи с крупной массой ротора. В связи с этим используется активная ориентация с помощью анемометра, расположенного у большинства турбин на задней части гондолы. Мощность турбины может быть выражена с помощью следующей системы уравнений:

$$P_{\max} = 0,5 \cdot \rho \cdot A_r \cdot C_p \cdot V_p^3; \quad (1)$$

$$V_p = V_0 \cdot \cos \theta_E. \quad (2)$$

Уравнение (1) показывает, что максимальная мощность (P_{\max}), которая может быть захвачена турбиной, зависит от скорости ветра, перпендикулярной плоскости ротора (V_p), с учетом плотности воздуха (ρ), площади ротора (A_r) и коэффициента мощности ветровой турбины (C_p). В уравнении (2) перпендикулярная составляющая скорости ветра выражается в терминах скорости ветра свободного потока (V_0) и косинуса угла ошибки рыскания (θ_E) между выставленным направлением турбины и направлением вектора потока ветра. Объединение этих двух уравнений означает, что при наличии ошибки рыскания мощность уменьшается на куб косинуса ошибки рыскания.

2. Моделирование аэродинамических потоков

За основу для построения компьютерных моделей для проведения исследований приняты Основные Технические Характеристики ГО ВЭУ Siemens: SWT-3.6-120 с профилем лопасти B52 [1].

Обоснованием для выбора данной ветроэнергостановки послужили следующие факторы:

- наиболее распространенная единичная мощность ветроэнергостановок в ветропарках, вносящих основной вклад в выработку электроэнергии мировой ветроиндустрией, составляет 2-4 МВт;

- типичное расположение анеморумбометра на условно горизонтальной поверхности гондолы, в задней ее части (наклон гондол по отношению к оси ротора обычно составляет 0...120 градусов);

- характерное строение лопастей (в анализе задействован только комель лопасти, имеющий цилиндрическое сечение);

На рисунке 1 [2] показано расположение на гондole анеморумбометра (и/или ультразвукового сенсора) для определения направления и скорости ветра, а также уровень расположения приборов относительно лопасти.



Рисунок 1. Расположение датчика скорости и направления ветра (анеморумбометра) на расстоянии 13 м от ротора и на высоте 3 м (данные приняты для моделирования)

В исследованиях расположение анеморумбометра на основе технических данных производителя и уточняющим измерениям принято следующим:

– расстояние от ротора (лопасти) до анеморумбометра – 13 м (по оси X, как будет принято в дальнейшем);

– высота над гондолой – 3 м (по оси Y, как будет принято в дальнейшем).

Тем не менее, это условные значения, предназначенные только для моделирования. На практике эти значения для различных ВЭУ будут разными.

Модель ГО ВЭУ №1 на основе серийного изделия производства Siemens SWT-3.6-120 с профилем лопасти B52 построена в программном пакете SolidWorks 3D [3]. Стационарный вид модели приведён на рисунке 2.

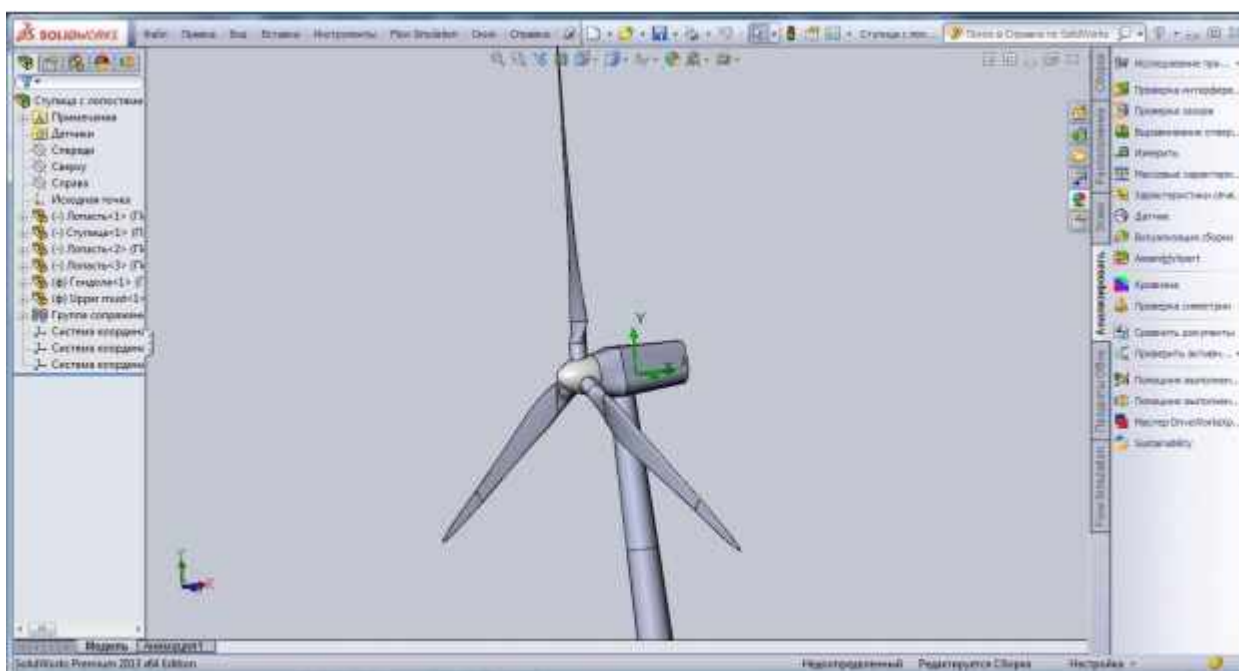


Рисунок 2. Модель ГО ВЭУ SWT-3.6-120 в SolidWorks

Осуществлен предварительный продув ГО ВЭУ в соответствии с [4, с. 111], результаты приведены на рисунке 3. Адекватность модели подтверждается сравнением габаритных характеристик модели и прототипа SWT-3.6-120 производства Siemens.

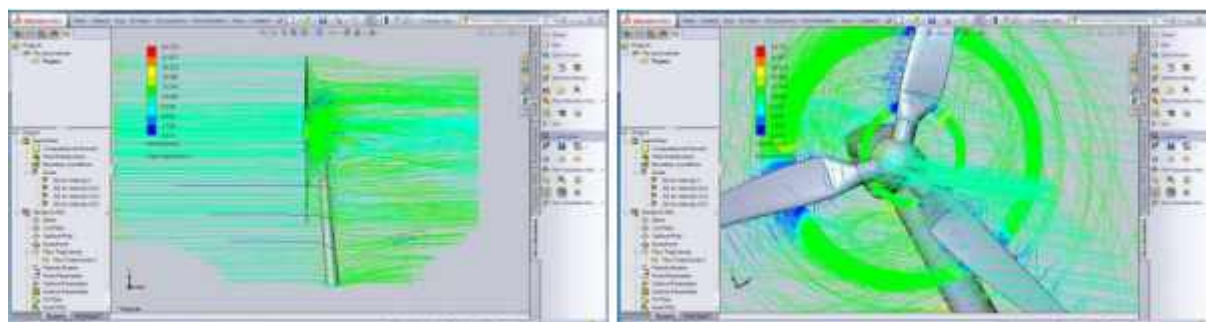
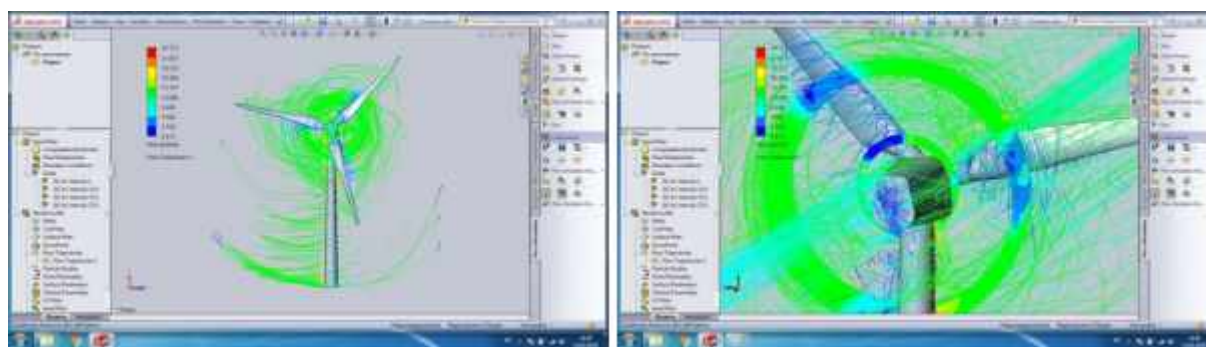
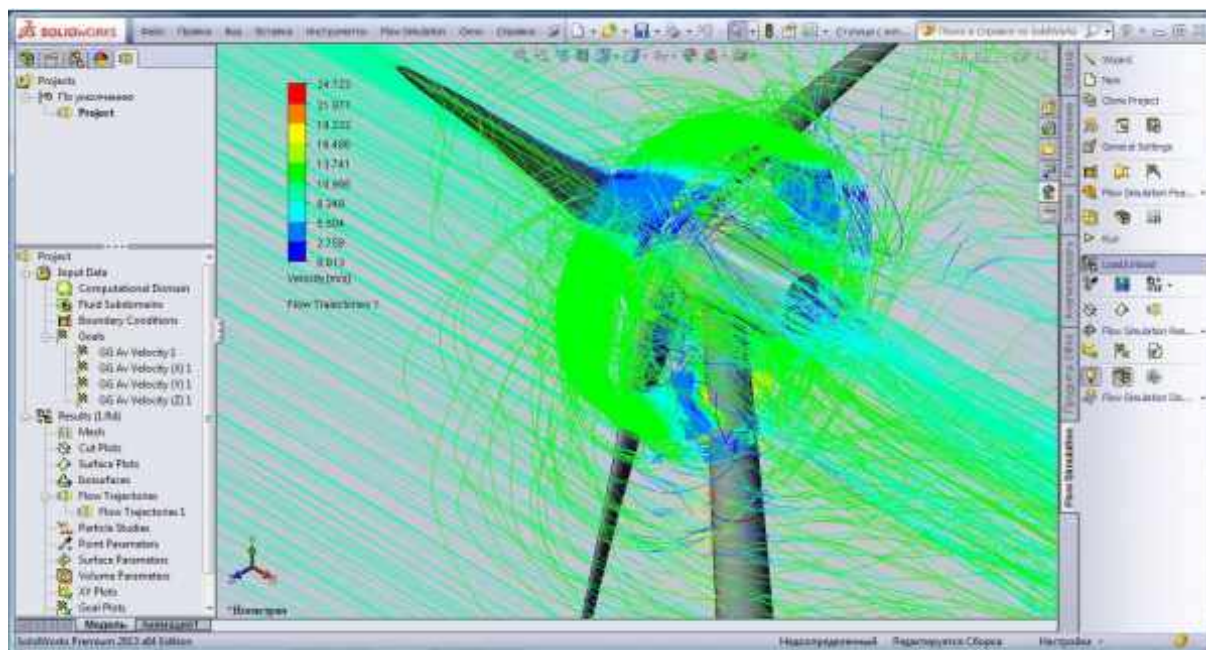


Рисунок 3. Предварительный обдув модели ГО ВЭУ SWT-3.6-120 в SolidWorks с разных ракурсов

Анализ предварительного продува показывает, что основное влияние на потоки, проходящие около гондолы, оказывает лишь часть сектора ометаемой площади, представляющая собой круг с радиусом $r \leq 0,25R$, где R – длина лопасти. Таким образом, в дальнейшем исследовании особое внимание уделяется именно этому сегменту, представляющему собой цилиндр с основанием в виде $r \leq 0,25R$ ометаемой площади и высотой, равное расстоянию

от конца ротора до заднего края гондолы, с находящимся на ней анеморумбометром.

3. Исследование компьютерной модели ГО ВЭУ в SolidWorks при различных условиях с фокусированием на исследовании линий потока ветра в зоне расположения анеморумбометра

Условия для продува определены следующим образом: ротор движется с постоянной частотой вращения, величина которой определяется на основе основных реперных точек скорости ветра – достартовая скорость 3 м/с, стартовая скорость 5 м/с, номинальная скорость 12 м/с, постноминальная скорость 25 м/с. Быстроходность (отношение линейной скорости конца лопасти к скорости ветра) принята $Z = 5$ на основе информации компании-производителя. Параметры взяты из [1]. Мачта ГО ВЭУ неподвижна, ротор вращается против часовой стрелки при виде спереди. Номинальная угловая скорость ротора ω соответствует номинальной скорости ветра $V_B = 12$ м/с при быстроходности $Z = 5$ модулей (соответствует лучшим характеристикам современных ГО ВЭУ и отражает отношение линейной скорости конца лопасти к скорости ветра). Радиус ротора R равен длине лопасти:

$$\omega = \frac{Z \cdot V_B}{R} = \frac{5 \cdot 12}{58,5} = 1,03 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad (3)$$

Полученная угловая скорость $\omega = 1,03$ рад/с соответствует частоте вращения 9,7 об/мин, что в свою очередь удовлетворяет рабочему диапазону частот вращения ротора исследуемой ГО ВЭУ 5-13 об/мин. Таким образом, выбор быстроходности $Z = 5$ модулей можно считать обоснованным. Скорость ветра для обдува ротора подобрана на основе характеристик ГО ВЭУ. Взята номинальная скорость вращения данной ВЭУ – 12 м/с.

Результатом исследования является градус отклонения потока ветра Θ от вертикальной плоскости, проходящей через ось симметрии ротора, ось мачты и анеморумбометр.

Ниже на рисунке 4 приводятся результаты в виде сравнения режимов моделирования ламинарного и турбулентного [5].

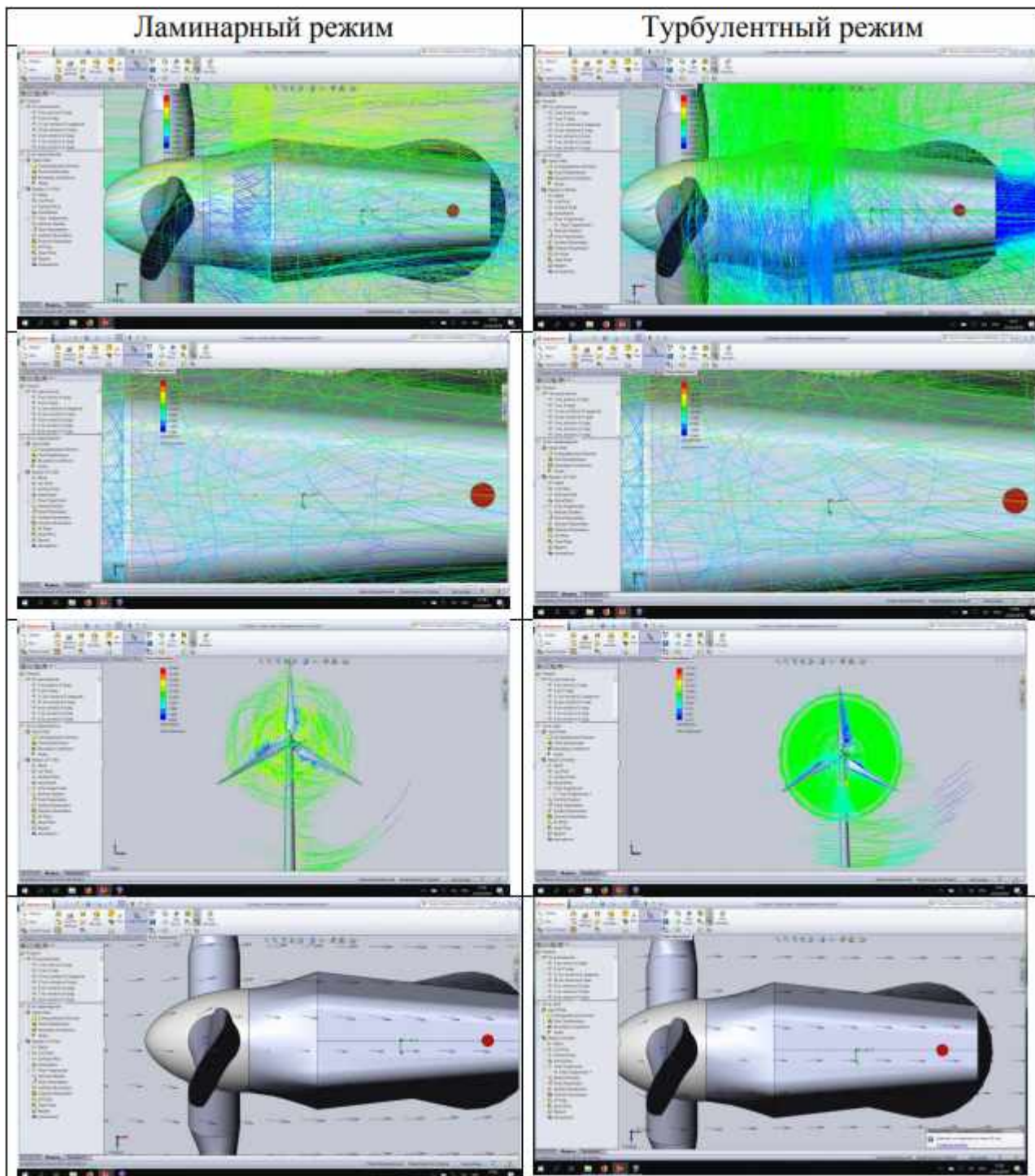


Рисунок 4. Сравнение двух режимов моделирования

Несмотря на наличие большого количества разнонаправленных направлений, основное направление потока, определяемое потоками зелёного цвета (изолинии наибольшей скорости потока), в целом совпадает в обоих случаях. Отличие в демонстрации турбулентности незначительное (в районе

анеморумбометра разница составляет 1-3°), направления потоков (стрелок осредненного, преимущественного потока) почти не различаются. Отсюда следует, что графическое представление токов в виде стрелок может служить визуальным результатом проводимого исследования.

Данный материал подготовлен на базе проектного обучения в магистратуре Южно-Уральского государственного университета (Национальный исследовательский университет), Российская Федерация, при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Соглашение РФФИ № 19-08-00070\19 от 29.12.2018 г.

Список литературы

1. Siemens SWT-3.6-120 Offshore // Wind Turbine Models. URL: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/669-siemens-swt-3.6-120-offshore> (дата обращения: 14.04.2020).

2. World first active control of turbine with ZephIR DM at NREL, Colorado // ZX Lidars. URL: https://www.zxlidars.com/our-wind-lidars/lidar-gallery/nrel_351_bouldery2013_m10b_0/ (дата обращения: 14.04.2020).

3. CAD для 3D-проектирования // SOLIDWORKS. URL: <https://www.solidworks.com/ru> (дата обращения: 14.04.2020).

4. Wesseling P. Principles of computational fluid dynamics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001. 644 p.

5. Troshko A. A. and Hassan Y. A. "A Two-Equation Turbulence Model of Turbulent Bubbly Flow". International Journal of Multiphase Flow. 22(11). 1965–2000. 2001.

Данный материал подготовлен на базе проектного обучения в магистратуре Южно-Уральского государственного университета (Национальный исследовательский университет), Российская Федерация, при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Соглашение РФФИ №19-08-00070\19 от 29.12.2018 г

©, Соломин Е. В., Ковалёв А. А., Мирошниченко А. А., – 2020

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАССОГЛАСОВАНИЯ УГЛА ОРИЕНТАЦИИ
РОТОРА ГОРИЗОНТАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
УСТАНОВКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМА УСТРАНЕНИЯ ОШИБКИ**

Соломин Евгений Викторович, доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет, 454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76-257, e-mail: solominev@susu.ru

Терехин Александр Александрович, кандидат технических наук, Южно-Уральский государственный университет, 454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76-257, e-mail: terekhinaa@susu.ru

Ковалёв Антон Александрович, студент-магистрант, Южно-Уральский государственный университет, 454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76-257, e-mail: alpenglow305@yandex.ru

Мартемьянова Вероника Андреевна, студент-магистрант, Южно-Уральский государственный университет, 454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76-257, e-mail: lavrinovaveronika@yandex.ru

Рявкин Глеб Николаевич, студент-магистрант, Южно-Уральский государственный университет. 454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76-257, e-mail: amdx3@bk.ru

Аннотация

Традиционная ветроэнергетическая установка с горизонтальной осью вращения (ГО ВЭУ) имеет хорошо известный существенный недостаток – необходимость ориентации ротора на ветер (термин «ротатор» употребляется как «турбина» или «ветроколесо» в соответствии с различными стандартами). Проблема заключается в том, что рассогласование угла ориентации ротора (погрешность или ошибка коллинеарности между вектором набегающего потока ветра и проекцией оси вращения ротора на горизонтальную плоскость) является одной из причин снижения выходной мощности, а значит, снижает общую выработку

энергии. Объясняется этот факт тем, что при возникновении угла рассогласования уменьшается мгновенная ометаемая площадь, приблизительно равная проекции полной расчетной ометаемой площади ротора на вертикальную плоскость. Таким образом, если ротор не выставлен системой управления на ветер, объем выработки энергии снижается (при углах 30, 60 и 90 градусов выработка падает соответственно на 40, 75 и 100 процентов). Описанное рассогласование угла ориентации является системной проблемой, поскольку наблюдается у всех без исключения ГО ВЭУ, составляющих подавляющее большинство (98 процентов) в мировом парке, и, таким образом, представляет собой фундаментальную научную задачу, на решение которой направлено исследование.

Ключевые слова

Ветроэнергетика, система ориентации, горизонтально-осевая, ветроэнергетическая установка, эффективность, коэффициент ветра, отслеживание максимальной точки мощности.

INVESTIGATION OF MISALIGNMENT OF ROTOR ORIENTATION ANGLE HORIZONTALLY-AXIAL WIND POWER PLANT TO CREATE AN ERROR CORRECTION ALGORITHM

Solomin Evgeny Viktorovich, doctor of engineering, professor, South-Ural State University, 454000, Russia, Chelyabinsk, Kommuna Street 69-110, e-mail: solominev@susu.ru

Terekhin Aleksandr Aleksandrovich, candidate of engineering, South-Ural State University, 454000, Russia, Chelyabinsk, Ovchinnikova Street 22-16, e-mail: terekhinaa@susu.ru

Kovalyov Anton Alexandrovich, master student, South-Ural State University, 454030, Russia, Chelyabinsk, Krasnopol'skiy av. 17-31, e-mail: alpenglw305@yandex.ru

Martemyanova Veronika Andreevna, master student, South-Ural State University, 454030, Russia, Chelyabinsk, Mertenovskaya Street 16-94, e-mail: lavrinovaveronika@yandex.ru

Ryavkin Gleb Nikolaevich, master student, South-Ural State University, 454046, Russia, Chelyabinsk, Gagarina st. 60-18, e-mail: amdx3@bk.ru

Annotation

Traditional wind power plant with a horizontal axis of rotation has a well-known significant drawback – it need to orient the rotor to wind (the term "rotor" is used as "turbine" or "wind wheel" in accordance with various standards). The problem is that misalignment of rotor orientation angle (error or error of collinearity between the vector of the incoming wind flow and the projection of the rotor axis of rotation on the horizontal plane) is one of the reasons for reducing output power, and therefore reduces overall energy production. This fact is explained by the fact that when misalignment angle occurs, the instantaneous swept area decreases, which is approximately equal to the projection of the total calculated swept area of the rotor on the vertical plane. Thus, if the rotor is not exposed to the wind by the control system, the amount of energy generated is reduced (at angles of 30, 60 and 90 degrees, the output falls by 40, 75 and 100 percent, respectively). The described misalignment of the orientation angle is a systemic problem, since it is observed in all, without exception, wind turbines, which make up the vast majority (98 percent) in the world Park, and, thus, represents a fundamental scientific problem, which the research is aimed at solving.

Keywords

Wind power, system, orientation, horizontal-axial, wind power, installation, efficiency, coefficient, wind, tracking, maximum, point, power.

1. Введение

Исследование направлено на изучение природы возникновения рассогласования угла ориентации ГО ВЭУ, разработку алгоритмов по устранению ошибки и создание дополнительного программного обеспечения для системы управления ориентацией ротора ГО ВЭУ, состоящей из двух контуров управления (рисунок 1). Внутренний контур участвует в управлении положением привода двигателя ориентации гондолы и с помощью метода

векторного управления регулирует угол поворота γ гондолы. Опорное положение угла ориентации γ определяется внешним контуром управления с помощью нового предложенного алгоритма управления ориентацией ротора.

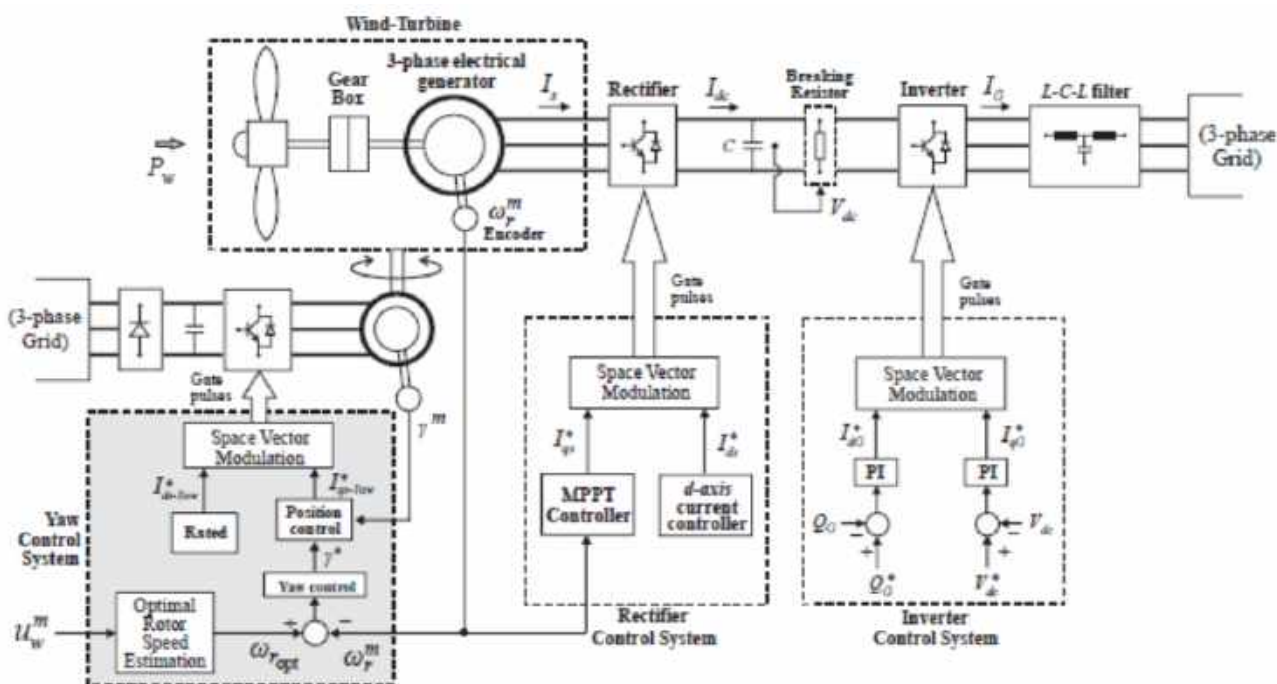


Рисунок 1. Структура ветроэнергетической установки с системой ориентации

2. Математическое обоснование исследовательского подхода

При появлении угла рассогласования γ , очевидно, уменьшается и эффективная ометаемая площадь ротора [1]. Вследствие этого аэродинамический коэффициент мощности C_p (коэффициент использования энергии ветра КИЭВ) снижается на h -степень косинуса угла ориентации

$$C_p(\lambda, \beta, \gamma) = C_p(\lambda, \beta) \cdot \cos \gamma^h, \quad (1)$$

где λ, β – другие параметры ротора (оптимальная быстроходность и установочный угол лопастей). Следовательно, снижается и развиваемая электрическая мощность. Кроме того, ошибка ориентации приводит к дальнейшему падению вырабатываемой энергии из-за некорректного управления на основе алгоритма MPPT (Maximum Power Point Tracking или отслеживания максимальной точки мощности).

Например, при заданной скорости ветра u_1 система управления ВЭУ работает в некоторой точке А на поле «выходная мощность – угловая скорость

вращения ротора» (рисунок 2). При возникновении угла рассогласования γ_{er} , который является разницей между направлениями потока ветра и оси ротора, кривая мощности падает согласно формуле (3) и рабочая точка перемещается в другую, точку В более низкой мощности. Однако в связи с некорректными показателями возникает ошибка МРРТ-управления (согласно алгоритму МРРТ меньшей мощности будет соответствовать меньшая скорость вращения), и точка равновесия (оптимума отбора мощности) дополнительно смещается, соответственно перемещаясь еще ниже в точку С, которая соответствует кривой мощности на более низкой скорости ветра u_2 . Вследствие этого выходная мощность значительно падает. Таким образом, снижение мощности происходит как за счет ошибки ориентации, так и за счет последующей ошибки МРРТ-управления.

При МРРТ-регулировании мощность на валу выставленного на ветер равномерно вращающегося ротора (точка А на рисунке 2) описывается уравнением оптимальной мощности $P_{W_{opt}}$:

$$P_{W_{opt}} = G_W \cdot \omega_{ropt}^3, \quad (2)$$

где ω_{ropt} – оптимальная скорость вращения ротора согласно МРРТ-алгоритму; G_W – механический (аэродинамический) момент на валу ротора.

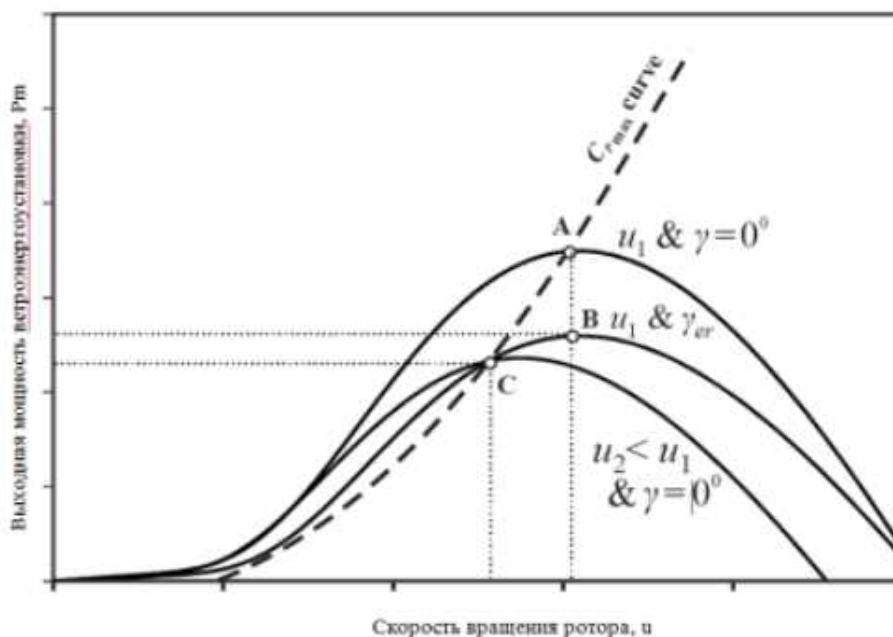


Рисунок 2. Эффект влияния ориентации на МРРТ-управление

При возникновении угла рассогласования γ согласно формуле (1) мощность вала $P_{WT\gamma}$ уменьшается до

$$P_{WT\gamma} = P_{WTopt} \cdot \cos \gamma^h. \quad (3)$$

Учитывая (2) и (3), можно сделать вывод о том, что ошибка между рассогласованной $\omega_{r\gamma}$ и оптимальной ω_{ropt} скоростями вращения ротора дает информацию об угле рассогласования, поскольку

$$\cos \gamma = \left(1 - \frac{\Delta\omega_r}{\omega_{ropt}} \right)^{\frac{3}{h}}, \quad (4)$$

где $\Delta\omega = \omega_{ropt} - \omega_{r\gamma}$ – погрешность (ошибка) скорости вращения ротора.

3. Система управления ориентацией

Исходя из проведённого анализа в предыдущем разделе делается вывод о том, что ротор можно сориентировать по направлению ветра при условии, если имеется доступ к управлению положением вала электродвигателя привода регулирования угла ориентации гондолы ГО ВЭУ, т.е. при условии минимизации ошибки скорости вращения ротора ω_r . Однако для исключения влияния флуктуаций коэффициента использования энергии ветра (коэффициента мощности) C_p согласно формуле (1) из-за рассогласования угла ориентации, необходимо введение дополнительного пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора, контролирующего величину рассогласования угла ориентации (и, соответственно, угол поворота вала двигателя привода ориентации), для устранения погрешности скорости вращения $\Delta\omega_r$. Поскольку величина ошибки $\Delta\omega_r$ не дает информации о знаке самой ошибки (т.е. о направлении рассогласования угла γ ориентации), направление движения вала двигателя привода ориентации определяется разницей приращения $\Delta\omega_r(z)$ в текущем шаге (итерации) регулирования и предыдущем шаге (итерации) $\Delta\omega_r(z^{-1})$.

Необходимо отметить, что в отличие от получения гарантированных ошибок при измерении направления потока ветра румба-анемометром, расположенным на задней части гондолы, замеры скорости ветра на практике не

имеют погрешностей и могут успешно использоваться в реализации МРРТ-алгоритма регулирования (отбора) мощности [2], [3]. Кроме этого, все дивергенции измерений усредненной мгновенной скорости ветра, вызванные неравномерностью скоростей токов (потоков) ветра через ометаемую площадь ротора (особенно для крупной ВЭУ с большим диаметром и со значительной разницей в вертикальной составляющей потока ветра) также могут быть вычислены с помощью математической модели, реализующей аэродинамическое моделирование и использовать эти данные при выполнении МРРТ-алгоритма.

Блок-схема системы управления ориентацией приведена на рисунке 3.

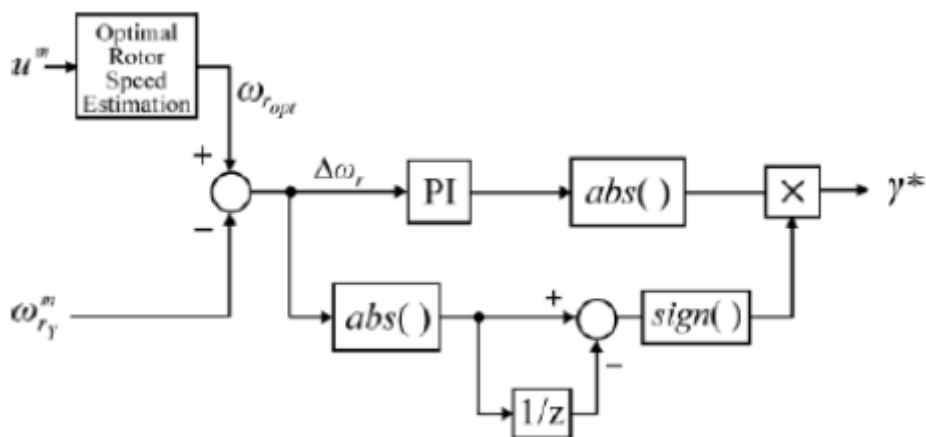


Рисунок 3. Блок-схема системы управления ориентацией

Структура комбинированной системы МРРТ-управления и системы управления ориентацией показана на рисунке 4.



Рисунок 4. Комбинированный метод МРРТ-регулирования и управления ориентацией
(литера «т» означает «измеренный» или «measured»)

Параметры пропорционального и интегрального регулятора (PI) системы ориентации вычисляются и настраиваются с помощью правил управления нечеткой логикой, по аналогии с [4] в части использования математического принципа нечеткой логики в МРРТ-управлении. Временные задержки в ориентации и гистерезис управления остаются в целом без изменения, поскольку получены на основе опыта эксплуатации и технических характеристик ВЭУ.

Данный материал подготовлен на базе проектного обучения в магистратуре Южно-Уральского государственного университета (Национальный исследовательский университет), Российская Федерация, при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Соглашение РФФИ № 19-08-00070\19 от 29.12.2018 г.

Список литературы

1. Friis Pedersen, Troels, Gjerding, S., Enevoldsen, P., Hansen, J.K., Jørgensen, H.K., Wind turbine power performance verification in complex terrain and wind farms, http://orbit.dtu.dk/files/7726871/ris_r_1330.pdf

2. B. Smith and H. Link, G. Randall and T. McCoy, Applicability of Nacelle Anemometer Measurements for Use in Turbine Power Performance Tests, <https://www.nrel.gov/docs/fy02osti/32494.pdf>

3. Alfredo Peña, C. B. Hasager, C. B. Hasager, Sven-Erik Gryning, Sven-Erik Gryning et al. Offshore wind profiling using LiDAR measurements. Department of Geography and Geology, University of Copenhagen, Denmark

4. A. Mesemanolis, C. Mademlis, I. Kioskeridis, A fuzzy-logic based control strategy for maximum efficiency of a Wind Energy Conversion System, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6264586/>

Данный материал подготовлен на базе проектного обучения в магистратуре Южно-Уральского государственного университета (Национальный исследовательский университет), Российская Федерация, при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Соглашение РФФИ № 19-08-00070\19 от 29.12.2018 г.

©, Соломин Е.В., Терехин А.А., Ковалёв А.А.,
Мартемьянова В.А., Рявкин Г.Н., – 2020

**ВЫБОР СЕЧЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПО
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА ОБЪЕКТАХ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

Темный Денис Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14, e-mail: temniy.denis@yandex.ru

Цырук Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14, e-mail: tsyruksa@mpei.ru

Шарафеддин Карам Фарес, кандидат технических наук, профессор, Ливанский университет, Ливан, Бейрут, Baabda District, e-mail: koukou4432@mail.ru

Аннотация

Данная статья рассматривает экономический выбор сечений кабельных линий электропередач при проектировании объектов водопроводно-канализационного хозяйства города в современных условиях.

Ключевые слова

кабельная линия электропередач, экономическая плотность тока, сечение проводников.

**SELECTION OF THE CROSS SECTION OF CABLE TRANSMISSION
LINES BASED ON THE ECONOMIC CURRENT DENSITY AT WATER
SUPPLY AND SANITATION FACILITIES**

Temniy Denis Sergeevich, postgraduate student of Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia, temniy.denis@yandex.ru

Tsyruk Sergey Aleksandrovich, Cand. Tech. Sci., associate professor of Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia, tsyruksa@mpei.ru

Sharafeddin Karam Fares, Candidate of Technical Sciences, professor, Lebanese university, Lebanon, Beirut, Baabda District, e-mail: koukou4432@mail.ru

Abstract

This article is considered the economic choice of cross-sections of cable power lines in the design of water supply and sanitation facilities of the city in modern conditions.

Key words

cable power line, economic current density, conductor cross-section.

Объекты водопроводно-канализационного хозяйства (далее – ВКХ) являются стратегически важными и одними из наиболее крупных элементов жизнедеятельности города. Станции водоподготовки, насосные станции и очистные сооружения, основной электрической нагрузкой которых являются двигатели 0,4 кВ и 10(6) кВ, функционируют в непрерывном режиме. Двигательная нагрузка, большое число часов использования максимума электрической нагрузки и высокие требования к бесперебойности электроснабжения объектов ВКХ – все это определяет необходимость создания современной надежной энергоэффективной системы электроснабжения и управления вышеуказанных промышленных объектов.

В процессе проектирования объектов ВКХ важно применять современное оборудование и технологии, обеспечивающие наилучшие технические показатели системы и наименьшие потери электрической энергии (далее – э/э) в ней, а также рассчитывать и выбирать сечение линий электропередач, которое будет способно передавать требуемый объем э/э наиболее экономичным образом. На объектах ВКХ преимущественно применяются кабельные линии электропередач, для которых экономически целесообразное сечение проводника можно вычислить по формуле (1) [1].

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{j_{\text{ЭК}}} \quad (1)$$

где I_p – расчетный ток нагрузки, А; $j_{эк}$ – экономическая плотность тока (далее – ЭПТ) по таблице 1.3.36 [1].

Расчет экономического сечения по (1) подразумевает применение обобщенных значений ЭПТ, рассчитанных по технико-экономическим показателям проводниковых материалов второй половины прошлого века, и имеет ограниченное применение в низковольтных электрических сетях, что приводит к дополнительным трудностям при выборе сечений. Для решения данной проблемы необходимо рассчитать новые значения ЭПТ, которые будут соответствовать современным экономическим реалиям, а также учитывать специфику построения системы электроснабжения объектов ВКХ.

Выбор проводника, обладающего наилучшими технико-экономическими показателями, осуществляется на основе сравнения объемов инвестиционных затрат, необходимых для построения и эксплуатации кабельной линии электропередач в процессе всего жизненного цикла объекта. Основываясь на опыте эксплуатации объектов ВКХ в Московском регионе, срок службы рассматриваемых объектов можно принять равным 30 лет с учетом того, что их строительство (реконструкция) в полном объеме выполняется за первый год жизненного цикла, а токовая нагрузка не претерпевает существенных изменений в процессе эксплуатации. Таким образом, суммарные дисконтированные затраты можно определить по формуле (2) [2, с. 306].

$$Z = \sum_{t=1}^{T_p=30} \frac{z_t}{(1+r)^{t-1}} = \sum_{t=1}^{T_p=30} \frac{K_t + I_t}{(1+r)^{t-1}} = K + \sum_{t=2}^{T_p=30} \frac{I_t}{(1+r)^{t-1}} \quad (2)$$

где t – годы строительства и эксплуатации объекта; T_p – расчетный срок службы объекта; r – ставка дисконта; K – капитальные затраты на сооружение кабельной линии электропередач; I – издержки в процессе эксплуатации линии электропередач.

Капитальные затраты на сооружение кабельных линий электропередач смежных сечений будут отличаться только величиной стоимости кабеля. В тоже время стоимость кабеля можно описать функцией двух переменных $K_k = f(F_k; L)$, где в качестве аргументов выступают сечение жилы и длина кабеля.

Издержки в формуле (2) можно представить в виде суммы затрат на эксплуатацию линии, затрат на возмещение потерь э/э и затрат на выплату процентов по кредиту ($I=I_3+I_{\Delta P}+I_{\%}$). Затраты на эксплуатацию кабельной линии выражаются в виде доли от капитальных вложений $I_3=f(K)$. На издержки, связанные с потерями электрической мощности в линии, будут влиять не только параметры нагрузки и выбранного кабеля, но и регион, в котором расположен объект ВКХ. Таким образом, функция затрат на возмещение потерь э/э в кабельной линии зависит от следующих параметров: $I_{\Delta P}=f(I_{нб}; \rho; F_k; L; T_m; Ц)$. строительство и реконструкция объектов ВКХ в основном осуществляется за счет средств водоканалов, поэтому затраты, направленные на выплату процентов по кредиту можно не учитывать [2, 3].

Функция дисконтированных затрат в зависимости от сечения кабельных линий ($Z=f(F_k)$) имеет один локальный минимум, который соответствует экономическому сечению проектируемой линии электропередач. Определить значение наиболее экономичного сечения кабеля можно определить, дифференцируя функцию дисконтированных затрат по сечению и приравнявая ее нулю ($dZ/dF=0$). В результате проведения указанных математических операций получается выражение (3) для определения экономического сечения и выражение (4) для определения ЭПТ.

$$F_{\text{ЭК}}=1047,6 \cdot I_p \cdot (0,124+T_m \cdot 10^{-4}) \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot Ц_6 \cdot (1+29 \cdot r)}{b \cdot (1+r+29 \cdot \alpha)}}; \quad (3)$$

$$j_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{F_{\text{ЭК}}} = \frac{0,95 \cdot 10^{-3}}{(0,124+T_m \cdot 10^{-4})} \cdot \sqrt{\frac{b \cdot (1+r+29 \cdot \alpha)}{\rho \cdot Ц_6 \cdot (1+29 \cdot r)}} \quad (4)$$

где T_m – число часов использования максимума электрической нагрузки; ρ – удельное сопротивление материала жил кабеля; $Ц_6$ – средняя цена за э/э за рассматриваемый базовый год в исследуемом регионе; b – угловой коэффициент изменения стоимости кабеля; α – коэффициент затрат на эксплуатацию кабельной линии электропередач.

Разработанная модель (4) позволяет вычислить значения ЭПТ для силовых электрических кабелей 0,4кВ, 6кВ и 10кВ, применяемых на объектах ВКХ.

Результаты расчетов ЭПТ для объектов ВКХ Московского региона приведены в таблице №1.

Таблица 1 - Значения ЭПТ кабельных линий электропередач на объектах ВКХ

Материал жилы кабеля	Медь				Алюминий			
Вид изоляции кабеля	Число часов использования максимума нагрузки T_m , час							
	5000	6000	7000	8000	5000	6000	7000	8000
Электрические кабели 0,4кВ								
Изоляция из поливинилхлорида	2,51	2,17	1,90	1,70	0,82	0,71	0,62	0,56
Изоляция из сшитого полиэтилена	2,37	2,05	1,80	1,60	0,91	0,78	0,69	0,61
Пропитанная бумажная изоляция	3,10	2,67	2,35	2,09	1,29	1,11	0,98	0,87
Электрические кабели 6кВ								
Изоляция из сшитого полиэтилена	3,12	2,69	2,36	2,11	1,33	1,14	1,00	0,90
Пропитанная бумажная изоляция	3,17	2,73	2,40	2,14	1,29	1,11	0,98	0,87
Электрические кабели 10кВ								
Изоляция из сшитого полиэтилена	3,67	3,17	2,78	2,48	1,37	1,18	1,04	0,93
Пропитанная бумажная изоляция	3,19	2,75	2,42	2,15	1,39	1,20	1,05	0,94

Анализ полученных данных показывает, что действующие значения ЭПТ, приведенные в таблице 1.3.36 [1], являются недостаточно актуальными при технико-экономическом выборе сечений кабельных линий электропередачи на объектах ВКХ. Так, например, расчет экономических сечений кабелей с алюминиевыми жилами, выполненный в соответствии с ПУЭ [1], приводит к занижению сечений, которое, в свою очередь, станет причиной повышенных потерь ε/ε на протяжении всего жизненного цикла предприятия и, как следствие, неэффективным расходом денежных средств.

Таким образом, для проведения рационального выбора сечений кабельных линий электропередач по экономическому критерию необходимо использовать современные значения ЭПТ, актуализированные в соответствии с особенностями построения и функционирования системы электроснабжения рассматриваемой отрасли промышленности.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок (Седьмое издание). – М.: Моркнига, 2003. – 584 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.
3. Фрайштетер В.П, Мартьянов А.С. Выбор экономически обоснованного сечения проводов и жил кабелей линий электропередачи при проектировании// Нефтяное хозяйство – 2011. - №4. – С. 117-121.

Статья подготовлена в развитие работ по гранту РФФИ 17-06-00304 «Определение вектора научно-технического развития Российской Федерации на основе нового эконометрического инструментария».

©, Темный Д.С., Цырук С.А., Шарафеддин К.Ф., – 2020

УДК 621.31

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОДВЕСОМ

Шилин Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: eltech@vstu.ru

Шилин Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: shilin.jr@gmail.com

Муханнад Ноуфал Мустафа, аспирант, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: 60158@uotechnology.edu.iq

Аннотация

В статье приведена разработка преобразователя низкочастотных колебаний с электромагнитным подвесом и с цифровым блоком адаптивного управления параметрической обратной связью. Использование цифровой управляемой параметрической обратной связи позволяет управлять характеристиками преобразователя и расширить низкочастотную границу диапазона преобразователя.

Ключевые слова

вибропреобразователь, электромагнитный подвес, сейсмические датчики, частотные характеристики вибропреобразователей.

LOW-FREQUENCY TRANSDUCER WITH ELECTROMAGNETIC SUSPENSION

Shilin Alexander Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, Volgograd State Technical University, 400005, Volgograd, etc. Lenin, 28, e-mail: eltech@vstu.ru

Shilin Alexey Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University, 400005, Volgograd, etc. Lenin, 28, e-mail: shilin.jr@gmail.com

Muhannad Noufal Mustafa, graduate student, Volgograd State Technical University, 400005, Volgograd, etc. Lenin, 28, e-mail: 60158@uotechnology.edu.iq

Abstract

In this article, the development of a low-frequency oscillation transducer by an electromagnetic suspension and with a digital block for adaptive control of parametric feedback is described, the use of digital parametric feedback-controlled allows to control the characteristics of the transducer and increase the frequency range of the transducer in the low-frequency domain because the duration of information storage in digital devices is not limited.

Key words

vibration transducer, electromagnetic suspension, seismic sensors, frequency characteristics of vibration transducers.

В настоящее время одной из актуальных проблем в энергетике и промышленности является повышение надежности работы различного оборудования, поскольку аварийные режимы некоторых технологических процессов могут привести к техногенным катастрофам. Эффективным методом повышения надежности оборудования является диагностирование состояния машин и прогнозирования их работоспособности. Для диагностирования роторных вращающихся машин широко используются вибрационные методы контроля. Характер вибрационного процесса машины зависит от износа деталей машины и поэтому по контролируемым параметрам вибрационного процесса можно определить степень износа и соответственно техническое состояние машин. В зависимости от частотного диапазона вибрационного процесса в качестве источников информации используются различные параметры. Например, в низкочастотном диапазоне измеряют параметр виброперемещения, в среднечастотном – виброскорости, высокочастотном – виброускорения [1]. В измерительной технике широко применяются приборы, использующие пьезодатчики, которые измеряют виброускорения, а виброскорости и виброперемещения определяются с помощью интеграторов. Такие приборы работают в диапазоне частот 10 – 10000 Гц [2], однако на практике возникает необходимость диагностики тихоходного оборудования с частотами вращения единицы Гц, например, гидрогенераторы ГЭС. Таким образом, вибродиагностика оборудования на низких частотах является в настоящее время актуальной проблемой.

Возможным решением этой проблемы является использование инертной массы на управляемом по жесткости электромагнитном подвесе, использующим параметрическую обратную связь (рис. 1).

Связь между измеряемой входной величиной x_l , перемещением магнита x_b и выходным параметром x_a определяется разностью:

$$x_a = x_b - x_l \quad (1)$$

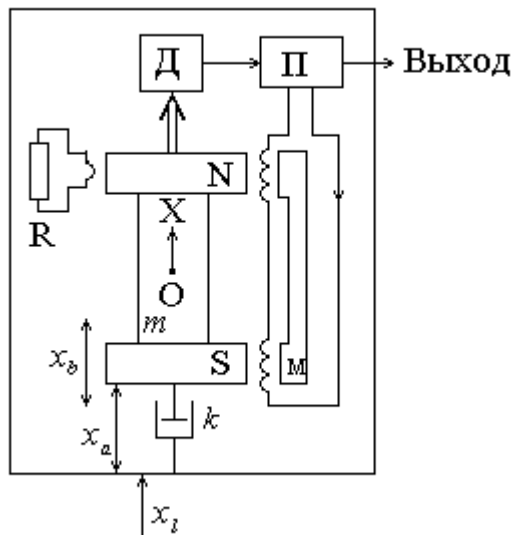


Рисунок 1. Система с электромагнитным подвесом:

NS – подвижный магнит, $Д$ – датчик положения, $П$ – преобразователь, R – резистор, подключенный к катушке в поле магнита NS

С учетом выражения (1) дифференциальное уравнение, связывающее входную величину x_l и выходную величину x_a , примет вид [3,4]:

$$m\ddot{x}_a + k\dot{x}_a + cx_a = -m\ddot{x}_l, \quad (2)$$

где k - коэффициент вязкого трения; c – коэффициент жесткости подвеса магнитной массы.

Из уравнения (2) получено выражение для амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) системы:

$$|G(j\lambda)| = \frac{\lambda^2}{\sqrt{(1 - \lambda^2)^2 + 4D^2\lambda^2}}, \quad (3)$$

где

$$\lambda = \frac{\omega}{\omega_0} \text{ – нормированная частота;}$$

$D = \frac{k}{2m\omega_0}$ – коэффициент системы затухания;

$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ – выражение для собственной частоты колебаний системы.

Определим жесткость c такого электромагнитного подвеса подвижной массы.

Для получения выходного сигнала и сигнала обратной связи к подвижному магниту NS прикреплен датчик положения, вырабатывающий сигнал в виде напряжения, прямо пропорционального перемещению магнита, который преобразуется в ток:

$$I = k_d x_{a2} . \quad (4)$$

Согласно закону Ампера, сила, действующая на элемент длины проводника с током I , помещенного в магнитное поле равна

$$dF = I[d\vec{l} \vec{B}], \quad (5)$$

где $d\vec{l}$ – вектор элемента длины проводника, проведенный в направлении тока; \vec{B} – вектор магнитной индукции.

В нашем случае линии магнитного поля перпендикулярны проводнику:

$$dF = IBdl . \quad (6)$$

Интегрируя по всей длине проводника, сила будет равна

$$F = 2IB\pi rN , \quad (7)$$

где r – радиус катушки, N – число ее витков.

Итак, сила, действующая на подвижную систему датчика равна

$$F = 2B\pi rNk_d x_{a2} . \quad (8)$$

Таким образом, коэффициент жесткости электромагнитного подвеса определяется выражением:

$$c = 2B\pi rNk_d . \quad (9)$$

Использование механического демпфера на низких частотах затруднительно, так как силы, возникающие в нем не линейны, поэтому для демпфирования системы введена катушка (рис. 1), движущаяся вместе с

подвижной массой в магнитном поле и замкнутая на резистор R [5-6]. Определим выражение для коэффициента затухания D для такой системы демпфирования.

Поток вектора магнитной индукции через поверхность, описываемую движением магнита относительно катушки, равен

$$\Phi = \int_s B dS = 2B\pi r_1 x_{a2}. \quad (10)$$

где r_1 – радиус катушки, n – число витков катушки.

Тогда ЭДС индукции на концах катушки по закону Фарадея определяется выражением:

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} = -2B\pi r_1 n \dot{x}_{a2}. \quad (11)$$

Ток в цепи витка будет равен

$$I_1 = \frac{E}{\sqrt{X_L^2 + R^2}}, \quad (12)$$

где X_L - импеданс катушки.

Сила, действующая на катушку равна

$$F_1 = -4 \frac{B^2 \pi^2 r_1 r \dot{x}_{a2} n}{\sqrt{X_L^2 + R^2}}. \quad (13)$$

Итак, коэффициент k для электромагнитного демпфирования равен

$$k = -4 \frac{B^2 \pi^2 r_1 r n}{\sqrt{X_L^2 + R^2}}. \quad (14)$$

Подставляя теперь значения физических величин $B = 0.5$ Тл, $r_1 = 0.01$ м, $r = 0.012$ м, $N = 100$, $R = 0.1$ Ом, $X_L = 0.01$ Ом, $n = 10$ в выражения для коэффициентов k и c , построим амплитудно-частотную характеристику системы (рис. 2)

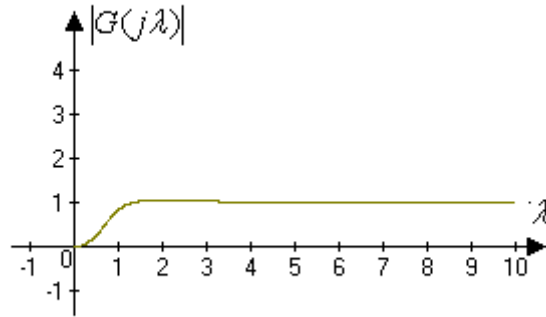


Рисунок 2. АЧХ системы с электромагнитным подвесом и демпфированием с помощью катушки и резистора

Демпфирование с помощью катушка, замкнутой на резистор, позволяет получить более равномерную частотную характеристику. Наиболее просто осуществлять управление параметрами преобразователя с помощью идеального дифференцирующего звена, включенного в обратную связь параллельно пропорциональному звену (рис. 3).

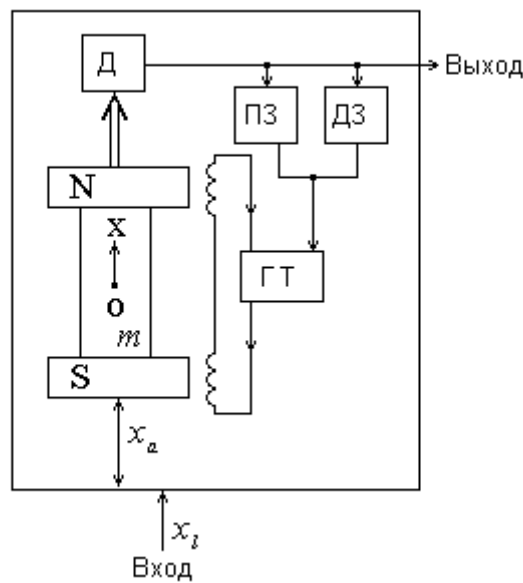


Рисунок 3. Датчик с управляемым электромагнитным подвесом:

Д – датчик, NS – подвижный магнит, ПЗ – пропорциональное звено, ДЗ – дифференцирующее звено, ГТ – генератор тока

Очевидно, что для электромеханического преобразователя с обратной связью целесообразно использовать цифровой ПИД регулятор, который

обладает большими функциональными возможностями и может программно в зависимости от условий и требований к измерительному устройству обоснованно выбирать оптимальные параметры. Так, например, в зависимости от частотного диапазона колебаний объекта цифровой ПИД регулятор позволит определять параметры преобразователя с равномерной частотной характеристикой. Для вычисления параметров преобразователя, обеспечивающих необходимые метрологические характеристики, цифровой ПИД регулятор должен содержать цифровое вычислительное устройство. Таким образом, электромеханический преобразователь с обратной связью с цифровым ПИД регулятором и вычислительным блоком представляет собой интеллектуальную электромеханическую систему.

Параметры ПИД регулятора могут быть получены по аналоговой модели. Приведем методику построения цифрового ПИД регулятора.

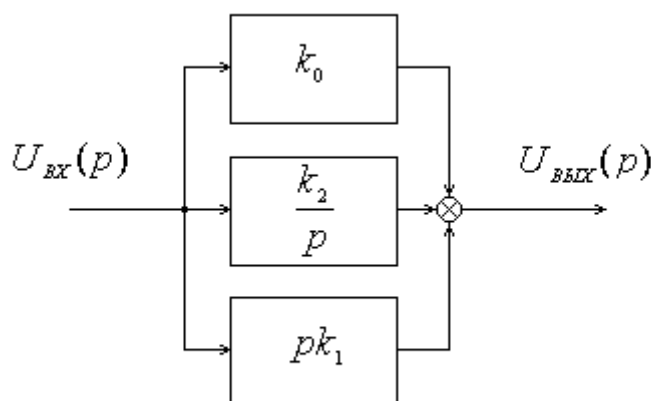


Рисунок 4. Блок-схема ПИД-регулятора

Передаточная функция аналогового ПИД регулятора определяется выражением

$$W(p) = \frac{U_{BX}(p)}{U_{ВЫХ}(p)} = k_0 + pk_1 + \frac{k_2}{p}. \quad (15)$$

Преобразуем аналоговую передаточную функцию регулятора в дискретную форму методом z-форм. Для этого заменим аналоговую переменную p дискретной переменной z по правилу [7]

$$p = \frac{z-1}{Tz}. \quad (16)$$

После преобразования получаем выражение:

$$W(z) = \frac{\frac{k_1}{T} + k_0 + Tk_2 + z^{-1}(-k_0 - \frac{2k_1}{T}) + \frac{k_1}{T}z^{-2}}{1 - z^{-1}}. \quad (17)$$

Для удобства синтеза фильтра выражение (17) целесообразно привести к следующей форме [7]:

$$W(z) = \frac{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_mz^{-m}}{1 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_hz^{-h}}. \quad (18)$$

Определим коэффициенты при степенях z :

$$a_0 = \frac{k_1}{T} + k_0 + Tk_2, \quad a_1 = -k_0 - \frac{2k_1}{T}, \quad a_2 = \frac{k_1}{T}, \quad (19)$$

$$b_0 = 1,$$

$$b_1 = -1.$$

Блок – схема цифрового ПИД- регулятора приведена на рис. 5 [7].

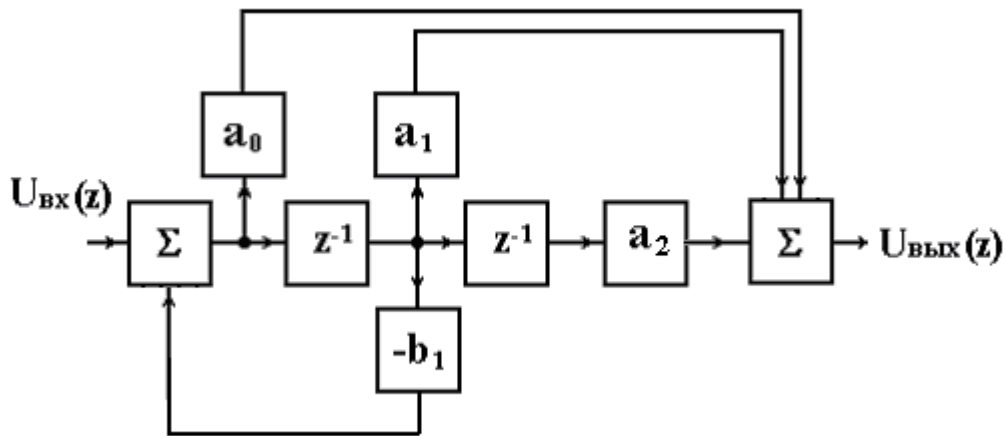


Рисунок 5. Блок-схема цифрового ПИД регулятора

Для нахождения реакции на входное воздействие в тактовые моменты времени используется разностное уравнение [7]:

$$u_{\text{ВЫХ}}[n] = \sum_{k=0}^m a_k u_{\text{ВХ}}[n-k] - \sum_{k=1}^h b_k u_{\text{ВЫХ}}[n-k], \quad (20)$$

Выводы. Интеллектуальный электромеханический преобразователь позволяет осуществлять измерение низкочастотных колебаний в широком частотном диапазоне с необходимой точностью. Использование цифровых элементов позволяет расширить низкочастотную границу диапазона, а применение цифровых систем управления обеспечивает максимально возможную точность измерения и взаимодействие с другими преобразователями информационно-измерительной системы.

Список литературы

1. Измерения, контроль, испытания и диагностика. Т III / В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др. М.: Машиностроение. 1996. 464с.
2. Токарев, С. С. Новые разработки ООО НПП «ВИКОНТ» / С. С. Токарев; под общ. ред. Е. В. Мартынова // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в республике Татарстан: сб. докл. VII Междунар симп., Казань, 5-7 декабря 2006 г. – Казань, 2006. – С. 152 – 159.
3. Краус, М. Измерительные информационные системы / М. Краус, Э. Воши. – М.: Мир, 1975. – 310 с.
4. Аш и соавторами. Датчики измерительных систем: в 2 кн. Кн. 2. Пер. с франц. под ред. А. С. Обухова. М.: Мир, 1992, – 424с.
5. Шилин, А.Н. Моделирование вибропреобразователя с электромагнитным подвесом / А.Н. Шилин, М.Н. Седов // Приборы. - 2008. - № 12. - С. 41-44.
6. П. м. 95832 РФ, МПК G 01 H 11/02. Устройство для измерения вибраций / М.Н. Седов, А.Н. Шилин; ГОУ ВПО ВолгГТУ. - 2010.
7. Шилин, А.Н. Цифровое моделирование электротехнических и электронных устройств: монография / А.Н. Шилин, О.А. Крутякова; Российская Академия Естествознания, Издательский дом РАЕ. – Москва : ИД «Академия Естествознания», 2014. - 131 с.

Настоящее исследование является развитием идей по гранту 18-47-34002 «Умная опора» воздушных линий активно-адаптивных электрических сетей».

©, Шилин А.Н., Шилин А.А., Муханнад Н.М., – 2020

УДК 621.31

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

***Шилин Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: eltech@vstu.ru*

***Кузнецова Надежда Сергеевна**, кандидат технических наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: artex23@yandex.ru*

***Коптелова Ирина Александровна**, кандидат технических наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоград, пр. Им. Ленина, 28, e-mail: shilina@yandex.ru*

Аннотация

В связи с внедрением компьютерных технологий в учебный процесс возникает необходимость разработки методов численного моделирования. Это особенно актуально в технических колледжах при изучении динамических свойств технических систем, описываемых дифференциальными уравнениями высокого порядка. Для решения таких задач еще до внедрения компьютерных технологий были разработаны различные графические методы инженерного расчета и анализа, но эти методы громоздки и неточны. В настоящее время из-за широкого внедрения цифровых подстанций в электроэнергетике существует необходимость в цифровом моделировании электрических и электронных

устройств. Основной математической моделью электромеханических и электронных устройств является их эквивалентная схема. Поэтому для удобства моделирования электрических цепей был разработан дискретно-операторный метод, который позволяет получать разностные уравнения непосредственно в соответствии со схемой. Этот метод может быть использован при модернизации аналоговых систем управления, поскольку он позволяет получать схемы цифровых фильтров или алгоритмы цифровой обработки сигналов на универсальных компьютерах с использованием электрических схем аналоговых регуляторов. На основании проведенного исследования методов моделирования получены выводы для практических расчетов.

Ключевые слова

цифровое моделирование, операторный метод, z-преобразование, диаграмма состояний, цифровой фильтр, синтез цифровых устройств, рекуррентные методы.

DIGITAL MODELING OF DYNAMIC PROCESSES OF ELECTRICAL DEVICES

Shilin Alexander Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, Volgograd State Technical University, 400005, Volgograd, etc. Lenin, 28, e-mail: eltech@vstu.ru

Kuznetsova Nadezhda Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University, 400005, Volgograd, etc. Lenin, 28, e-mail: artex23@yandex.ru

Koptelova Irina Aleksandrovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University, 400005, Volgograd, etc. Lenin, 28, e-mail: shilina@yandex.ru

Abstract

In connection with the introduction of computer technology into the educational process, the need arises to develop numerical simulation methods. This is especially

relevant in technical colleges when studying the dynamic properties of technical systems described by high-order differential equations. To solve such problems, even before the introduction of computer technology, various graphical methods of engineering calculation and analysis were developed, but these methods are cumbersome and inaccurate. At present, due to the widespread introduction of digital substations in the power industry, there is a need for digital modeling of electrical and electronic devices. The basic mathematical model of electromechanical and electronic devices is their equivalent circuit. Therefore, for the convenience of modeling electrical circuits, an operator-discrete method has been developed that allows one to obtain difference equations directly according to the circuit. This method can be used in the modernization of analog control systems, since it makes it possible to obtain digital filter circuits or digital signal processing algorithms on universal computers using electrical circuits of analog regulators. On the basis of the conducted research of modeling methods, conclusions for practical calculations are obtained.

Keywords

digital modeling, operator method, z-transformation, state diagram, digital filter, digital device synthesis, recurrent methods

В связи с внедрением в учебный процесс вычислительной техники возникает необходимость в разработке численных методов моделирования. Особенно актуально это в технических вузах при изучении динамических свойств технических систем, описываемых дифференциальными уравнениями высокого порядка. Для решения таких задач еще до внедрения вычислительной техники были разработаны различные графические методы инженерного расчета и анализа. Так, например, в электротехнике и теории автоматического управления широко используются векторные и круговые диаграммы, аппроксимированные частотные характеристики и различные номограммы. Все эти методы являются громоздкими, неточными и занимают сравнительно большой объем этих дисциплин. Кроме того, некоторые методы, например, такие как векторные диаграммы, используют абстрактные величины, что усложняет

процесс усваивания материала. Широко внедряемые в настоящее время в учебный процесс пакеты таких программ, как MatLab, MathCad, Maple, Mathematica и др. не позволяют изучать творчески процесс моделирования технических систем. Кроме того, в описании этих программ часто не приводятся используемые методы численного моделирования, области применения и погрешность моделирования и др. Поскольку эти программы универсальны, то для сложных технических объектов они не всегда могут быть использованы, а в цифровых системах управления в реальном времени они вообще не применимы. Поэтому при внедрении вычислительной техники в учебный процесс возникает необходимость в разработке методов математического моделирования для конкретных технических объектов с учетом заданных требований и их особенностей. Кроме того, в настоящее время в связи с широким внедрением в энергетике цифровых подстанций возникает необходимость цифрового моделирования электротехнических и электронных устройств.

Проблемы моделирования. Моделирование динамических процессов электротехнических и электронных устройств основано на использовании дифференциальных уравнений. Этому методу присущи недостатки: невозможность аналитического вычисления интеграла для некоторых математических выражений и трудоемкость решения задачи для систем с несколькими устройствами. В операторном методе [1] операция сверки двух функций заменяется произведением их изображений. Основной недостаток этого метода: невозможность аналитического определения полюсов дробной рациональной функции изображения при высоких степенях. В настоящее время известны численные методы обратного преобразования Лапласа [2], однако алгоритмы, реализующие эти методы, являются довольно громоздкими. Для анализа электронных устройств широко применяются компьютерные программы [3], использующие в качестве исходной информации разностные уравнения состояния схем замещения устройств [2-3]. Эти программы позволяют определять переходную функцию при нулевых начальных условиях, то есть реакцию на единичный сигнал. Если проектируемое устройство должно

работать при воздействии плавных сигналов, то выбор параметров устройства по переходной функции завышает требования на эти параметры. Теоретической основой цифровых систем управления является z -преобразование [4-5], важным свойством которого является возможность нахождения оригинала функции с помощью разложения дробной рациональной функции изображения в ряд Лорана по убывающим степеням z [5]. Для моделирования динамических процессов в электрических системах разработан операторно-рекуррентный метод [5], основанный на использовании z -преобразования. Этот метод позволяет эффективно решать довольно широкий круг задач: линейных, нелинейных, дискретных, непрерывных, с переменными параметрами и изменяющейся структурой, с параметрическими обратными связями, со звеньями запаздывания. Однако этому методу присущ недостаток - в качестве исходной информации для определения изображений используются математические уравнения. В тоже время основной математической моделью электромеханических и электронных устройств являются их схемы замещения. Поэтому для удобства моделирования электрических схем разработан операторно-дискретный метод, позволяющий получить разностные уравнения непосредственно по схеме [6].

Этот метод может быть использован при модернизации аналоговых систем управления, поскольку позволяет по электрическим схемам аналоговых регуляторов получать схемы цифровых фильтров или алгоритмы цифровой обработки сигналов на универсальных компьютерах. Таким образом, операторно-дискретный метод обладает большими потенциальными возможностями при моделировании динамических свойств технических систем и при внедрении в учебный процесс позволяет получить значительный эффект.

Операторно-дискретный метод. Любая сложная электрическая схема представляет собой соединение ветвей с элементами и источниками. Поэтому для ветви, содержащей источник ЭДС - $e(t)$, элементы R , L , и C и имеющей начальные условия $(i(0), u_c(0))$ (рис. 1, а), получено Z -изображение

дискретизированного уравнения ветви и выражение закона Ома в операторно-дискретной форме [6]

$$I(z) = \frac{U_{ab}(z) + E(z) + E_{en}(z)}{Z(z)}, \quad (1)$$

где $Z(z) = R + L \frac{z-1}{T} + \frac{zT}{(z-1)C}$ - операторно-дискретное сопротивление ветви;

$E_{BH}(z) = \frac{Lzi(0)}{T} - \frac{u_c(0)z}{z-1}$ - изображение внутренних источников ЭДС, введение

которых обусловлено запасом энергии в реактивных элементах цепи; T – период дискретизации.

Уравнению (1) соответствует схема замещения ветви (рис. 1, б).

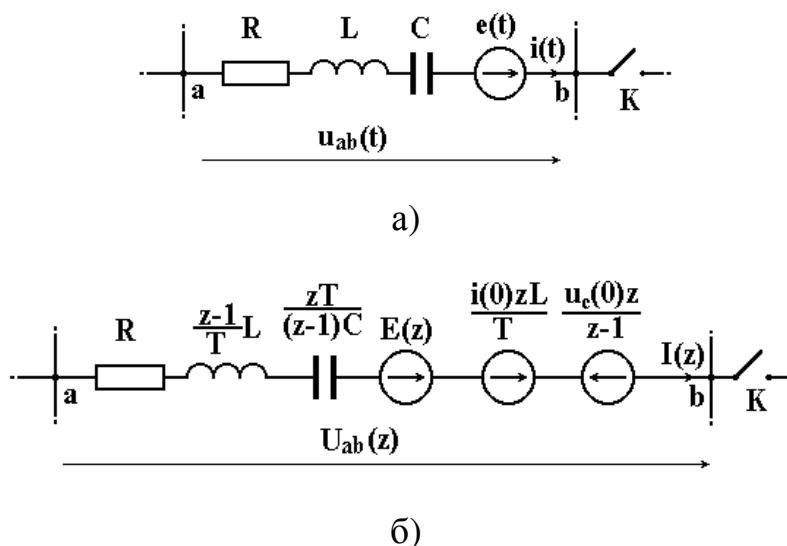


Рисунок 1. Схема замещения ветви

С помощью полученных выражений (1) может быть определена импульсная передаточная функция электронного устройства непосредственно по схемам замещения

$$W(z) = \frac{U_{eblX}(z)}{U_{eX}(z)} = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_h z^{-h}}. \quad (2)$$

Для нахождения реакции на входное воздействие в тактовые моменты времени может быть использовано разностное уравнение [5]

$$u_{eblX}[n] = \sum_{k=0}^m a_k u_{eX}[n-k] - \sum_{k=1}^h b_k u_{eblX}[n-k], \quad (3)$$

коэффициенты которого определяются непосредственно по уравнению без вычислений.

Переход от изображения к оригиналу функции - уравнениям состояния может быть выполнен по диаграмме состояния [4]. Определяя в качестве переменных состояния выходные сигналы узлов всех элементов задержки и применяя формулу Мезона, можно получить уравнения динамики и переходное уравнение состояния непосредственно из диаграммы состояния. Для этого по уравнению передаточной функции составляется диаграмма состояния, а затем из нее исключаются элементы задержки - z^{-1} и осуществляется переход с помощью формулы Мезона к уравнениям состояния системы. Так, например, передаточной функции с $m=h=4$ соответствует диаграмма состояния (рис.2)

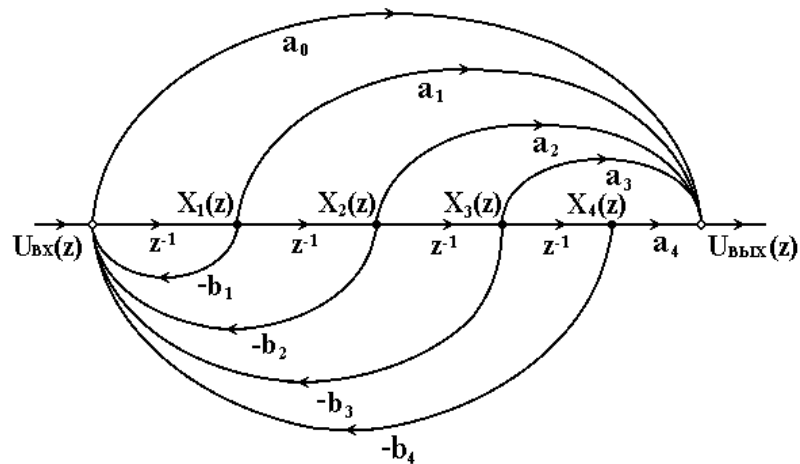


Рисунок 2. Диаграмма состояния

После исключения блоков задержки - z^{-1} из диаграммы состояния (рис.2) получены уравнения состояния и выходного сигнала (рис. 3)

$$\begin{aligned}
 x_1[n+1] &= -b_1x_1[n] - b_2x_2[n] - b_3x_3[n] - b_4x_4[n] + u_{\text{ex}}[n]; \\
 x_2[n+1] &= x_1[n]; \\
 x_3[n+1] &= x_2[n]; \\
 x_4[n+1] &= x_3[n]
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$u_{\text{вых}}[n] = a_0x_1[n+1] + a_1x_1[n] + a_2x_2[n] + a_3x_3[n] + a_4x_4[n]
 \tag{5}$$

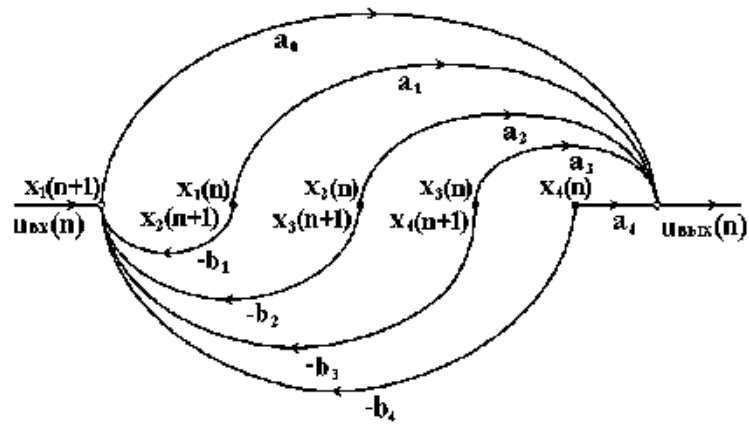


Рисунок 3

Методики моделирования. Диаграмма состояния импульсной передаточной функции устройства совпадает со структурой цифрового фильтра [4], реализующего эту задачу. Диаграмме состояния (рис. 2) соответствует структурная схема цифрового фильтра (рис. 4). Это свойство может быть использовано при замене аналоговых устройств цифровыми фильтрами, т.е. при модернизации систем управления. Синтез цифровых устройств по аналоговым моделям является весьма актуальной задачей, поскольку существует большое число научных разработок в различных отраслях техники в виде принципиальных электрических схем или схем замещения. В настоящее время существуют методики определения точности цифровой фильтрации [7]. Эта методика использовалась при проектировании цифрового корректирующего фильтра для оптоэлектронного измерительного преобразователя [8].

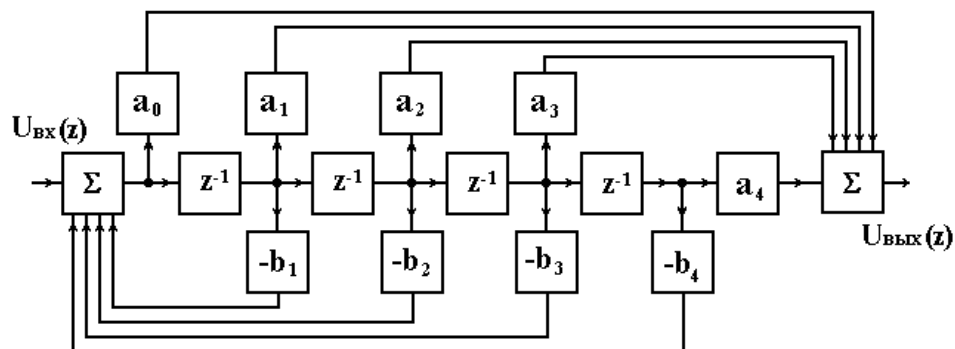


Рисунок 4

Операторно-дискретный метод позволяет получить значительный эффект при численном моделировании нелинейных устройств. Так, например, при решении нелинейных рекуррентных уравнений в каждом такте вычислений изменяются коэффициенты уравнений в зависимости от входного или выходного сигналов. На диаграмме состояния дискретной модели нелинейного устройства (рис. 5) изображены функциональные связи коэффициентов разностных уравнений с входом и выходом через фиксатор нулевого порядка, позволяющим хранить информацию в течение всего периода дискретизации.

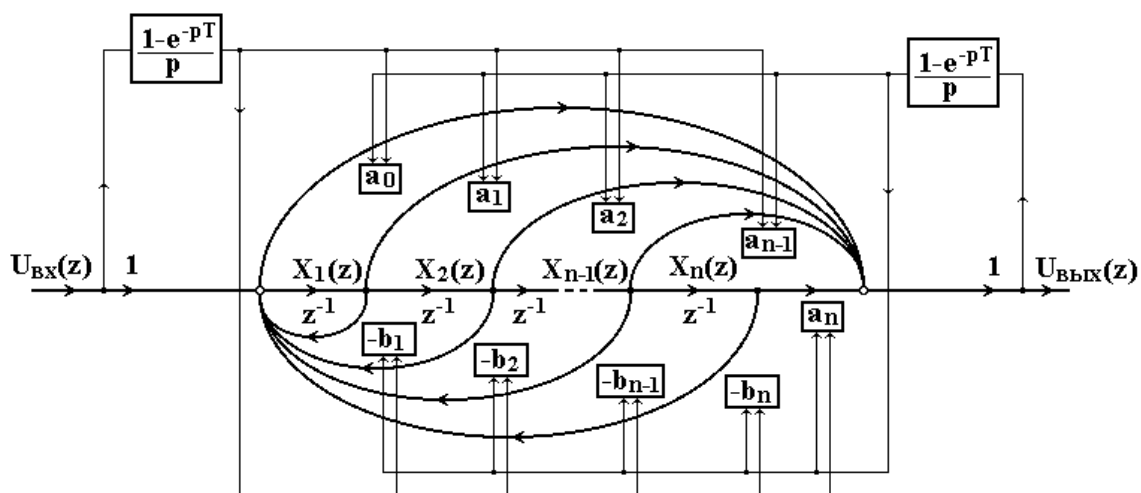


Рисунок 5. Диаграмма состояния дискретной модели нелинейного устройства

Расчет и анализ блоков АРУ, имеющих относительно несложную схемотехническую реализацию, является более сложной операцией, поскольку блоки АРУ используют мультипликативную обратную связь, то есть являются параметрическими автоматическими устройствами. Получение математических моделей в аналитической форме для параметрических автоматических систем является довольно сложной задачей. Поэтому для расчета и анализа блоков АРУ было использовано Z-моделирование [9]. По этой же методике был проведен расчет формы сигнала при прохождении через оптоэлектронный тракт с фотоприемником, имеющим нелинейную характеристику.

Погрешности моделирования. При использовании рекуррентных методов моделирования динамических характеристик основными погрешностями являются квантование функции, квантование коэффициентов

рекуррентного уравнения и округление результатов арифметических операций. Из этих трех погрешностей наиболее значимой является погрешность округления, которая накапливается за счет рекуррентного процесса. Наибольшее влияние на погрешность моделирования оказывает период дискретизации T , который определяется минимальной постоянной времени устройства τ . На основе проведенных исследований методов моделирования получены выводы для практических расчетов [10]: период дискретизации должен выбираться из условия $\tau/T \geq 150$, а максимальная степень полиномов изображения не должна превышать восьми.

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. / Л.А. Бессонов - М.: Высшая школа, 1978-528с.
2. Влах И., Машинные методы анализа и проектирования электронных схем: Пер. с англ. / И. Влах, К. Сингхал -М.: Радио и связь, 1988. - 560 с.
3. Нерретер В. Расчет электрических цепей на персональной ЭВМ: Пер. с нем. / В. Нерретер - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 220 с.
4. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: Пер. с англ. / Б. Куо - М.: Машиностроение, 1986.
5. Шипилло В.П. Операторно-рекуррентный анализ электрических цепей и систем. / В.П. Шипилло - М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. Шилин А.Н. Операторно-дискретный метод анализа электрических цепей / А.Н. Шилин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2000. - № 7. - С. 50-56.
7. Шилин А.Н. Точность цифровых систем управления с рекуррентными алгоритмами/ А.Н. Шилин // Приборы и системы управления. - 1999. - №7. - С. 5-8.

8. Шилин А.Н., Зенина Е.Г. Синтез цифровых фильтров по аналоговым моделям/ А.Н. Шилин, Е.Г. Зенина // Приборы и системы управления. - 1999. - № 5. - С. 34-38.

9. Шилин А.Н., Бедкин С.А. Компьютерное моделирование адаптивных электронных усилителей / А.Н. Шилин, С.А. Бедкин// Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2001. - № 5. - С.40-43.

10. Шилин А.Н., Зенина Е.Г., Бедкин С.А. Исследование методов цифрового моделирования аналоговых САУ/ А.Н. Шилин, Е.Г. Зенина, С.А. Бедкин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2001. - № 7. - С.46-50.

11. Шилин А.Н., Крутякова О.А. Цифровое моделирование электротехнических и электронных устройств: монография / А.Н. Шилин, О.А. Крутякова. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2014. – 132 с.

Настоящее исследование является развитием идей по гранту РФФИ 18-47-34002 «Умная опора» воздушных линий активно-адаптивных электрических сетей».

©, Шилин А.Н., Кузнецова Н.С., Коптелова И.А., – 2020

Секция 2.

Ценология.

***Методологические вопросы ценологии
в фундаментальных
и прикладных исследованиях***

*секция 2 посвящается памяти доктора технических наук,
профессора Кудрина Бориса Ивановича*

БОРИС ИВАНОВИЧ КУДРИН
(1934 – 2020)



Немногим более полугода прошло со дня кончины Бориса Ивановича Кудрина, доктора технических наук, профессора, инженера и педагога, исследователя и практика, первопроходца и первооткрывателя, энциклопедиста и методолога, технария и гуманитария в одном лице, бесстрашного и упорного бойца, на первых порах почти в одиночку защищавшего и отстаивавшего своё удивительное открытие, предложенный миру новый взгляд, новый подход и направления исследований мира технического, а самое главное – закономерностей неразрывной связи и взаимопроникновения живого биологического и технетического – технического. И совсем не случайно предложенные Борисом Ивановичем математический аппарат гиперболических ранговых распределений по параметру и особенно использованная им терминология частично заимствованы у биологов и приложены к процессам и явлениям мира технетического. В словаре "Глобалистика" немало предложенных Борисом Ивановичем и ценологической школой совершенно новых терминов и определений. Надо надеяться, что эти термины и определения войдут в новую редакцию Большой российской энциклопедии, российских Энциклопедического и Технического словарей. Надеемся также, что ценологическое общество, собравшись с силами и руководствуясь назревающей необходимостью, объединит усилия и разработает концепцию и основы нового учебника "Начала техноценологии" как предмета для средней школы и средних и высших специальных учебных заведений, с необходимыми новому поколению специалистов представлениями для изменения человеческого мировоззрения с учётом техноценологических знаний. Борису Ивановичу была присуща удивительная способность анализировать проблему или явление до самой глубины и выдвигать целесообразное и внятное решение.

Кандидатов и докторов наук подготовлено и выпущено Борисом Ивановичем более 50.

На завершающем этапе жизненного пути Борис Иванович в 2009 г. был награждён званием "Почётный работник высшего профессионального образования РФ", а в 2018 г. – премией МЭИ и Знаком "Почёт и признание поколений".

**О РАНГОВОМ ГИПЕРПАРАМЕТРИЧЕСКОМ
РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕХНОЦЕНОЗА**

Гнатюк Виктор Иванович,

доктор технических наук, профессор

Калининградский государственный технический университет

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1

Website: <http://www.gnatukvi.ru>

E-mail: mail@gnatukvi.ru

Аннотация

Задача комплексной оценки процесса электропотребления одновременно как с количественной, так и с качественной точек зрения впервые решается введением нового понятия рангового гиперпараметрического распределения техноценоза, под которым понимается заданная в трехмерном ранговом параметрическом пространстве функция трех переменных, ставящая в соответствие множеству значений дифлекс-параметра множество значений электропотребления, ранговой топологической меры, а также дифлекс-угла.

Ключевые слова

техноценоз, ранговый анализ, электропотребление, дифлекс-анализ, дифлекс-параметр, ранговое гиперпараметрическое распределение, ранговая гиперпараметрическая поверхность, дифлекс-угол, дамадж-параметр.

**ON THE RANK HYPERPARAMETRIC
DISTRIBUTION OF TECHNOCENOSIS**

Gnatyuk Victor Ivanovich,

Grand Doctor of Engineering, Full Professor

Kaliningrad state technical university

1 Sovietsky prospect Kaliningrad Russia 236022

Website: <http://www.gnatukvi.ru>

E-mail: mail@gnatukvi.ru

Abstract

The task of comprehensively evaluating the process of energy consumption simultaneously from both a quantitative and a qualitative point of view is first solved by introducing a new concept of rank hyperparametric distribution of technocenosis, which is understood as a function of three variables defined in three-dimensional rank parametric space, which sets the set of values of the difflex parameter to values of power consumption, ranking topological measure, as well as difflex angle.

Keywords

technocenosis, rank analysis, rank parametric distribution, power consumption, difflex analysis, difflex parameter, rank hyperparametric distribution, rank hyperparametric surface, difflex angle, damage parameter.

Еще раз обратимся к ранговому анализу как основному методу исследования техноценозов. По определению – это метод исследования техноценозов, имеющий целью их статистический анализ, а также оптимизацию, и полагающий в качестве критерия форму ранговых параметрических распределений. Включает стандартные процедуры параметрического нормирования, интервального оценивания, прогнозирования, нормирования и потенцирования. Более тонкий анализ рангового параметрического распределения позволяет существенно повысить эффективность рангового анализа. Он осуществляется в рамках следующих «тонких» процедур: дифлекс-анализа (на этапе интервального оценивания), GZ-анализа (на этапе прогнозирования), ASR-анализа (на этапе нормирования) и ZP-анализа (на этапе потенцирования) [1-11].

Известно, что основным инструментом рангового анализа является ранговое параметрическое распределение. Вообще под ранговым распределением понимают полученное в результате процедуры ранжирования

видов или особей техноценоза по какому-либо параметру распределение Ципфа в ранговой дифференциальной форме, по сути, являющееся невозрастающей последовательностью значений самих параметров, поставленных в соответствие рангу. Различают ранговые распределения, в которых ранжируются виды по количеству особей, которым они представлены в техноценозе (ранговые видовые), или объекты по значению параметра (ранговые параметрические) [1,11]. Применительно к параметру электропотребления нас будут интересовать ранговые параметрические распределения. И здесь необходимо вспомнить ряд понятий.

По определению под электропотреблением понимается управляемый (фиксируемый в базе данных, оцениваемый, прогнозируемый, нормируемый и потенцируемый) процесс потребления электроэнергии приемниками или потребителями, осуществляемый автономно либо в составе техноценоза. Управление электропотреблением осуществляется с целью обеспечения приемников или потребителей электроэнергией в необходимом количестве и требуемого качества с максимальной экономией электроэнергии и минимизацией затрат на всестороннее обеспечение данного процесса. Таким образом, электропотребление как процесс должно описываться комплексным показателем, характеризующим как количественную, так и качественную стороны. Очевидно, что собственно электропотребление как показатель этому требованию не отвечает, так как отражает только количественную сторону процесса.

Ранее нами в рамках процедуры дифлекс-анализа был предложен параметр, описывающий качество процесса электропотребления [1,11]. Дифлекс-анализ – тонкая процедура рангового анализа техноценоза, осуществляемая на этапе интервального оценивания с целью разработки оптимального плана углубленных обследований «аномальных» объектов на среднесрочную перспективу (до 5–7 лет). При этом предполагается, что основным параметром процедуры дифлекс-анализа является дифлекс-параметр, под которым понимается отклонение (абсолютное или относительное)

эмпирического значения электропотребления объекта техноценоза от нижней границы области допустимых значений (рис. 1). Учитывая сугубо эмпирический характер данного параметра, предлагается его отныне называть ранговым дифлекс-параметром.

Дифлекс-показатель – это мера, отражающая свойство объектов техноценоза осуществлять процесс электропотребления с большей или меньшей степенью энергоэффективности. В данном случае под энергоэффективностью понимается показатель, отражающий уровень минимизации количества электроэнергии для полного обеспечения питаемого технологического процесса.

Дифлекс-показатель k -го объекта техноценоза количественно может характеризоваться абсолютным ранговым дифлекс-параметром (рис. 1):

$$\Delta W(r_k) = \left| W(r_k) - W^H(r_k) \right|, \quad (1)$$

- где
- $W(r_k)$ – эмпирическое значение электропотребления k -го объекта в рассматриваемый момент времени;
 - $W(r)$ – ранговое параметрическое распределение;
 - r_k – ранг k -го объекта на распределении;
 - $W^H(r_k)$ – электропотребление, соответствующее k -му рангу на нижней границе области допустимых значений.

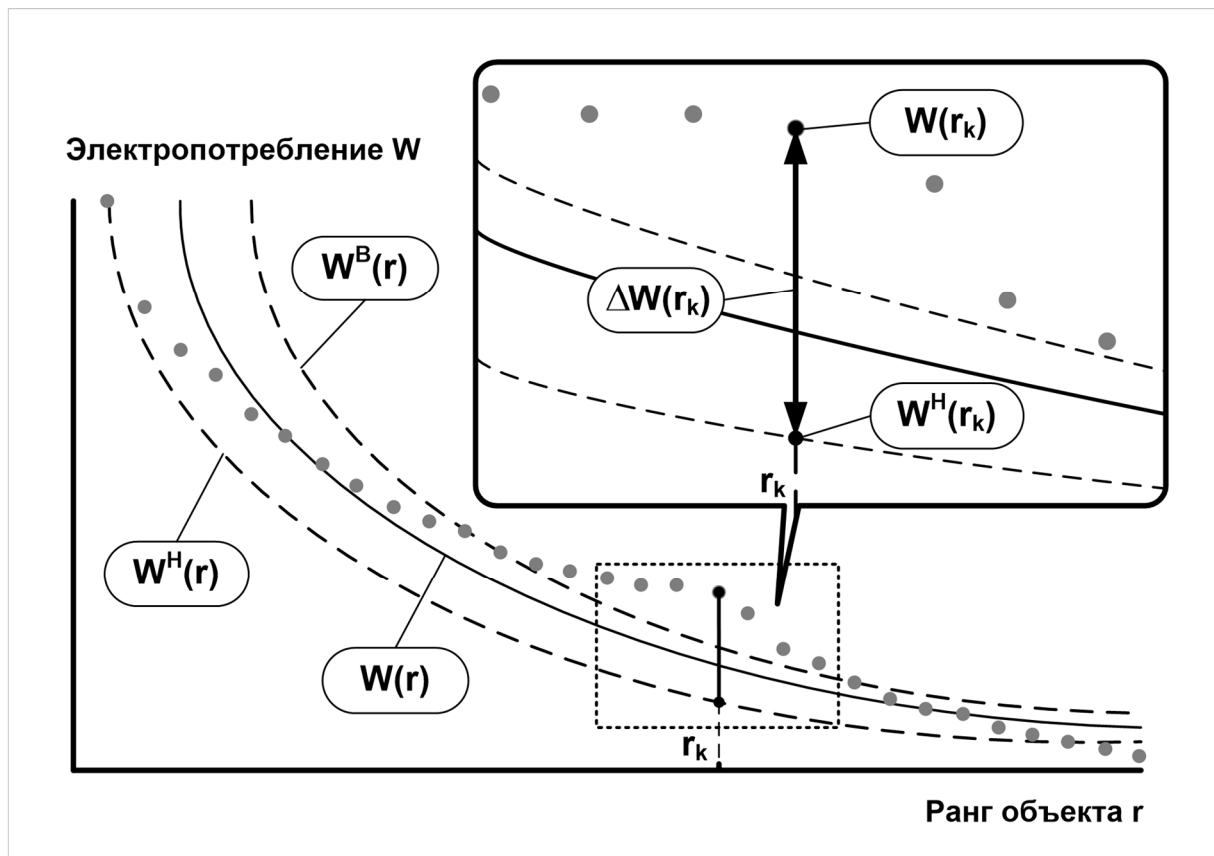


Рис. 1. К понятию рангового дифлекс-параметра

В ряде случаев (при рассмотрении техноценоза в динамике либо при необходимости распределения объектов по функциональным группам) можно вести речь также и об относительном ранговом дифлекс-параметре:

$$\Delta W^o(r_k) = \frac{|W(r_k) - W^H(r_k)|}{W(r_k)}. \quad (2)$$

С целью теоретического обобщения рассмотрим процедуру дифлекс-анализа в области ранговой топологии. Аппроксимация рангового параметрического распределения по электропотреблению позволяет перейти от частной эмпирической выборки к вероятностному распределению генеральной совокупности. Это позволяет ввести понятие ранговой топологической меры и определить топологический дифлекс-параметр (рис. 2) [1,11].

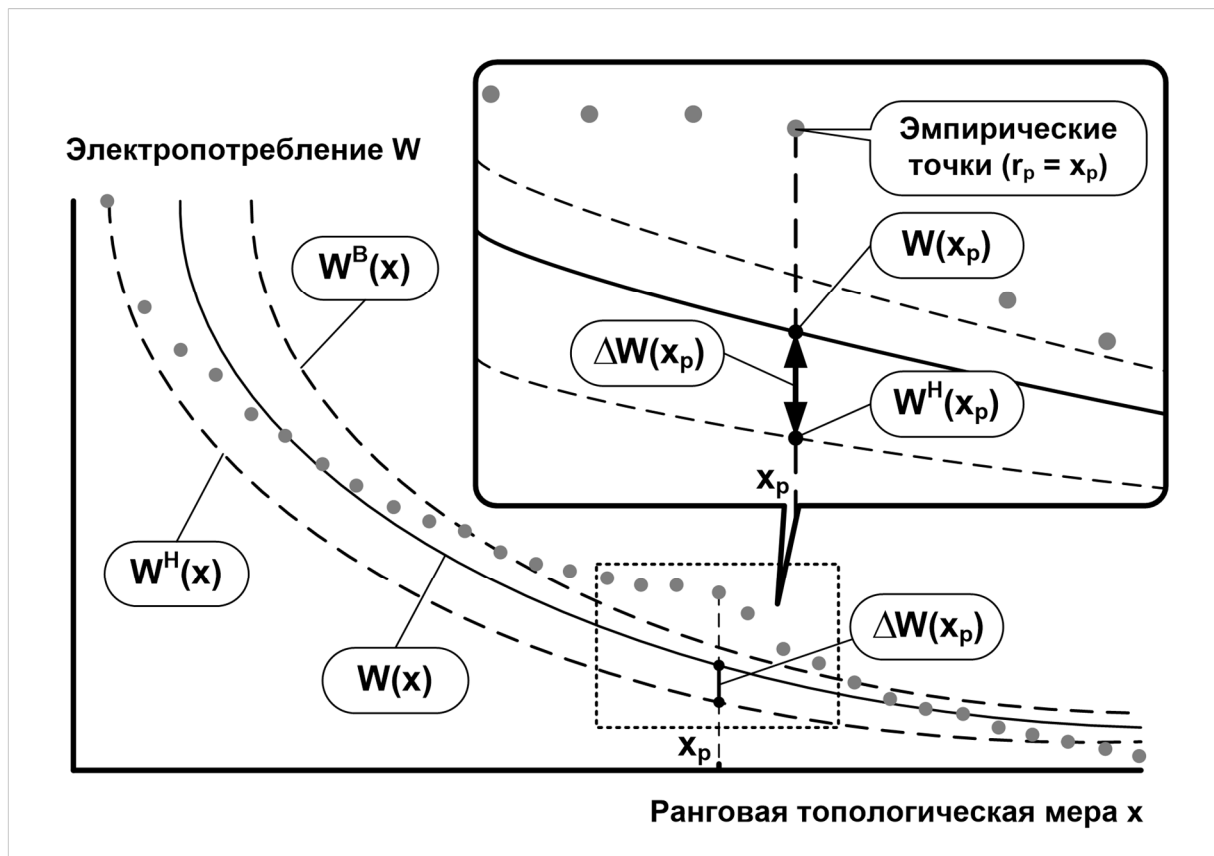


Рис. 2. Топологический дифлекс-параметр по электропотреблению

Подобное континуальное представление позволило в [11] установить однозначное функциональное соответствие между областью значений дифлекс-параметра и множеством значений ранговой топологической меры (рис. 2):

$$\Delta W(x_p) = W(x_p) - W^H(x_p), \quad (3)$$

где $W(x_p)$ – значение электропотребления, соответствующее расчетному значению на аппроксимационной кривой;
 $W^H(x_p)$ – значение электропотребления на нижней границе области допустимых значений.

Остается задача полноценной характеристики процесса электропотребления одновременно как с количественной, так и с качественной

точек зрения, которая в [11] впервые решается введением принципиально новых понятий. Первое из них – ранговая гиперпараметрическая поверхность техноценоза, под которой понимается заданная в трехмерном ранговом параметрическом пространстве функция двух переменных, ставящая в однозначное соответствие множеству значений топологического дифлекс-параметра множество значений электропотребления и ранговой топологической меры. Второе – ранговое гиперпараметрическое распределение техноценоза, под которым понимается заданная в трехмерном ранговом параметрическом пространстве функция трех переменных, ставящая в соответствие множеству значений дифлекс-параметра множество значений электропотребления, ранговой топологической меры, а также дифлекс-угла. Обе функции могут быть получены в результате аппроксимации:

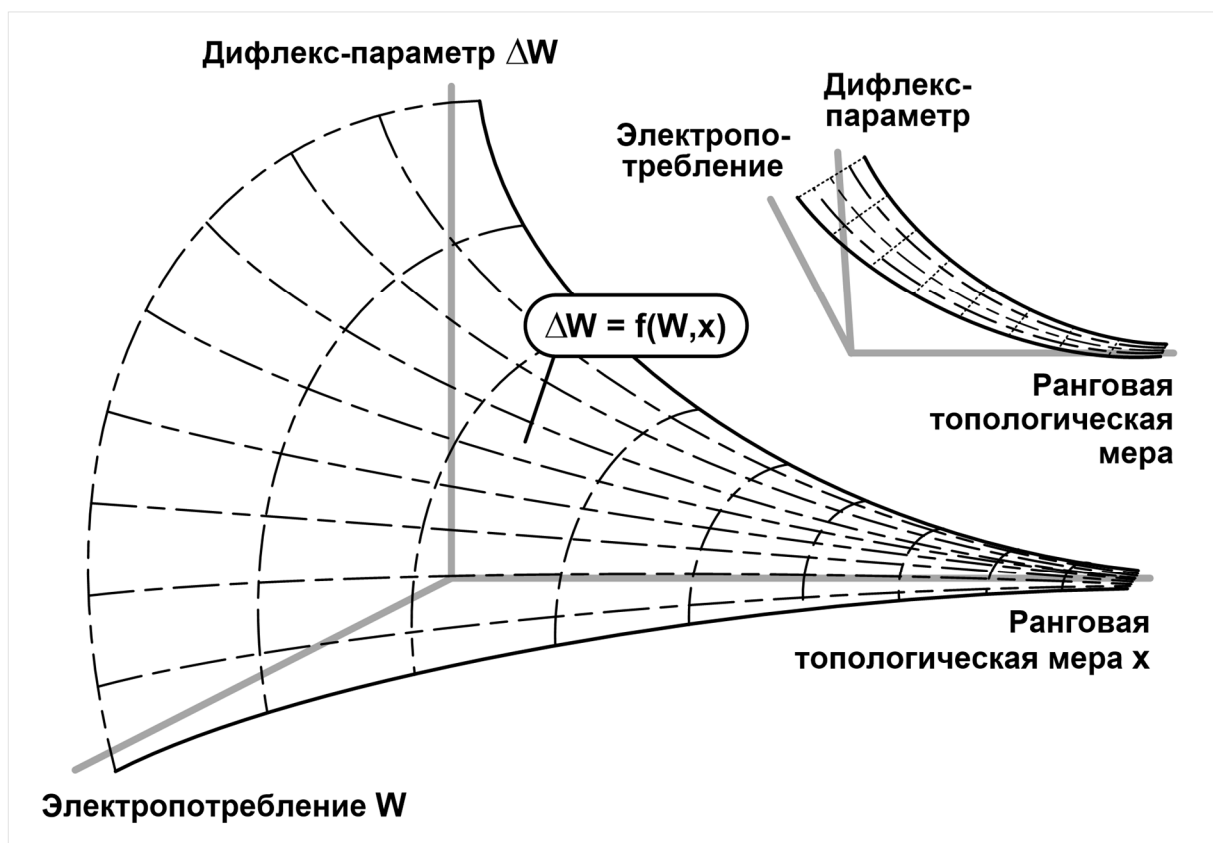
$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta W_p \}_{p=0}^{+\infty} \xrightarrow{f: \Delta W \rightarrow W, X} \{ W_p, X_p \}_{p=0}^{+\infty} \xrightarrow{\text{Approx}} \Delta W(W, x); \\ \Delta W_p \}_{p=0}^{+\infty} \xrightarrow{f: \Delta W \rightarrow W, X, A} \{ W_p, X_p, A_p \}_{p=0}^{+\infty} \xrightarrow{\text{Approx}} \Delta W(W, x, \alpha), \end{array} \right. \quad (4)$$

где $\{ \Delta W_p \}_{p=0}^{+\infty}$ – множество значений дифлекс-параметра;
 α – дифлекс-угол техноценоза;
 $\{ W_p, X_p \}_{p=0}^{+\infty}$ – множество значений электропотребления и ранговой топологической меры;
 $\{ W_p, X_p, A_p \}_{p=0}^{+\infty}$ – множество значений электропотребления, ранговой топологической меры и дифлекс-угла.

Ранговая гиперпараметрическая поверхность техноценоза описывается уравнением аффинной поверхности второго порядка, а ранговое гиперпараметрическое распределение – соответствующим уравнением рациональной кривой второго порядка (о дифлекс-угле будет сказано ниже):

$$\begin{cases} \Delta W = f(W, x); \\ \Delta W = f(W, x, \alpha). \end{cases} \quad (5)$$

На рисунке 3 показаны гиперболические поверхность и кривая, с одной стороны асимптотически сходящиеся к координатной оси ранговой топологической меры, а с другой – к координатной плоскости $\langle \Delta W \square W \rangle$.



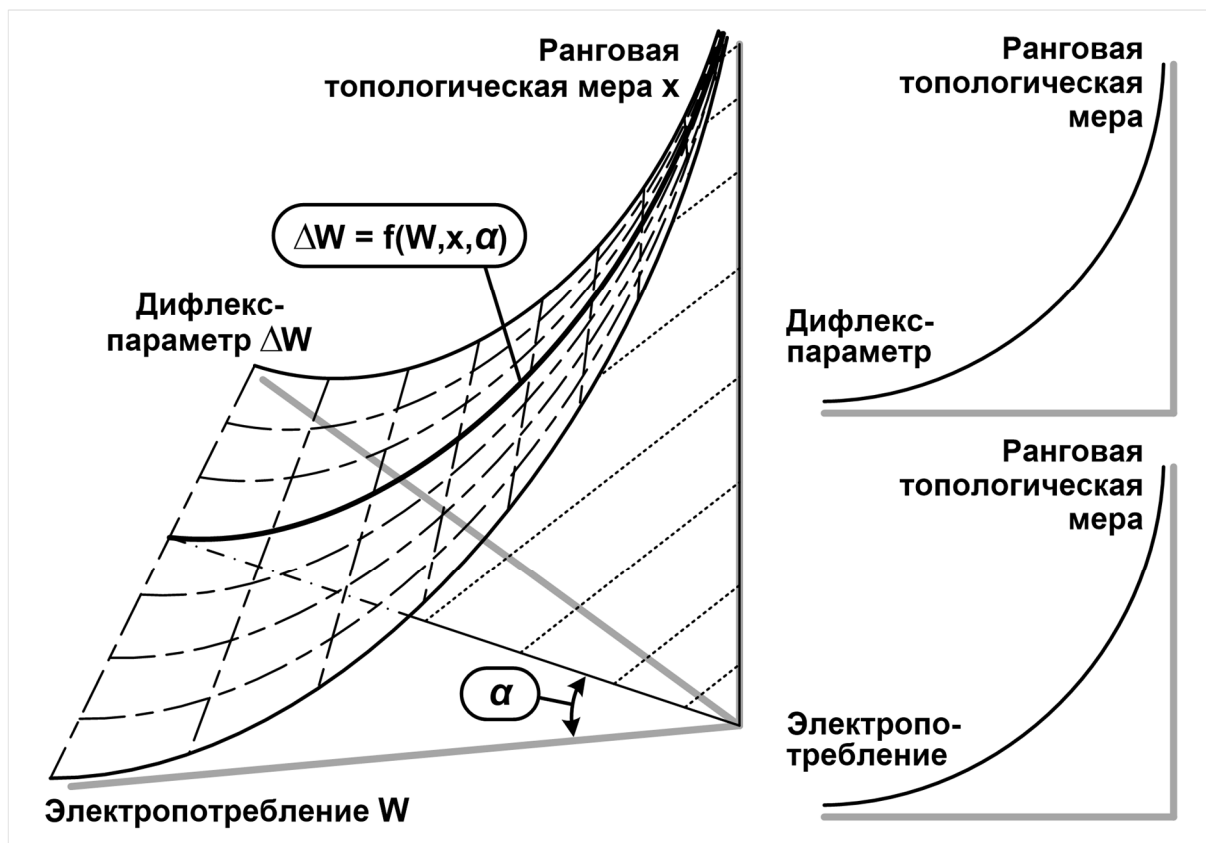


Рис. 3. Ранговая гиперпараметрическая поверхность (верхний рисунок) и ранговое гиперпараметрическое распределение (нижний)

Ранговая гиперпараметрическая поверхность, изображенная на рисунке 3 штриховыми линиями, показывает, своего рода, спектр теоретически возможных форм рангового гиперпараметрического распределения техноценоза, определяемых как его электропотреблением за обозримый промежуток времени, так и различными внешними воздействиями. Поверхность возможных форм гиперпараметрического распределения ограничена сектором положительных значений осей дифлекс-параметра, электропотребления и ранговой топологической меры. С координатными плоскостями $\langle W \square x \rangle$ и $\langle \Delta W \square x \rangle$ она имеет пересечения, которые являются гиперболическими кривыми первого порядка для рангового параметрического распределения: в первом случае – по электропотреблению, а во втором – по дифлекс-параметру. Кривая рангового гиперпараметрического распределения техноценоза является пересечением ранговой гиперпараметрической поверхности с секущей плоскостью,

проходящей через координатную прямую $\langle x \rangle$. Континуум возможных положений секущей плоскости образует пучок в положительном секторе между координатными осями $\langle W \rangle$ и $\langle \Delta W \rangle$. Очевидно, что форма рангового гиперпараметрического распределения техноценоза зависит от угла поворота секущей плоскости по отношению к координатной плоскости $\langle W \square x \rangle$, который обозначен на рисунке 3 как α . Именно его предлагается называть дифлекс-углом рангового гиперпараметрического распределения техноценоза по электропотреблению.

Как представляется, положение секущей плоскости и, соответственно, угол α зависят от состояния техноценоза, а также внешних управляющих воздействий в рассматриваемый момент времени. Примечательно, что крайние («вырожденные») состояния техноценоза соответствуют следующим дифлекс-углам (в градусах): $\alpha = 0$ – состояние с нулевым дифлекс-параметром во всем диапазоне значений электропотребления; $\alpha = 90$ – состояние с нулевым электропотреблением во всем диапазоне значений дифлекс-параметров. Состояние с $\alpha = 0$ соответствует техноценозу, все приемники и потребители которого потребляют электроэнергию на нижней границе области допустимых значений, однако его интегральное электропотребление в этом случае будет максимальным. Это состояние можно считать начальным в общем процессе управления электропотреблением. Состояние с $\alpha = 90$ соответствует техноценозу, интегральное электропотребление которого равно нулю, что, по сути, означает полное прекращению процесса электропотребления. Очевидно, что реальный техноценоз всегда будет соответствовать какому-то промежуточному значению дифлекс-угла α , который в процессе оптимального управления электропотреблением должен последовательно увеличиваться до целевого значения α^* . При этом мы получаем состояние, своего рода, минимакса: минимальный интегральный дифлекс-параметр при максимальном значении дифлекс-угла, т.е. максимальный показатель качества при минимуме интегрального электропотребления техноценоза. Другими словами, в данном

случае техноценоз достигает состояния наивысшей энергоэффективности, что, в известном смысле, можно считать целью процесса управления электропотреблением.

Что же нам дают впервые описанные здесь инструменты? Как представляется, именно ранговые гиперпараметрические поверхность и распределение позволяют корректно решить поставленную выше задачу количественно-качественного описания процесса электропотребления техноценоза. Прежде всего, рассмотрим поверхностный интеграл следующего вида:

$$\int_S \Delta W(W, x) ds, \quad (6)$$

где $\Delta W(W, x)$ – скалярная функция двух переменных, определенная на ранговой гиперпараметрической поверхности техноценоза по электропотреблению;
 ds – бесконечно малый элемент ранговой гиперпараметрической поверхности техноценоза.

В данном случае мы имеем дело с поверхностным интегралом первого рода на скалярном поле, вычисляемым по аффинной поверхности второго порядка $\Delta W(W, x)$ в трехмерном пространстве $\langle \Delta W \square W \square x \rangle$. Рассчитав интеграл в бесконечных пределах параметризации, мы получаем, так называемый, интегральный дифлекс-параметр техноценоза по электропотреблению ΔW_{Σ} . Очевидно, что данный параметр комплексно характеризует процесс электропотребления, прежде всего, с качественной точки зрения.

Дополним параметр (6) количественным условием, построим целевые функции и введем комплексный критерий оценки процесса электропотребления техноценоза, который выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta W_{\Sigma} = \int_S \Delta W(W, x) ds \xrightarrow{[0; +\infty) \subset \mathbb{R}^3} \min; \\ \alpha = \xrightarrow{\left\{ \alpha \rightarrow \alpha^* \right\} \equiv \left\{ W_{\Sigma} = \int_0^{+\infty} W(x) dx \rightarrow W_{\Sigma}^* \right\}} \max; \\ \Delta W \geq 0; W \geq 0; x \geq 0; W_{\Sigma} \geq W_{\Sigma}^*; \\ \alpha = \arctg(\Delta W_p / W_p), 0^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}. \end{array} \right. \quad (7)$$

Интегральный дифлекс-параметр на фиксированной стадии управления (при $\alpha = \text{const}$) может быть определен как криволинейный интеграл:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta W_{\Sigma} = \int_{\ell} \Delta W(W, x, \alpha) d\ell; \\ \alpha = \text{const}, \end{array} \right. \quad (8)$$

где $\Delta W(W, x, \alpha)$ – скалярная функция, определенная на ранговом гиперпараметрическом распределении;

$d\ell$ – бесконечно малый элемент кривой рангового гиперпараметрического распределения.

Как представляется, аналитическая форма рангового гиперпараметрического распределения техноценоза может быть определена теоретически методами дифференциальной геометрии либо эмпирически путем аппроксимации имеющихся данных по электропотреблению [11].

Таким образом, наилучшим можно считать процесс электропотребления техноценоза, минимизирующий интегральный дифлекс-параметр при максимизации дифлекс-угла. Если же сравнивать текущее значение интегрального дифлекс-параметра техноценоза с его значением в оптимальном состоянии, то можно получить параметр, который правомерно интерпретировать как количественную меру ущерба, наносимого техноценозу за счет

недостаточной энергоэффективности процесса электропотребления, который предлагается называть интегральным дамадж-параметром (от англ. «damage»). С учетом текущего тарифа на электроэнергию можно записать систему (рис. 4):

$$\begin{cases} D_{\Sigma}^w = \Delta W_{\Sigma}^t - \Delta W_{\Sigma}^*; \\ D_{\Sigma}^f = (\Delta W_{\Sigma}^t - \Delta W_{\Sigma}^*) \cdot sc, \end{cases} \quad (9)$$

- где D_{Σ}^w – интегральный дамадж-параметр техноценоза, кВт·ч/Т;
 D_{Σ}^f – интегральный дамадж-параметр техноценоза, пересчитанный в соответствии с текущим тарифом;
 ΔW_{Σ}^t – текущий интегральный дифлекс-параметр, кВт·ч/Т;
 ΔW_{Σ}^* – интегральный дифлекс-параметр, соответствующий оптимальному электропотреблению техноценоза;
 sc – текущий тариф на электроэнергию.

В заключение заметим, что критерий (7) позволяет оценивать техноценоз в статическом состоянии на заданный момент времени. Существенные перспективы таит в себе переход к динамической оценке процесса электропотребления, что потребует введения динамических дифлекс-функционалов:

$$\begin{cases} \Delta W(t) = F^w(W(t), x(t)); \\ \alpha(t) = F^{\alpha}(W(t), x(t)), \end{cases} \quad (10)$$

где t – текущее время функционирования техноценоза.

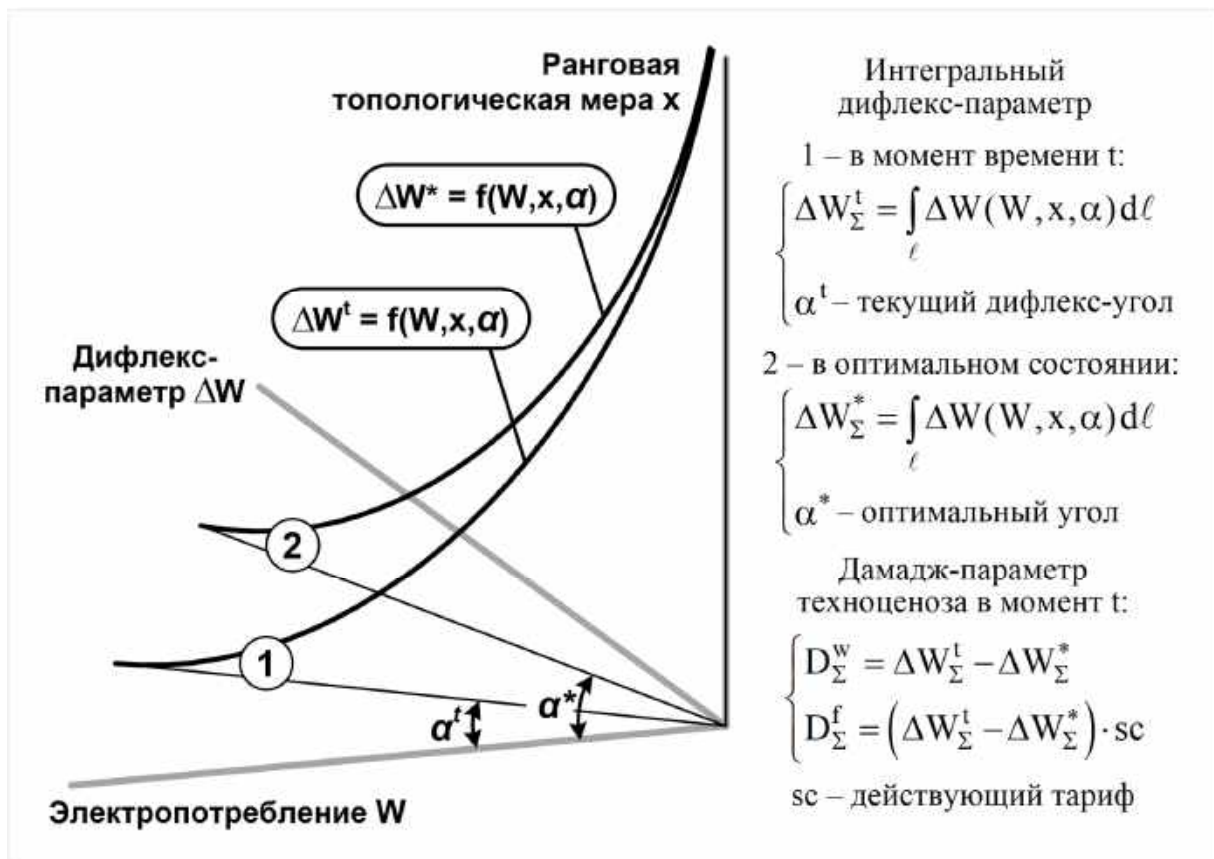


Рис. 4. К понятию дамадж-параметра техноценоза

Таким образом, оперирование в ранговом анализе техноценозов гиперпараметрическими поверхностями и гиперпараметрическими распределениями дает ряд существенных преимуществ. В первую очередь это создает возможность комплексной оценки процесса электропотребления одновременно как с количественной, так и с качественной точек зрения. Так, в соответствии с критерием (7) наилучшим с количественной и качественной точек зрения можно считать процесс электропотребления техноценоза, минимизирующий интегральный дифлекс-параметр при максимизации дифлекс-угла. Реализация процедур прогнозирования применительно к дифлекс-функционалам (10) позволяет оценить параметрическую динамику техноценоза с учетом критерия (7) на заданном горизонте. Количественно меру ущерба, наносимого техноценозу за счет недостаточной энергоэффективности процесса электропотребления, можно оценить с помощью интегрального дамадж-параметра (9).

Список литературы

1. Техника, техносфера, энергосбережение [Сайт] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – М.: [б.и.], [2000]. – Режим доступа: <http://www.gnatukvi.ru>, свободный, [рег. от 23.11.2005 № 5409].
2. Гнатюк В.И., Шейнин А.А. Нормирование электропотребления регионального электротехнического комплекса: Экономические проблемы энергетического комплекса. – М.: ИНП РАН, 2012. – 102 с.
3. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов [Статья] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во Калининградского инновационного центра «Техноценоз»], [2014]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/index.files/zakon.pdf>, свободный.
4. Гнатюк В.И., Луценко Д.В. Потенциал энергосбережения регионального электротехнического комплекса: Экономические проблемы энергетического комплекса. – М.: Изд-во ИНП РАН, 2013. – 107 с.
5. Гнатюк В.И. Потенциал энергосбережения техноценоза [Трактат] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во Калининградского инновационного центра «Техноценоз»], [2013]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/index.files/potential.pdf>, свободный.
6. Гнатюк В.И. Философские основания техноценологического подхода [Монография] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во Калининградского инновационного центра «Техноценоз»], [2014]. – Режим доступа: http://gnatukvi.ru/mono_pdf/text.pdf.
7. Гнатюк В.И. и др. Потенциал энергосбережения регионального электротехнического комплекса. – Калининград: КГТУ, 2015. – 106 с.
8. Gnatyuk, V. Potential of energy saving as a tool for increasing the stability / Viktor I. Gnatyuk, Gennady V. Kretinin, Oleg R. Kivchun, Dmitry V. Lutsenko // International journal of energy economics and policy. – ISSN 2146-4553. – Mersin: Cag University. – 2018. – No 8 (1). – P. 137 – 143.

9. Луценко Д.В. Комбинаторная теория ранговой динамики [Трактат] / Д.В. Луценко. – Первое издание. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во Калининградского инновационного центра «Техноценоз»], [2018]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/ktrd.pdf>, свободный.

10. Кивчун О.Р. Векторный ранговый анализ [Трактат] / О.Р. Кивчун. – Первое издание. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во Калининградского инновационного центра «Техноценоз»], [2019]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/vran.pdf>, свободный.

11. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов [Монография] / В.И. Гнатюк. – 3-е изд., перераб. и доп. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во КИЦ «Техноценоз»], [2019]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/ind.html>, свободный.

©, В.И. Гнатюк, – 2020

УДК:001.51: 167.6; ББК: 87.152.223

КОРОНАВИРУСНАЯ ИНФЕКЦИЯ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ЦЕНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА САМООРГАНИЗАЦИИ ЖИВОЙ МАТЕРИИ

Гурина Роза Викторовна, доктор педагогических наук, профессор, Ульяновский государственный университет, 432000, Россия, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, дом 42, e-mail: roza-gurina@yandex.ru

Морозова Екатерина Владимировна, кандидат физико-математических наук, доцент, Ульяновский государственный университет, 432000, Россия, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, дом 42, e-mail: kat-valezhanina@yandex.ru

Потапова Марина Владимировна, аспирант, Ульяновский государственный университет, 432000, Россия, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, дом 42, e-mail: marinka8d@mail.ru

Аннотация

Рассматривается проявление принципа ценологической самоорганизации живой материи на земном уровне на примере появления нового вида социоценоза – сообщества заболевших коронавирусом.

Ключевые слова

ранговое распределение, ценоз, коронавирус, ценологическая самоорганизация.

CORONAVIRAL INFECTION AS A MANIFESTATION OF THE PRINCIPLES OF SELF-ORGANIZATION PRINCIPLE LIVING MATTER

Gurina Rose V, Doctor of pedagogical Sciences, associate Professor, Professor, Ulyanovsk state University, 432000, Russia, Ulyanovsk, Ul. l. Tolstogo, 42, e-mail: roza-gurina@yandex.ru.

Ekaterina Morozova V., candidate of physical and mathematical Science, associate Professor, Ulyanovsk state University, 432000, Russia, Ulyanovsk, Ul. l. Tolstogo, 42, e-mail: kat-valezhanina@yandex.ru.

Potapova Marina V, post-graduate student, Ulyanovsk state University 432000, Russia, Ulyanovsk, Ul. l. Tolstogo, 42, e-mail: marinka8d@mail.ru.

Abstract

The manifestation of the principle of cenological self-organization of living matter at the earthly level is considered on the example of the emergence of a new type of sociocenosis – the community of patients with coronavirus.

Keywords

rank distribution, coenosis, coronavirus, cenological self-organization

В материальном мире, наблюдаемом сегодня, имеет место самоорганизация материальных объектов по ценологическому принципу, то есть в системы с гиперболическими ранговыми распределениями (ГРР) объектов в них (ценозы). Результаты обобщений многих эмпирических исследований в разных областях свидетельствуют о процессе ценологической самоорганизации

как о некоем синергетическом закономерном детерминированном процессе [1]. Принцип ценологической самоорганизации материи находит выражение в законе ГРР (1):

$$W = A / r^\beta \quad (1)$$

где r – ранг, W – ранжируемый параметр, A – его максимальное значение при $r = 1$, β – ранговый коэффициент – степень крутизны гиперболы. Закон ГРР (1) является ядром ценологической теории Б.И. Кудрина (сайт www.kudrinbi.ru).

Исследования методом рангового анализа (РА) сводятся, как правило, к доказательству принадлежности объектов к ценозам и поискам способов использования этого метода на практике. В большинстве работ по ценологии закон ГРР (1) не освещается как основа, как базисный элемент фрактальной самоорганизации по ценологическому принципу.

Результаты ценологических исследований методом РА в области неживой материи на разных космических уровнях (земной, планетарном, галактическом, метагалактическом) свидетельствуют в пользу детерминизма, основанном на принципе ценологической фрактальной самоорганизации (ЦФС) материи, который отражает единство Мира и вселенский порядок [1] (сайт www.gurinarv.ulsu.ru). Этот же принцип действует в отношении технической реальности. Однако, в отличие от астроценозов, в создании техники и техноценозов задействована воля человека. Несмотря на это, результаты исследований свидетельствует о феномене фрактальной самоорганизации техники на всех уровнях.

На основании вышеизложенного можно предположить, что живая материя также самоорганизуется в ГРР в соответствии с принципом ЦФС и описывается единым математическим аппаратом (1). Настоящая работа демонстрирует факты, свидетельствующие о проявлении принципа ЦФС живой материи – в организме человека и человеческом обществе.

Пример 1. Сообщество больных коронавирусом на планете представляет собой новый социоценоз. Рис. 1 иллюстрирует статическую картину распространения коронавируса по планете на 15. 03. 2020 г. [2]. Вирусы – это

инструмент формирования данного коронавирусного социоценоза, а тело человека – их среда обитания.

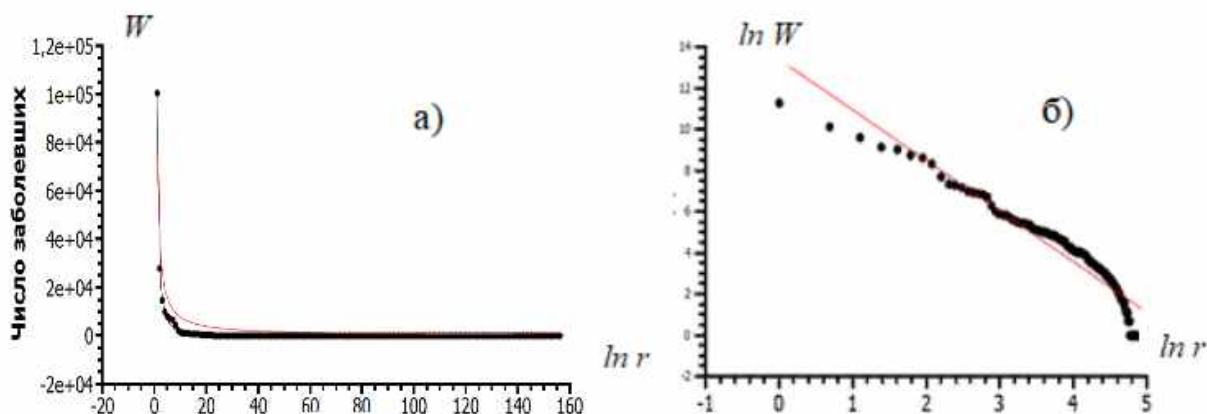


Рис.1. ГРР стран, заражённых коронавирусом; $\beta=1,7$ ($R^2 = 0,997$)

W – число заболевших в странах мира; $r=1$ – Китай, $W = 86446$; $r=2$ – Италия, $W = 24747$; $r=3$ – Иран, $W = 13438$; $r=160$ – Узбекистан, $W = 1$.

Пример 2. Сообщество больных коронавирусом внутри отдельной страны, например, в России, представляет собой социоценоз более мелкого масштаба, что подтверждает фрактальный характер процесса распространения коронавируса. Рис. 2 иллюстрирует статическую картину распространения коронавируса в России на 21. 03. 2020 г. [2].

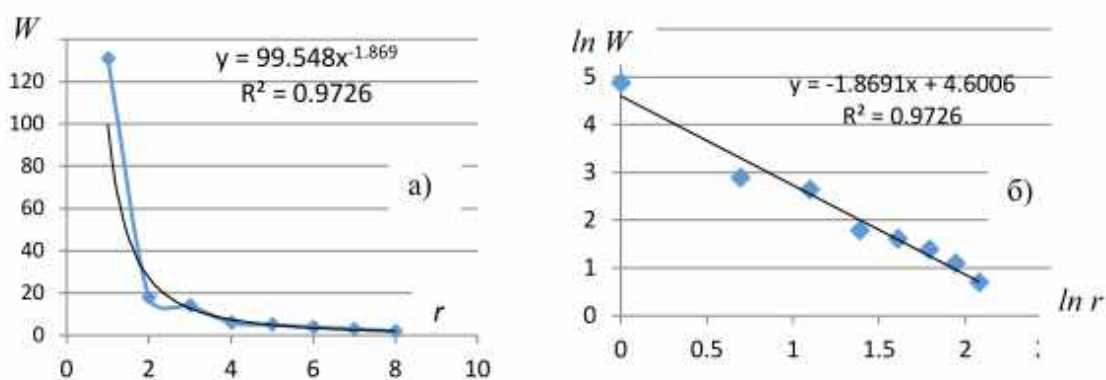


Рис.2. ГРР городов России, заражённых коронавирусом; $\beta=1,869$ ($R^2 = 0,9726$);

W – число заболевших в России; $r=1$ – Москва, $W = 131$; $r=2$ – Моск. обл., $W = 18$; $r=3$ – Санкт-Петербург, $W=14$; $r=4$ – Самарская обл., $W = 9$.

Пример 3. На графиках рис. 3 изображены ГРР (а) и линеаризованный график ГРР (б) процентного состава тела человека. Кровь составляет 7-8 % массы тела человека, являясь подсистемой более низкого порядка во фрактальной иерархии по отношению к телу. ГРР состава крови человека показано на рис. 4. При этом, отметим, что химический состав крови человека (живое) почти совпадает с составом морской воды (неживое).

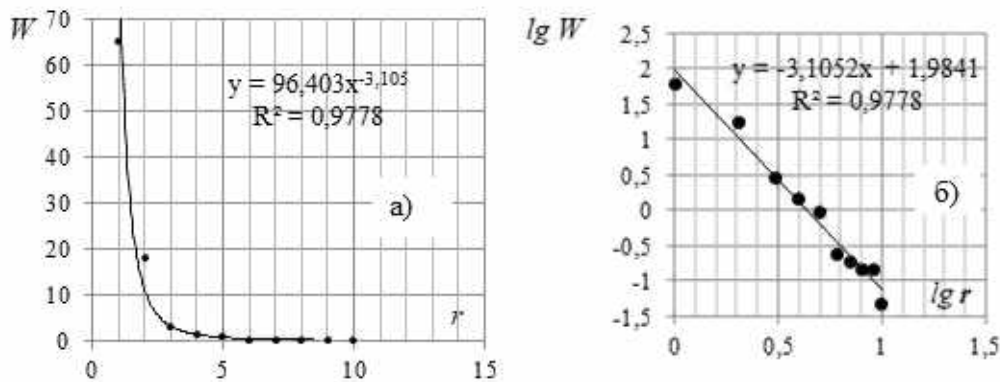


Рис.3. ГРР процентного состава 10 компонентов тела человека ($\beta=3,10$; $R^2 = 0,978$):
 $r=1 - O, 65\%$; $r=2 - C, 18\%$; $r=3 - N, 3 \%$; $r=10 - Mg, 0,05\%$.

Эмпирические точки всех ГРР с высокой степенью точности ложатся на аппроксимационные гиперболы, о чём свидетельствует высокие значения коэффициентов регрессии R^2 .

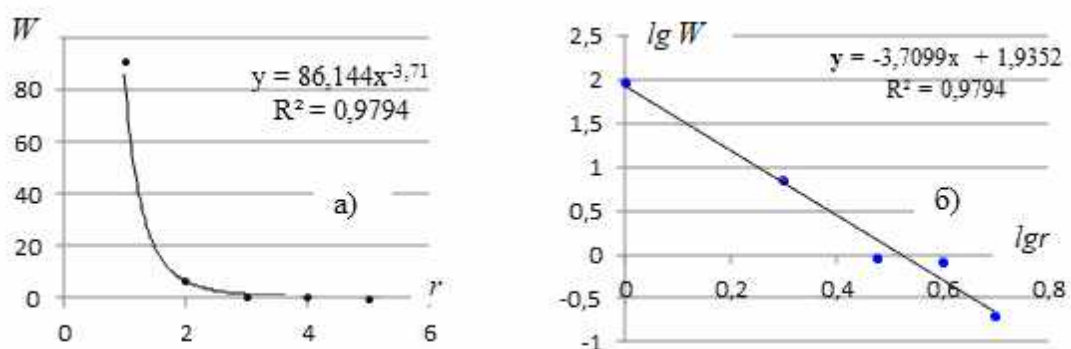


Рис. 4. РР химического состава крови человека ($\beta=3,71$; $R^2 = 0,979$):
 $W - \%$ содержание вещества; $r=1$, вода – 90%; $r=2$ – органические соединения - белки, 7%; $r=3$ – неорганические вещества 0,9 %; $r=4, r=5$ – минеральные вещества

Выводы

Синергетический феномен фрактальной самоорганизации материальных объектов природы в системы с ГРР, выраженный в принципе ЦФС, демонстрирует нам высокую степень организации и порядок в окружающем мире, который проявляется на разных иерархических уровнях, в том числе на земном уровне – в живой и неживой природе. В свете вышеизложенного сообщество инфицированных коронавирусом людей – есть новый вид социоценоза.

Рассмотренный принцип ЦФС вносит вклад в развитие ценологической теории Б.И. Кудрина, которая по праву имеет статус общеметодологической.

Вышеизложенное свидетельствует: человек – это часть космоса (микрокосм), но уже в рамках ценологической теории и принципа ЦФС живой материи на земном уровне. Но почему так всё устроено? На это нет ответа.

Список литературы

1. Гурина Р. В. Ранговый анализ, или ценологический подход, в методологии прикладных исследований. Монография /Р. В Гурина, Д. А. Евсеев. – Ульяновск.: УлГУ. –2018 – 287 с.

©, Гурина Р.В., Морозова Е.В., Потапова М.В., – 2020.

ЗАКОН ЦЕНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ В ОРГАНИЗАЦИИ ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ

Гурина Роза Викторовна, доктор педагогических наук, доцент, профессор, Ульяновский государственный университет, 432000, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: roza-gurina@yandex.ru

Потапова Марина Владимировна, аспирант, Ульяновский государственный университет, 432000, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: marinka8d@mail.ru

Аннотация

Сообщество планетных систем – это космический ценоз. Закон гиперболического рангового распределения как закон ценологического разнообразия применён к исследованию популяций внесолнечных планетных систем.

Ключевые слова

гиперболическое ранговое распределение, закон разнообразия, экзопланеты, внесолнечные планетные системы

THE LAW OF CENOLOGICAL DIVERSITY IN THE ORGANIZATION OF PLANETARY SYSTEMS

Gurina Rose V, Doctor of pedagogical Sciences, associate Professor, Professor, Ulyanovsk state University 432000, 432000, Russia, Ulyanovsk, Ul. l. Tolstogo, 42

Potapova Marina V, post-graduate student, Ulyanovsk state University 432000, Russia, Ulyanovsk, Ul. l. Tolstogo, 42

Abstract

The community of planetary systems is a cosmic cenosis. The law of hyperbolic rank distribution as the law of cenological diversity is applied to the study of populations of extrasolar planetary systems.

Keywords

hyperbolic rank distributions, the law of necessary diversity, exoplanets, extrasolar planetary system.

У. Эшби сформулировал основной принцип управления для информационных систем, названный им *законом необходимого разнообразия*: разнообразие управляющей системы должно быть не меньше разнообразия управляемого объекта (среды) [5]. То есть для управления сложной системой управляющая система должна иметь достаточное собственное разнообразие. Впоследствии оказалось: принцип Эшби применим к техническим, экономическим, социальным, космическим и другим системам-ценозам и его математическим выражением является гиперболический закон рангового распределения (ГЗРР) объектов в ценозе, являющийся ядром ценологической теории Б. И. Кудрина [3]:

$$W = A / r^\beta \quad (1)$$

где r – ранг, W – ранжируемый параметр, A – его максимальное значение при $r = 1$; β – ранговый коэффициент – степень крутизны гиперболы. Для рангово-видовых распределений W – численность вида в процентном или долевым выражении. Таким образом, ГЗРР (1) является *законом ценологического разнообразия*. Для оценки разнообразия систем-ценозов применяется индекс Шеннона H [1,2,4]:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i \quad (2)$$

n – количество видов в системе, $p_i = W / W_0$ – доля элементов данного (i -го) вида в общем количестве элементов (вероятность обнаружения объекта данного вида). Если $p=1$, $H=0$ (разнообразие отсутствует).

На рис. 1 приведены четыре модели ранговых распределений (РР) с различными типами разнообразия (графики 1-4). В каждом РР 10 видов. График 1 иллюстрирует отсутствие разнообразия, $H=0$; график 2 – максимальное разнообразие (вероятность обнаружения всех элементов одинакова), $H=3,32$. Линейный график 3 и гипербола 4 отражают разнообразие с убыванием вероятности обнаружения. Для них H равны 3,10 и 2,88 соответственно. Из графиков 2-4 гипербола (4) выражает систему с наименьшим разнообразием. Системы-ценозы с максимальным видовым разнообразием или линейно-убывающим распределением видов (графики 2, 3 на рис. 1, а) в природе встречаются не часто. Пример системы с линейным убыванием разнообразия по массе атомов – это таблица Менделеева [1]. Многие ренальные негауссовы системы – это ценозы с ГРР, с различными ранговыми коэффициентами β .

На рис.1,б представлен график рангово-видового распределения экзопланетных систем (ЭПС) около жёлтых и жёлто-оранжевых звёзд.

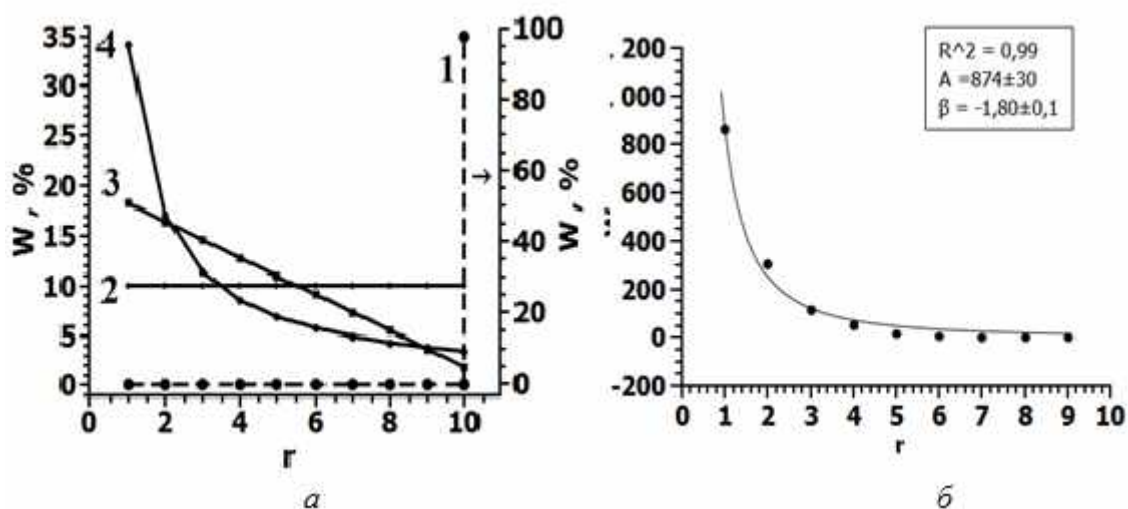


Рис.1. Ранговые распределения:

а) модели РР с различными типами видового разнообразия; $W, \%$ – доля вида в общем объёме; б) рангово-видовое распределение состава ЭПС около жёлтых и жёлто-оранжевых звёзд, W – количество планет в ЭПС,

$$R^2 = 0,99, \beta = 1,80.$$

Из нескольких тысяч известных ЭПС на сайте allplanets.ru был выделен диапазон ЭПС – у жёлтых и жёлто-оранжевых звёзд (всего 1370). Из них выделены 9 популяций ЭПС: одно-планетные ($W=865$); двух-планетные ($W=305$); 3-х планетные ($W = 115$); 4-х планетные ($W = 51$); 5-планетные ($W=19$); 6-планетные ($W=6$); 7-планетные ($W=4$); 8-планетные ($W=3$); 9-планетные ($W=2$). Из рис. 1, б него видно, что самый редкий вид (ноева каста) – это 9-планетные системы (их две – наша солнечная система и планетная система HD 10180 HIP в созвездии Гидры). Саранчовая каста представлена одно-планетными и двух-планетными системами – их большинство.

Разнообразие ГРР можно оценивать относительно эталона – системы с максимальным разнообразием H_{max} . Тогда относительный коэффициент разнообразия $\varepsilon = H/H_{max}$ (ε для графиков 1-4 равны соответственно: 0; 1; 0,93; 0,87). Также за эталон можно принять и идеальную гиперболу с ранговым коэффициентом $\beta = 1$. При этом, чем больше β , тем меньше разнообразие системы и индекс Шеннона [1-2].

Произведена оценка разнообразия по методу Шеннона: рангово-видового ГРР состава ЭПС (рис.1, б), ГРР процентных составов элементов в фотосфере Солнца и атмосфере Земли, параметрических ГРР масс 9 планет Солнечной системы (СС) и 9 планет системы Гидры. Проведено их сравнение (табл. 1). При расчёте ε за эталон сравнения бралось РР системы с максимальным разнообразием (рис.1, а, график 2). Индексы Шеннона масс планет рассчитывались в процентах по отношению к общей массе планетной системы.

Из таблицы видно, что ранговый коэффициент β связан с индексом Шеннона обратной зависимостью и отражает степень разнообразия систем на различных уровнях – *земном, планетарном, галактическом*. В работе [1] показано, что космические объекты самоорганизуются по ценологическому типу в ГРР на разных космических уровнях. Следовательно, показатель Шеннона может служить также для оценки уровня (степени) самоорганизации космических тел в системы с рангово-видовыми и параметрическими ГРР.

При этом за эталон сравнения может приниматься идеальная гипербола с $\beta=1$.

Таблица 1. Сравнение характеристик ГРР.

ГРР	Ранговый коэффициент ГРР, β	Индекс Шеннона (в % отношении) H	Относительный индекс Шеннона ε
масс планет системы Гидры	1,58	2,56	0,81
рангово-видовое состава ЭПС	1,80	1,56	0,49
масс планет СС	2,08	1,21	0,38
состава фотосферы Солнца,	2,11	0,96	0,29
состава атмосферы Земли	2,33	0,82	0,25

Выводы

- Закон необходимого разнообразия Эшби имеющий математическую оболочку в виде ГЗРР (1), рассмотрен как **закон ценологического разнообразия** и распространён на экзопланетные системы.

- ГЗРР (1) как **закон ценологического разнообразия и закон самоорганизации** материи по ценологическому принципу имеет глобальный характер. При этом показатель разнообразия Шеннона отражает уровень (или степень) самоорганизации космической материи в системы с ГРР, то есть по ценологическому типу.

- За эталон сравнения ГРР целесообразно принимать систему с максимальным разнообразием или идеальное ГРР с ранговым коэффициентом $\beta = 1$.

Список литературы

1. Гурина Р.В. Ранговый анализ, или ценологический подход, в методологии прикладных исследований. Монография. /Р.В. Гурина, Д. А. Евсеев. – Ульяновск.: УлГУ, 2018. – 287 с.
2. Гурина Р.В. Ранговый анализ астрофизических и физических систем / Р. В. Гурина, М. В. Дятлова, Р. А . Хайбуллов // Казанская наука. – 2010. – №2. – С. 8–11.
3. Кудрин Б.И. Введение в технетику / Б. И Кудрин. – Томск: ТГУ, 1993. –552 с.
4. Шеннон К. Е. Работы по теории информации и кибернетике/К. Е. Шеннон, М.: Изд-во иностр. литер., 1963. – 824 с.
5. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – Издательство иностранной литературы, 1959. – 432 с.

©, Гурина Р.В., Потапова М.В., – 2020

УДК 681.51+620.9:001.891.57

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНОГО РАНГОВОГО АНАЛИЗА

Кивчун Олег Романович,

кандидат технических наук

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта

236016, г. Калининград, ул. А. Невского, д.14

E-mail: oleg_kivchun@mail.ru

Аннотация

В статье представлен метод прогнозирования электропотребления на основе векторного рангового анализа. Отличительной особенностью векторного рангового анализа является возможность представления рангового параметрического распределения в векторном ранговом пространстве, которое характеризуется достаточным набором показателей. Одним из них является ранговый фазовый угол между радиус-вектором, проведённым из начала координат к значению электропотребления, и значением его ранговой топологической меры. Полученное значение рангового фазового угла используется для прогнозирования.

Ключевые слова

прогнозирование, электросетевой комплекс, регион, векторный ранговый анализ, ранговый фазовый угол.

FORECASTING POWER CONSUMPTION OF OBJECTS REGIONAL POWER GRID COMPLEX BASED ON VECTOR RANK ANALYSIS

Kivchun Oleg Romanovich,

candidate of technical Sciences

Immanuel Kant Baltic Federal University

236016, Kaliningrad, ul. A. Nevskogo, 14

E-mail: oleg_kivchun@mail.ru

Abstract

In the article presents a method for predicting power consumption based on vector rank analysis. A distinctive feature of vector rank analysis is the ability to represent a rank parametric distribution in a vector rank space that is characterized by a sufficient set of indicators. One of them is the rank phase angle between the radius vector drawn from the origin to the power consumption value and the value of its rank topological measure. The resulting value of the rank phase angle is used for forecasting.

Keywords

forecasting, power grid complex, region, vector rank analysis, rank phase angle.

Одним из ключевых элементов любой региональной энергосистемы является региональный электросетевой комплекс (РЭСК). В связи с развитием современных цифровых технологий электроустановки РЭСК значительно модернизируются, появляются новые информационные системы управления, массового обслуживания, автоматизации и контроля учёта электроэнергии, а также цифровые подстанции и цифровые районы. Поэтому важную роль при принятии решений на всех уровнях управления РЭСК будут играть вопросы прогнозирования электропотребления.

Особый интерес в настоящее время вызывают методы прогнозирования на основе техноценологического подхода, который впервые разработал и ввёл в научный оборот профессор Б.И. Кудрин [3, с. 5]. Ведущими специалистами в данной области стали: В.И. Гнатюк, Д.В. Луценко, И.И. Надтока, А.В. Седов, А.Е. Северин, С.Н. Гринкевич, А.В. Демура, С.В. Жичкин, А.В. Мозгалин и т.д. [1, с. 109 – 121; 2, с. 15-17; 4, с. 142].

В настоящее время в рамках научной школы профессора В.И. Гнатюка интенсивно проводятся исследования по новому направлению техноценологического подхода: векторному ранговому анализу. «Его основой является представление упорядоченного множества значений одного или нескольких параметров объектов в виде векторного пространства, для которого выполняются операции сложения векторов друг с другом и умножения на число – скаляр. Исследование основных свойств векторного рангового пространства позволило впервые ввести понятие меры векторной ранговой топологической близости, которая отражает динамику электропотребления объектов» [2, 19-20].

На основе теории векторного рангового анализа впервые разработан метод прогнозирования электропотребления на основе векторного рангового анализа. На начальном этапе прогнозирования исходная выборка представляется в виде рангового параметрического распределения, под которым понимается

отранжированное в порядке не возрастания распределение параметра [2, 22]. Далее ранговое параметрическое распределение отображается в векторном ранговом пространстве (рис. 1).

Затем для каждого единичного вектора определяются: радиус-вектор r_j , принадлежащий множеству $\mathbf{R} = \{r_j\}_{j=1}^m$ и ранговая норма $|r_j|$.

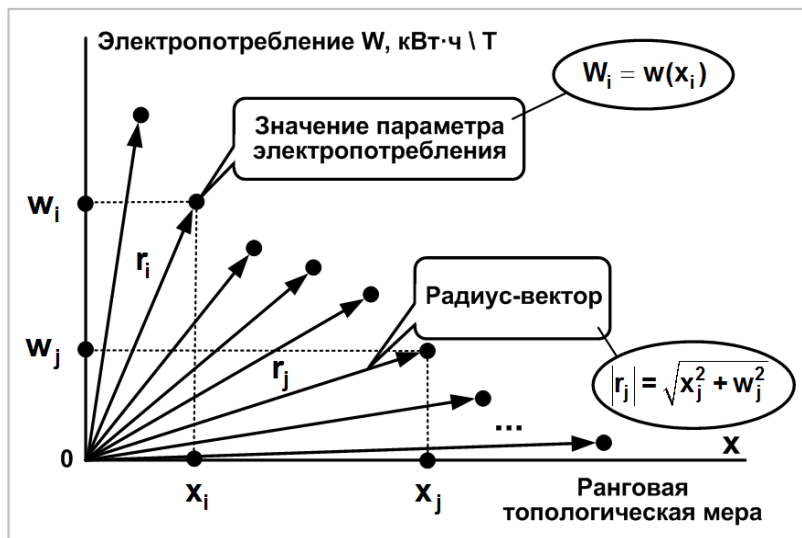


Рис. 1. Геометрическое представление векторного рангового распределения

«Ранговая норма – представляет собой неотрицательный функционал, заданный в векторном ранговом пространстве и обобщающий понятие длины вектора или абсолютного значения параметра».

На следующем этапе определяются численные значения ранговых норм и ранговых фазовых углов для каждого радиус-вектора (рис. 2).

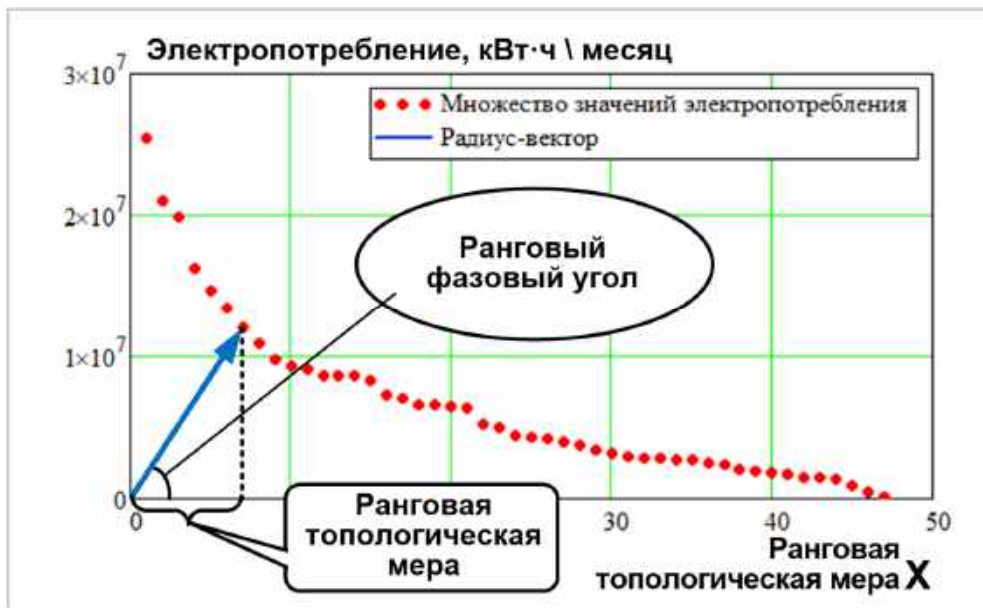


Рис.2. Фрагмент графического представления рангового фазового угла

Далее для каждого значения электропотребления определяются численные значения синусов ранговых фазовых углов между радиус-векторами и ранговой топологической мерой векторного рангового распределения. На основе полученных значений ранговых фазовых углов формируется матрица (рис. 3).

$TW(Z) =$

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0.942	1.028	0.963	0.951	0.933	0.957	0.94	0.937	0.901	0.937
1	1.083	0.983	1.024	1.072	1.072	1.05				1.054
2	0.797	0.912	0.831	0.74	0.705	0.7			0.769	0.782
3	0.888	0.757	0.791	0.917	0.912	0.87			0.959	0.955
4	0.941	0.89	0.96	0.929	0.903	0.936	0.943	0.942	0.905	0.91
5	1.081	1.0			1.082	1.069	1.059	1.065	1.047	0.985
6	0.948				1.055	1.033	1.033	0.92	0.935	...

Рис. 3. Фрагмент матрицы значений синусов ранговых фазовых углов между радиус-векторами и ранговой топологической мерой

Столбцы матрицы содержат электропотребление одной подстанции за год помесечно, строки представляют собой информацию об электропотреблении за конкретный месяц для каждой подстанции. Полученная матрица является исходными данными для прогнозирования. В данной работе в качестве примера был использован техноценологический метод без фиксированной первой точки. Прогнозирование данным методом основано на теории устойчивости ранговых гиперболических распределений и структурно-топологической динамики первого и второго родов [1, с. 109 – 121].

Далее на основе программных алгоритмов техноценологического метода без фиксированной первой точки были получены матрицы прогнозных значений ранговых коэффициентов и первых значений рангового фазового угла, а также матрица прогнозных значений синусов ранговых фазовых углов на заданный интервал – три месяца.

На заключительном этапе осуществляется процедура восстановления значений векторного рангового распределения по полученным прогнозным значениям ранговых фазовых углов. На рисунке 4 представлена ранговая поверхность восстановленных значений электропотребления вместе с прогнозными значениями.

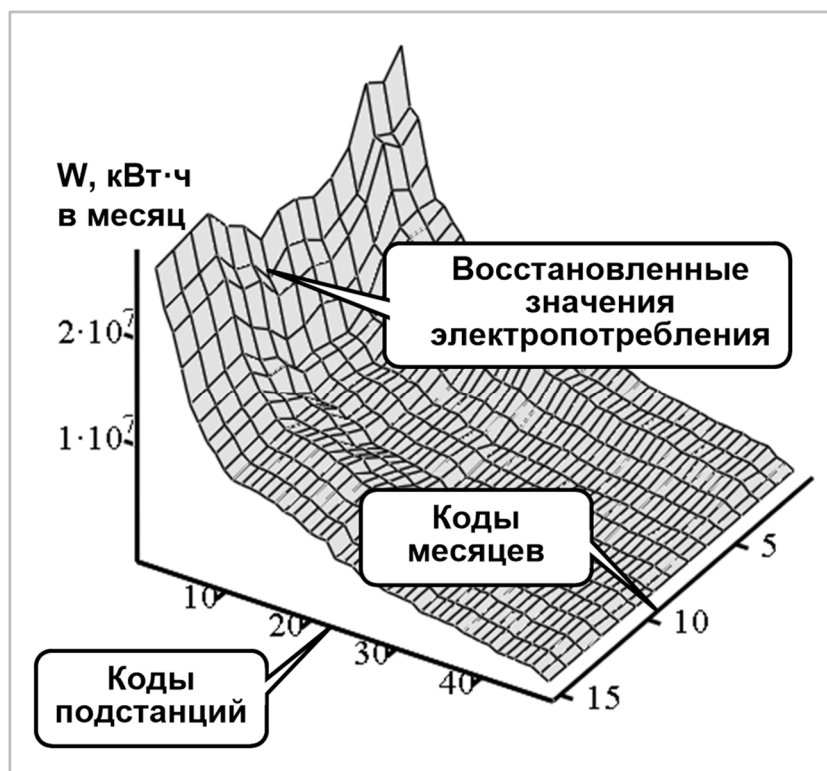


Рис. 4. Ранговая поверхность восстановленных значений электропотребления

Для проверки точности метода на основе векторного рангового анализа осуществлялось прогнозирование методом без фиксированной первой точки. В качестве исходных данных использовались фактические месячные значения электропотребления подстанций уровня 110/6 кВ за 2018 год. Далее осуществлялся сравнительный анализ результатов прогнозных значений электропотребления, фактических значений электропотребления подстанций за первые три месяца 2019 года и восстановленных значений электропотребления, полученных методом векторного рангового анализа. В таблице 1 приведены сравнительные данные по средней относительной ошибке прогноза (\bar{s}_0) для двух методов прогнозирования.

Таблица 1. Результат оценки точности на месячных интервалах
по сравнению с 2019 годом

Параметр	Метод прогнозирования без фиксированной первой точки			Метод прогнозирования на основе векторного рангового анализа		
	1-й месяц	2-й месяц	3-й месяц	1-й месяц	2-й месяц	3-й месяц
$\bar{so}, \%$	9,6	10,1	9,8	6,3	5,8	7,1

Таким образом, из анализа результатов представленных в таблице 1 видно, что средняя относительная ошибка метода прогнозирования на основе векторного рангового анализа меньше. Данный факт позволяет сделать вывод о том, что для среднесрочного прогнозирования по месячным данным целесообразнее использовать метод на основе векторного рангового анализа.

Список литературы

1. Гнатюк В.И., Кивчун О.Р., Луценко Д.В., Никитин М.А. Модели и методы прогнозирования электропотребления при управлении объектами регионального электротехнического комплекса // Математическое моделирование. 2017. Т. 29, вып. 5. С. 109 – 121.
2. Кивчун О.Р. Векторный ранговый анализ: трактат. Электронные текстовые данные. – Калининград: [КИЦ ТЦ], [2019]. URL: <http://gnatukvi.ru/vran.pdf>.
3. Кудрин Б.И. Введение в технетику. – Томск: ТГУ, 1993. – 552 с.
4. Реализация стратегии снижения электропотребления объектов припортового электротехнического комплекса на основе векторного рангового анализа / В.И. Гнатюк, О.Р. Кивчун, Д.В. Луценко, С.А. Цырук // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – Т. 4, № 4 (46). – С. 140-145.

©, Кивчун О.Р., – 2020

**РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ
СОСТАВЛЯЮЩИХ ПО НАПРЯЖЕНИЮ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ
ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

Клюев Роман Владимирович, доктор технических наук, доцент, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 362021, Россия, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, e-mail: kluev-roman@rambler.ru

Гаврина Оксана Александровна, кандидат технических наук, доцент, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 362021, Россия, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, e-mail: Gavrina-Oksana@yandex.ru

Мадаева Марет Зайндиевна, доцент, ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», 364051, проспект им. Х. А. Исаева, дом 100, e-mail: mareta0100@mail.ru

Абаев Георгий Ягоевич, магистрант, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 362021, Россия, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, e-mail: kafedra-epp@skgmi-gtu.ru

Аннотация

Для предприятий цветной металлургии по выпуску твердосплавной продукции, а также свинца и цинка проведен ранговый анализ спектра всех каст высших гармоник по напряжению. Определены коэффициенты корреляции между коэффициентами несинусоидальности и долями ноевой, пойнтер и саранчевой каст потребителей электроэнергии.

Ключевые слова

высшие гармонические составляющие напряжения, ранговый анализ.

RANK ANALYSIS OF HIGHER HARMONIC COMPONENTS BY VOLTAGE AT NON-FERROUS METALLURGY ENTERPRISES

Klyuev Roman Vladimirovich, Doctor of Engineering, associate professor, North Caucasian mining and metallurgical institute (state technological university), 362021, Russia, Vladikavkaz, Nikolaev St., 44, e-mail: kluev-roman@rambler.ru

Gavrina Oksana Aleksandrovna, Candidate of Technical Sciences, associate professor, North Caucasian mining and metallurgical institute (state technological university), 362021, Russia, Vladikavkaz, Nikolaev St., 44, e-mail: Gavrina-Oksana@yandex.ru

Madayeva Maret Seindijewna, associate professor, "Grozny state oil technical university of a name of the academician M.D. Millionshchikov", 364051, H.A. Isaev Avenue, 100, e-mail: mareta0100@mail.ru

Abayev Georgy Yagoyevich, undergraduate, North Caucasian mining and metallurgical institute (state technological university), 362021, Russia, Vladikavkaz, Nikolaev St., 44, e-mail: kafedra-epp@skgmi-gtu.ru

Abstract

For non-ferrous metallurgy enterprises producing hard-alloy products, as well as lead and zinc, a rank analysis of the spectrum of all castes of higher harmonics by voltage was performed. The correlation coefficients between the non-sinusoidality coefficients and the shares of the Noah, Poynter and locust castes of electricity consumers were determined.

Keywords

higher harmonic components of the voltage, rank analysis.

На предприятиях цветной металлургии имеется большое количество мощных электроприемников, вольтамперная характеристика которых имеет нелинейную форму. Необходимо комплексное исследование электропотребления и несинусоидальности напряжения. Для оценки электропотребления предприятий наиболее целесообразным является

использование системного техноценологического подхода [1-4].

Этот подход был разработан величайшим ученым в области энергетики Кудриным Б.И. В его основе находится техноценоз, отражающий особенности взаимодействия между различными элементами (особями). Для описания структуры техноценоза используется математический аппарат гиперболических H -распределений, имеющих вид $y = \frac{a}{r\beta}$.

На основании анализа высших гармоник (ВГ) по всем кастам потребителей твердосплавного производства построено ранговое распределение ВГ [5-6], показанное на рисунке 1.

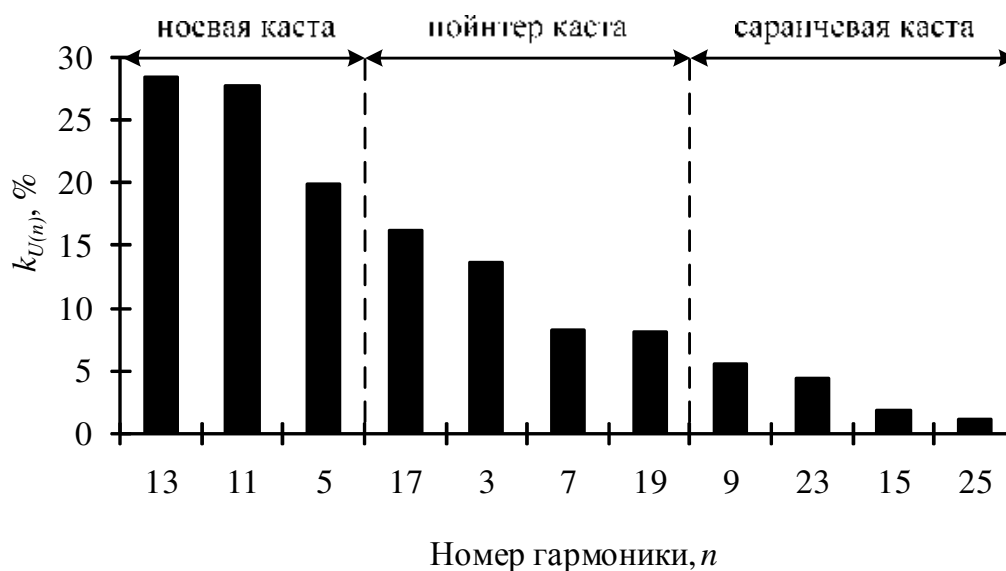


Рисунок 1. Ранговое распределение ВГ по всем кастам потребителей твердосплавного производства

Из рисунка 1 видно, что ВГ ранжируются следующим образом: ВГ с $n=13, 11, 5$ – носвая каста; ВГ с $n=17, 3, 7, 19$ – пойнтер каста и ВГ с $n=9, 23, 15, 25$ – саранчевая каста.

На рисунке 2 представлены зависимости k_U и W от ранга потребителей ($k_U=f(\text{Ранг}), W=f(\text{Ранг})$) для потребителей носвой (ранг 1-6) и пойнтер (ранг 7-11) каст распределения.

Коэффициенты корреляции между суммарным значением коэффициента n -ой гармонической составляющей напряжения ($k_{U(n)}, \%$), коэффициентом

несинусоидальности напряжения (k_U , %) и долей ноевой и пойнтер каст потребителей электроэнергии (W , %) равны 0,56 и 0,37 соответственно.

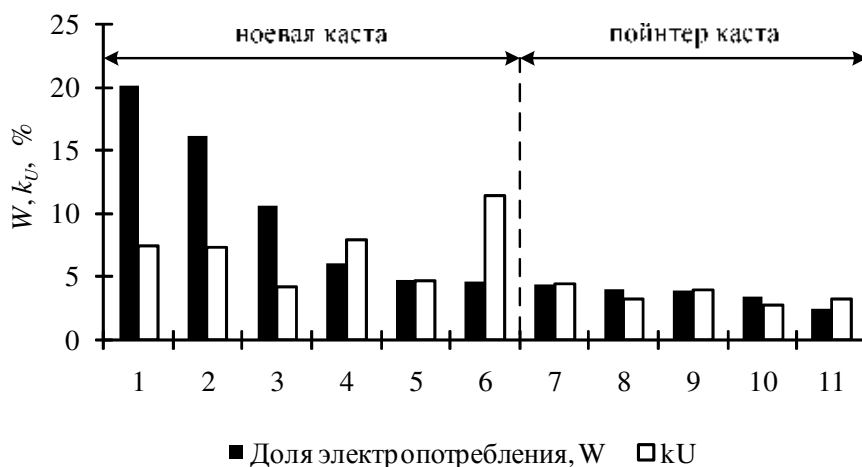


Рисунок 2. Зависимости $W=f(\text{Ранг})$, $k_U=f(\text{Ранг})$

На основании анализа ВГ по всем кастам потребителей цинкового производства построено ранговое распределение ВГ, показанное на рисунке 3.

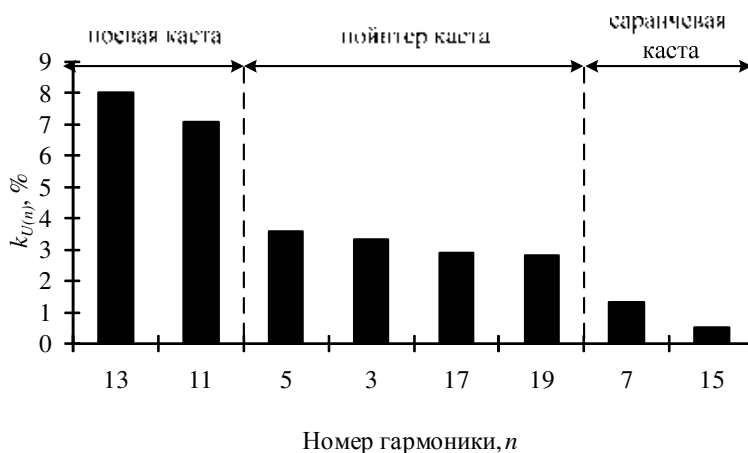


Рисунок 3. Ранговое распределение ВГ по всем кастам потребителей цинкового производства

Из рисунка 3 видно, что ВГ ранжируются следующим образом: ВГ с $n=13$, 11 – ноевая каста; ВГ с $n=5$, 3, 17, 19 – пойнтер каста и ВГ с $n=7$, 15 – саранчевая каста.

На рисунке 4 представлены зависимости k_U и W от ранга потребителей ($k_U=f(\text{Ранг})$, $W=f(\text{Ранг})$) для потребителей ноевой (вентильные преобразователи, ранг 1; индукционные печи, ранг 2; шликерные печи, ранг 3) касты распределения цинкового производства.

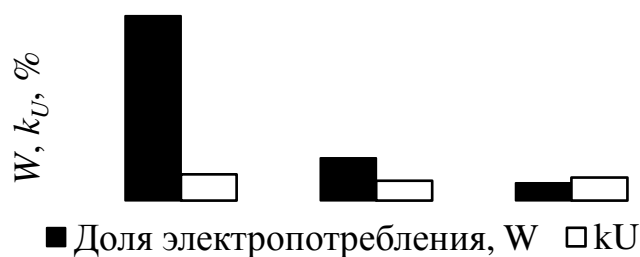


Рисунок 4. Зависимости $W=f(P_{ан2})$, $k_U=f(P_{ан2})$

Коэффициенты корреляции между суммарным значением коэффициента n -ой гармонической составляющей напряжения ($k_{U(n)}$, %), коэффициентом несинусоидальности напряжения (k_U , %) и долей ноевой касты потребителей электроэнергии (W , %) равны 0,77.

Проведен ранговый анализ спектра ноевой касты ВГ по напряжению ($n=11, 13, 5$) и установлено, что значения коэффициентов корреляции между $k_{U(n)}$, k_U и долей ноевой и пойнтер каст потребителей электроэнергии (W , %) для твердосплавного производства равны: 0,56 и 0,37 соответственно; для цинкового производства коэффициент корреляции между $k_{U(n)}$, k_U и долей ноевой касты потребителей электроэнергии составляет 0,77, что позволяет ограничить круг первоочередных задача по расчету требуемых ФКУ.

Список литературы

1. Кудрин Б.И., Гамазин С.И., Цырук С.А. Электрика: классика, вероятность, ценология. Вып. 34. «Ценологические исследования». М.: Технетика, 2007. – 348 с.

2. Ключев Р.В. Прогнозирование электропотребления на основе рангового анализа техноценозов // Материалы четвертой межрегиональной научной конференции "Студенческая наука - экономике России", Ставрополь, 2003, с. 125-126.

3. Ключев Р.В., Васильев И.Е., Сахаров Д.С. Использование рангового анализа техноценозов для расчета и прогнозирования электропотребления промышленного предприятия // Труды молодых ученых, вып. 2,

Владикавказский научный центр РАН и Правительства РСО-А, Владикавказ, 2004, с. 39-44.

4. Ключев Р.В., Хабалонов Г.В. Ранговый анализ электропотребления технологического оборудования промышленного предприятия // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (Екатеринбург, 15-18 декабря 2015 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2015. С. 250-253.

5. 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. Ссылка на сайте журнала: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/ciggg-18/55915019>.

6. 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. Ссылка на сайте журнала: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/ciggg-18/55915020>.

В ходе работы над статьей использованы материалы, полученные при выполнении Гранта РФФИ №16-38-50278 на тему: «Исследование и разработка принципов построения бесконтактного измерителя переменного скалярного потенциала электрического поля, действующего в условиях неоднородного электромагнитного поля».

©, Ключев Р.В., Гаврина О.А., Мадаева М.З., Абаев Г.Я., – 2020

ЦЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ

ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ОСОБЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗОН

Кошарная Юлия Васильевна, кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: kosh_yulia@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены особенности формирования особых экономических зон, условия функционирования их резидентов, факторы, влияющие на распределение такого ограниченного ресурса, как электрическая мощность. Проведена оценка параметров электропотребления объекта, обладающего признаками техноценоза, на соответствие ценологическим критериям оптимальности построения его структуры. Выявлены объекты ценоза, оказывающие наибольшее влияние на формирование профиля нагрузки компании, с использованием анализа ранговых распределений путем построения динамик 1-го и 2-го рода. Определены основные критерии выбора наиболее экономически выгодной ценовой категории для оплаты потребляемой электроэнергии.

Ключевые слова

параметры электропотребления, профиль нагрузки, ранговое распределение, ценологические критерии, особая экономическая зона

CENOLOGICAL ASSESSMENT OF ELECTRICITY CONSUMPTION

PARAMETERS OF SPECIAL ECONOMIC ZONES

Kosharnaya Yulia Vasilievna, candidate of technical science, associate Professor, National Research University «MPEI», 111250, Russia, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14, e-mail: kosh_yulia@mail.ru

Annotation

The article considers the features of the formation of special economic zones, the conditions of their residents' functioning, and factors that affect the distribution of such a limited resource as electric power. The estimation of the parameters of electricity consumption of an object that has the characteristics of technocenosis, for compliance with the cenological criteria of optimal construction of its structure. The objects of cenosis that have the greatest influence on the formation of the company's power profile are identified using the analysis of rank distributions by constructing dynamics of the 1st and 2nd kind. The main criteria for choosing the most cost-effective price category for paying for electricity consumption are defined.

Key words

electricity consumption parameters, power profile, rank distribution, cenological criteria, special economic zone

В настоящее время развитие крупных городов – мегаполисов идет по пути интенсификации деятельности в таких сферах, как интеллектуальные, ИТ, финансовые услуги, инновационные технологии, что сопряжено не только с экономическими аспектами их жизнедеятельности, но и с экологической безопасностью, эффективным и надежным энергоснабжением. Особые акценты делаются на понятии «умный город».

Городские пространства все чаще трансформируются из промышленных зон в специализированные территории, выделяемые для формирования так называемых «особых экономических зон», в пределах которых обеспечивается развитие перспективных высокотехнологичных производств.

Примером такой особой экономической зоны является объект нашего исследования – крупная управляющая компания Технополис «Москва», расположенная в непосредственной близости от центра столицы. Целью развития Технополиса является формирование инновационной экосистемы города путем предоставления максимально благоприятных условий для размещения российских и зарубежных высокотехнологичных компаний.

Технополис «Москва» включает в себя свыше 335 тыс. кв. м производственных помещений с необходимой инженерной инфраструктурой, предоставляемых в долгосрочную аренду его резидентам – организациям, создающим многономенклатурную наукоемкую продукцию и реализующим свою производственную деятельность в таких сферах, как микроэлектроника, оптика, робототехника, новые материалы и нанотехнологии, медицинские технологии, оборудование и биофарма, информационно-коммуникационные и энергоэффективные технологии [7].

Статус особой экономической зоны дает резидентам Технополиса ряд организационно-экономических (программы субсидирования и поддержки бизнеса), и технических преимуществ, важнейшими из которых являются:

- упрощенный порядок получения разрешения на адаптацию помещений под технологию арендаторов и выдачи технических условий;
- значительные доступные энергетические мощности и бесплатное подключение к сетям.

Технополис «Москва» располагает 60 МВт электрической мощности, потребляемой от двух независимых источников питания, в пределах которой выделяются мощности его резидентам, обращающимся за подключением.

Ограниченность такого важного ресурса, как электрическая мощность, требует рационального и эффективного подхода к ее использованию, выраженного в необходимости постоянно контролировать и оценивать соответствие параметров электропотребления компании некоторым целевым показателям. В этом вопросе Технополис «Москва», как управляющая компания, сталкивается с решением двух типов задач:

1) корректная оценка величины фактической располагаемой мощности, запрашиваемой потенциальными резидентами и оставшейся после ее выделения и распределения по заявкам существующих резидентов;

2) анализ текущего электропотребления и профилей нагрузок компании для оптимизации затрат на их оплату с выбором экономически наиболее выгодного тарифа.

При решении первого типа задач управляющая компания сталкивается с проблемой завышения будущими резидентами величин запрашиваемой мощности при их обращении за присоединением к системе электроснабжения компании, выступающей, в этом случае, в роли электросетевой организации. В результате некорректного оценивания резидентами требуемой мощности фактические величины ее потребления оказываются значительно ниже запланированных. При этом управляющая компания сталкивается с псевдодефицитом установленных мощностей, поскольку складывается картина отсутствия технической возможности для присоединения новых резидентов в связи с тем, что сумма заявленных мощностей, выделенных действующим резидентам, исчерпала общий лимит доступной мощности.

Решение второго типа задач связано с оценкой не только технических параметров потребления резидентами электроэнергии и мощности, но и финансовых вопросов распределения затрат на их оплату.

Управляющая компания относится к категории «крупный потребитель» мощностью свыше 670 кВт до 10 МВт, который может выбрать для себя с третьей по шестую ценовую категорию нерегулируемых цен [5]. Расчеты за электроэнергию в этих ценовых категориях производятся по тарифам и за объемы отдельно для каждого часа, а расчеты за мощность – для значения в целом за месяц. В этой связи Технополису важно оценивать динамику как ежемесячно, так и посуточно в почасовом разрезе, и выбирать свою финансово-техническую политику при оплате электроэнергии, исходя из анализа электропотребления, как всего объекта, так и отдельных его элементов. Это необходимо для понимания, по какой ценовой категории расплачиваться с гарантирующим поставщиком, чтобы минимизировать свои расходы на электропотребление и оптимизировать запрашиваемые мощности при подключении новых резидентов. Таким образом, финансовая экономия «рождается» из анализа графиков нагрузок.

УК «Технополис «Москва» выступает единым абонентом при оплате электроэнергии Мосэнергосбыту по договору энергоснабжения, а все

расположенные на его территории юридические лица – резиденты – взаимодействуют с ним в качестве арендаторов или субабонентов. Каждый из них является отдельным потребителем (единицей учета) – элементами, составляющими общую структуру электропотребления компании и вносящими свой вклад в ее итоговые объемы.

Эффективным и удобным инструментом анализа электропотребления объектов, как структур, состоящих из множества элементов, образующих некоторую целостность, является применение ценологического математического аппарата гиперболического рангового по параметру H -распределения. Его получают путем ранжирования множества, располагая все элементы по порядку по мере уменьшения параметра [3].

Математическое описание рангового H -распределения по параметру:

$$W = W_1 / r^\beta, \quad (1)$$

где W_1 – максимальный параметр элемента, которому соответствует ранг $r = 1$;

β – ранговый коэффициент, характеризующий степень крутизны распределения.

Площадь под кривой рангового H -распределения по параметру характеризует электропотребление предприятия в целом.

Сформированная структура, состоящая из элементов анализируемого множества, должна соответствовать ценологическим критериям [4]:

1) Параметр каждого объекта, составляющего ценоз, индивидуален и изменяется во времени, но так, что параметр β во времени остается устойчивым. Причем оптимальное состояние техноценоза – при $0,5 < \beta < 1,5$. При $\beta < 1$ кривая распределения более угловатая, при $\beta > 1,5$ – пологая, определяемая наличием большого количества мелких объектов.

2) По соотношению «крупное-среднее-мелкое» система (структура) будет устойчива, если выполняется условие, что 5-10% объектов с первыми рангами

потребляют 40-60% ресурса, и наоборот, 40-60% объектов с последними рангами потребляют 5-10% ресурса.

Технополис «Москва» является типичным представителем техноценологического объекта, одним из характерных свойств которого является наличие между элементами, составляющими его структуру, слабых взаимосвязей и слабого влияния друг на друга.

Как объект исследования, управляющая компания обладает развивающейся структурой электропотребления, характеризующейся ежегодным увеличением количества резидентов (рис. 1).

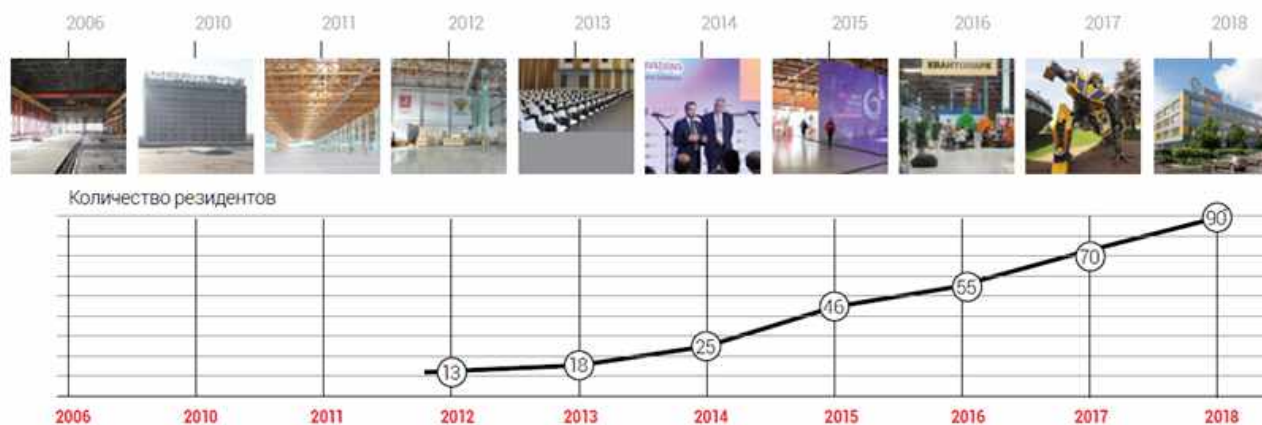


Рисунок 1. Динамика развития управляющей компании «Технополис «Москва»

В настоящее время на территории Технополиса работают более 100 компаний-резидентов.

На конец 2017 года сумма максимально разрешенных мощностей, выделенных компаниям-резидентам Технополиса, составила порядка 40,6 МВт.

Вся потребляемая электроэнергия распределяется между субабонентами, арендаторами и собственными нуждами компании. Электроэнергия, которая расходуется на собственные нужды объекта, используется для обслуживания производственных площадей Технополиса и обеспечения всеми необходимыми коммуникациями: теплоснабжение, водоснабжение и канализация, автоматизированная система диспетчерского управления, локальные вычислительные сети, системы связи, безопасности, пожарной сигнализации.

Небаланс, определяемый как разница между объемом электроэнергии, потребленной на вводах управляющей компании, и суммарным объемом всей электроэнергии, потребленной субабонентами и арендаторами, списывается на собственные нужды «Технополиса», что отражается на стоимости электроэнергии для арендаторов, но не субабонентов. По расчетам за 2017 год среднемесячный расход электроэнергии на собственные нужды варьировался в пределах 15 – 25 % от общего объема потребленной электроэнергии (рис. 2).

В целом электропотребление Технополиса «Москва», как объекта исследования, в 2017 году характеризуется значительными годовыми объемами порядка 70 млн кВт.ч, месячными объемами 4–9 млн. кВт.ч и средней мощностью 5–12 МВт.

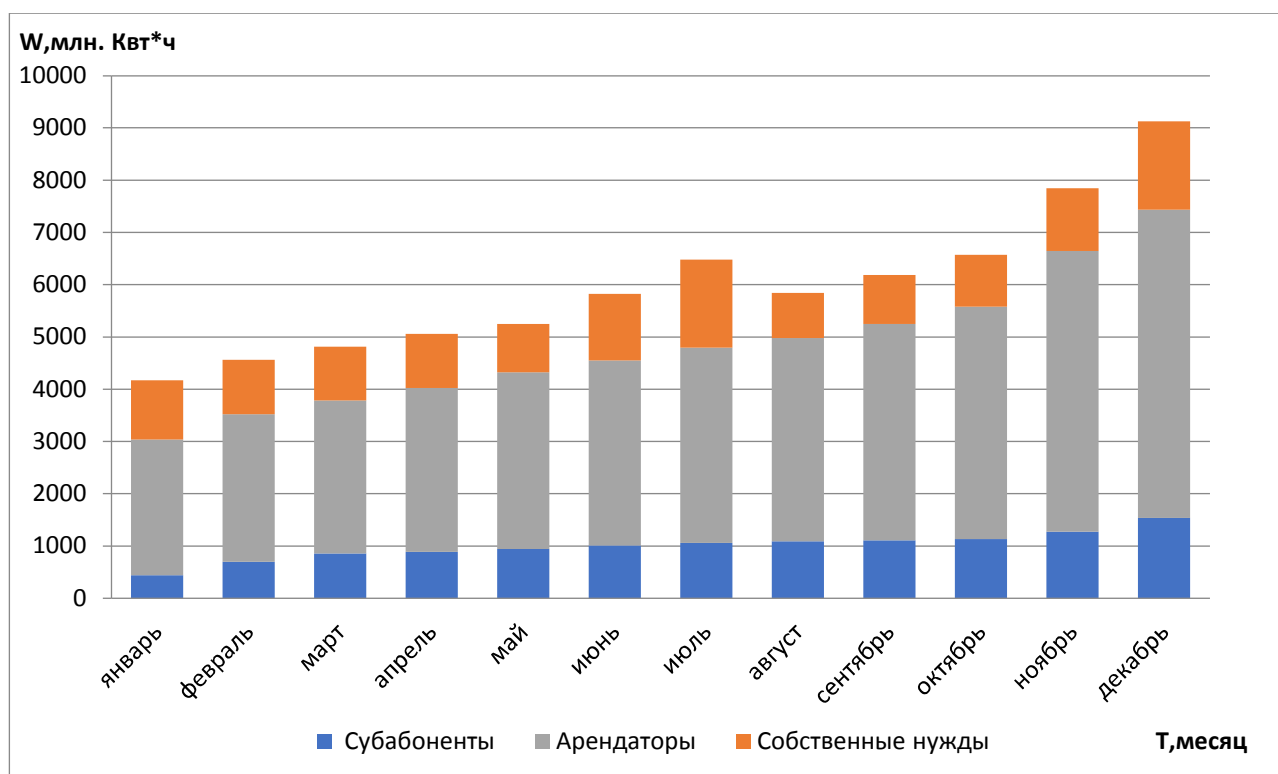


Рисунок 2. Динамика месячного электропотребления «Технополиса» за 2017 год

Линия тренда общего электропотребления за наблюдаемый период времени описывается линейной математической функцией вида: $W(t) = 273,3t + 4836$. В течение года наблюдается рост электропотребления от месяца к месяцу, что характеризуется положительным коэффициентом при t . Это объясняется

увеличением количества резидентов и наращиванием ими производства, что приводит к увеличению объемов потребления электроэнергии к концу года более чем в 2 раза.

Для выявления объектов, оказывающих наибольшее влияние на целевую функцию общего электропотребления объекта исследования, определим доли каждого из объектов учета электроэнергии в общем объеме, предварительно ранжировав их по убыванию данного параметра. Укрупненная структура электропотребления Технополиса за январь 2017 г. с разбивкой по объектам (арендаторам и субабонентам) представлена на рис. 3. Функция, описывающая ранговое H -распределение за январь, имеет вид: $W = 847,27 r^{1,71}$.

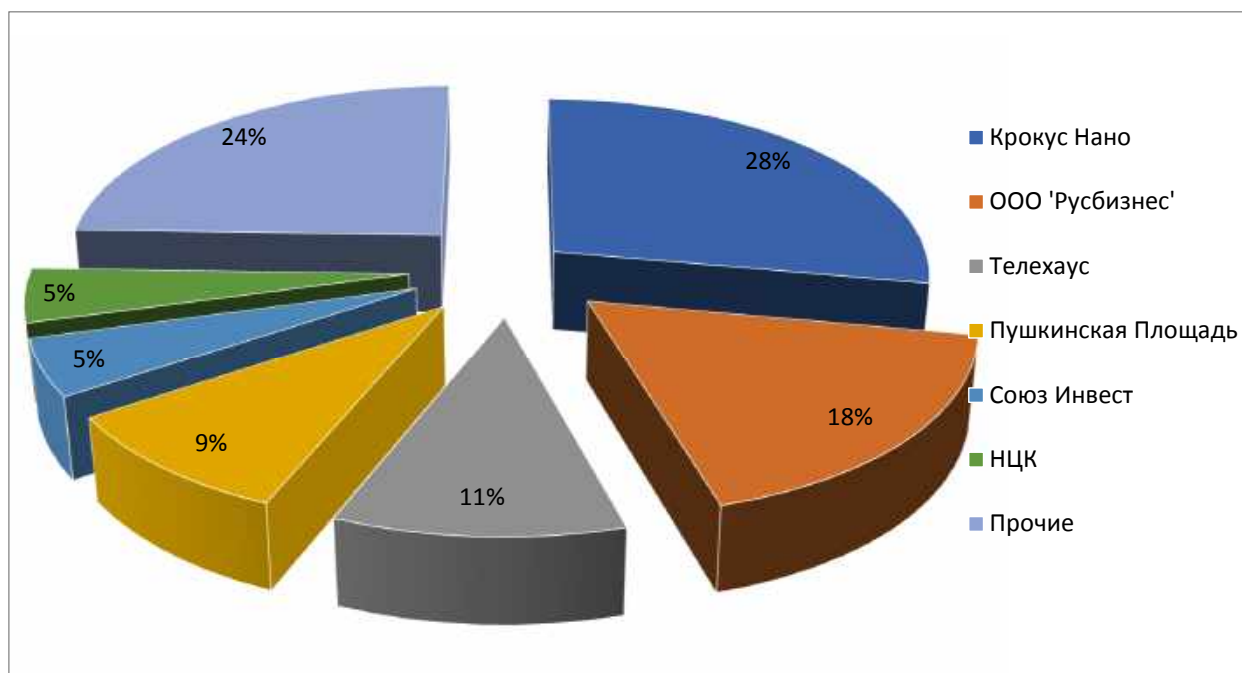


Рисунок 3. Структура электропотребления Технополиса за январь 2017 г.

Оценка ценологических критериев полученного распределения за январь выявила следующее. Величина характеристического показателя β составила 1,71 и превысила верхнюю границу оптимальности структуры. Анализ соотношения «крупное-среднее-мелкое» исследуемой структуры показал, что 10% объектов учета с наибольшими рангами расходуют более 75% общего объема электроэнергии, в то время как 60% объектов учета с наименьшими рангами

расходуют всего 2%, что не соответствует условию оптимальности структуры гиперболического H -распределения.

По ценологическим критериям исследуемая система не является устойчивой, что, в целом, закономерно, поскольку она является развивающейся: в течение года растет количество потребителей (единиц учета) и изменяются величины их электропотребления.

Более точную оценку устойчивости системы, как для сформировавшихся структур, так и для развивающихся структур предприятий, может дать изучение поведения анализируемых величин в динамике методами ценологического рангового анализа, представленного динамиками 1-го и 2-го рода [1, 6].

Ценологический анализ параметра на основе динамики 1-го рода рангового H -распределения основан на допущении о неизменности ранга объектов в структуре ценоза.

При формировании структуры Технополиса в динамике за каждый месяц 2017 года было получено семейство кривых распределения с сохранением у объектов учета первоначальных (январских) рангов. На рис. 4 представлено сравнение распределений на начало (январь) и конец (декабрь) 2017 года.

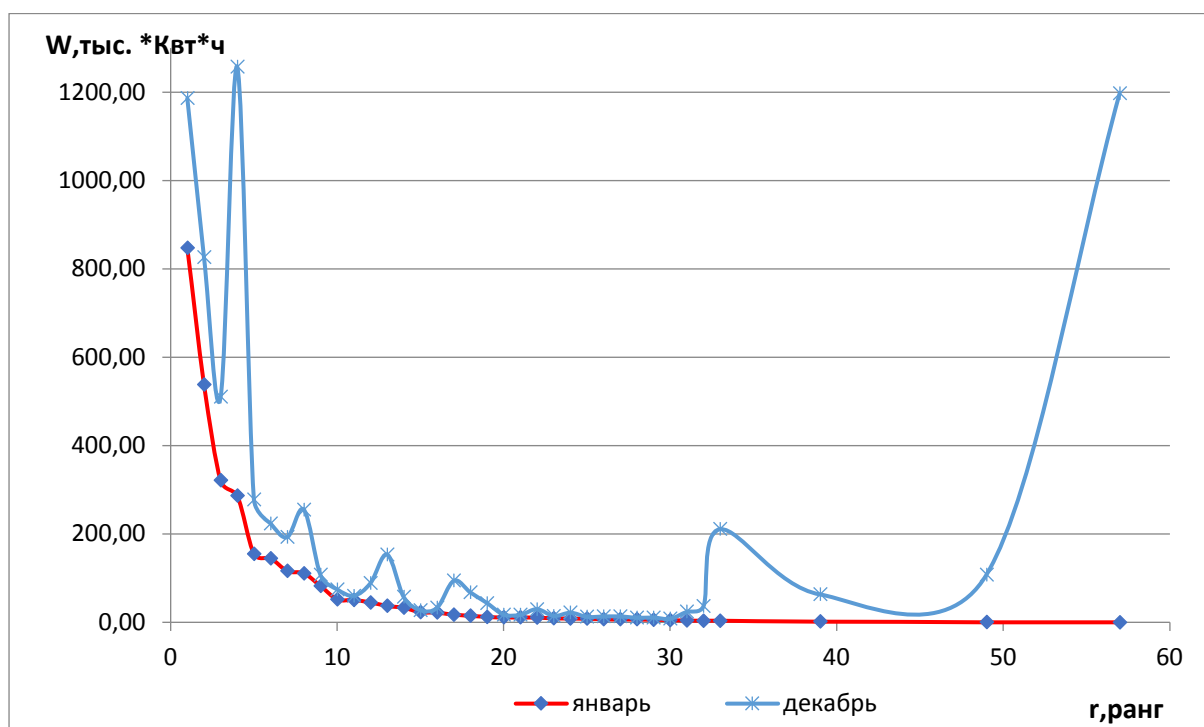


Рисунок 4. Ранговые H -распределения электропотребления в январе и декабре 2017 г.

Анализ характера изменения величин электропотребления отдельных объектов Технополиса в динамике выявил значительные искажения кривых распределения, выразившихся в резком изменении объемов электропотребления и вызвавших резкую смену ранга некоторых объектов: с последнего на второй, с сорок девятого на двенадцатый, с тридцать третьего на девятый и т.д. Это подтверждает факт продолжающегося развития структуры предприятия, в том числе за счет увеличения количества резидентов и изменения ими своих объемов электропотребления, что влияет на формирование конечных электрических балансов Технополиса в целом.

Таким образом, подход к изучению показателей электропотребления Технополиса с использованием динамики 1-го рода при несформировавшейся окончательно структуре нарушает закономерности гиперболических распределений и не позволяет в полной мере реализовывать процедуру оценки влияния крупных потребителей на общее электропотребление компании.

Оценить характер влияния «всплесков» или «провалов» позволяет применение метода анализа ранжирования объектов по параметру электропотребления с учетом изменения их рангов во временном разрезе путем построения структурно-топологической динамики 2-го рода (рис. 5).

При проведении анализа изменения во времени рангов отдельных объектов выявлено, что к декабрю система приобретает устойчивость, объекты перестают менять свои ранги к окончанию периода исследования, что говорит о достаточной стабильности структуры электропотребления предприятия в целом [2].

Для оценки показателей электропотребления Технополиса в динамике и анализа изменения рангов объектов учета было получено семейство кривых гиперболического рангового H -распределения объектов за каждый месяц 2017 года и сформированы математические функции, описывающие эти распределения. На рисунке 6 представлен график изменения характеристического показателя β за каждый месяц анализируемого периода.

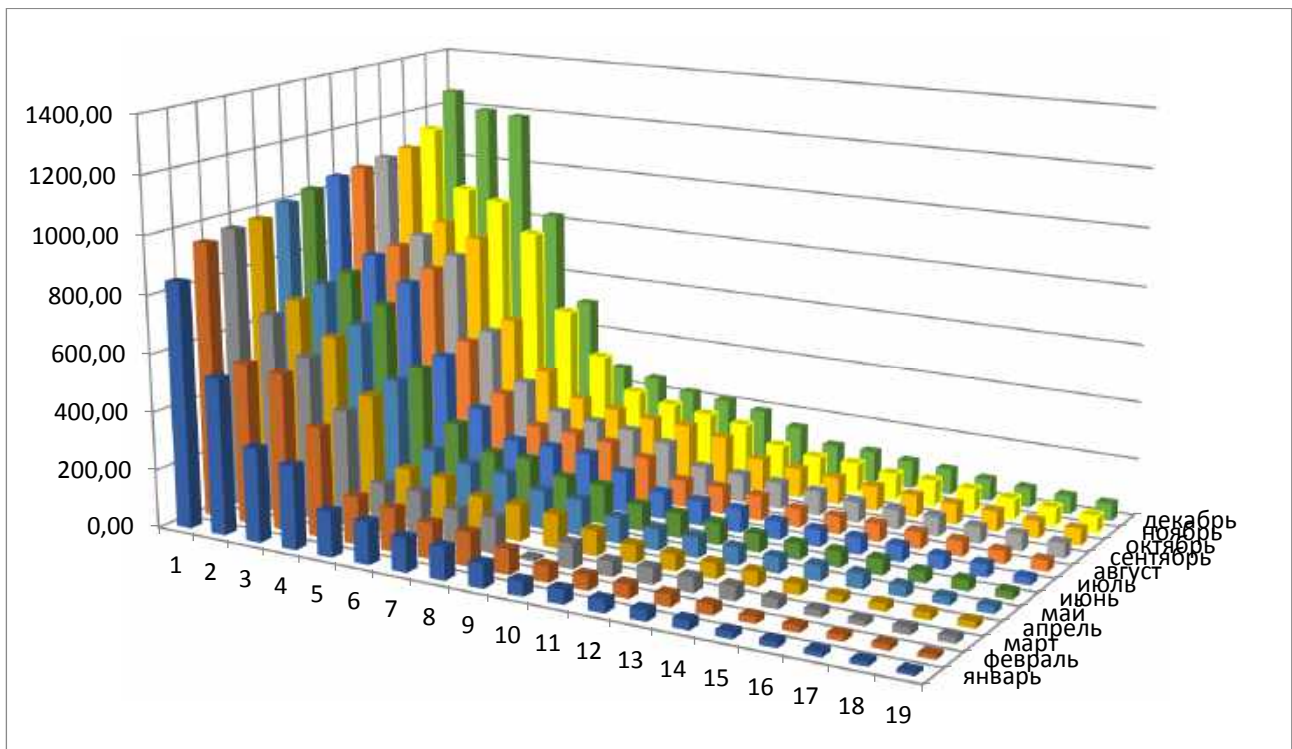


Рисунок 5. Поверхность гиперболического рангового по параметру N -распределения (динамика 2-го рода) за январь – декабрь 2017 г.

Динамика изменения характеристического показателя β за 2017 год указывает на его снижение и приближение к верхней границе оптимальности ($\beta < 1,5$), что также свидетельствует о постепенном переходе структуры в более устойчивое состояние.

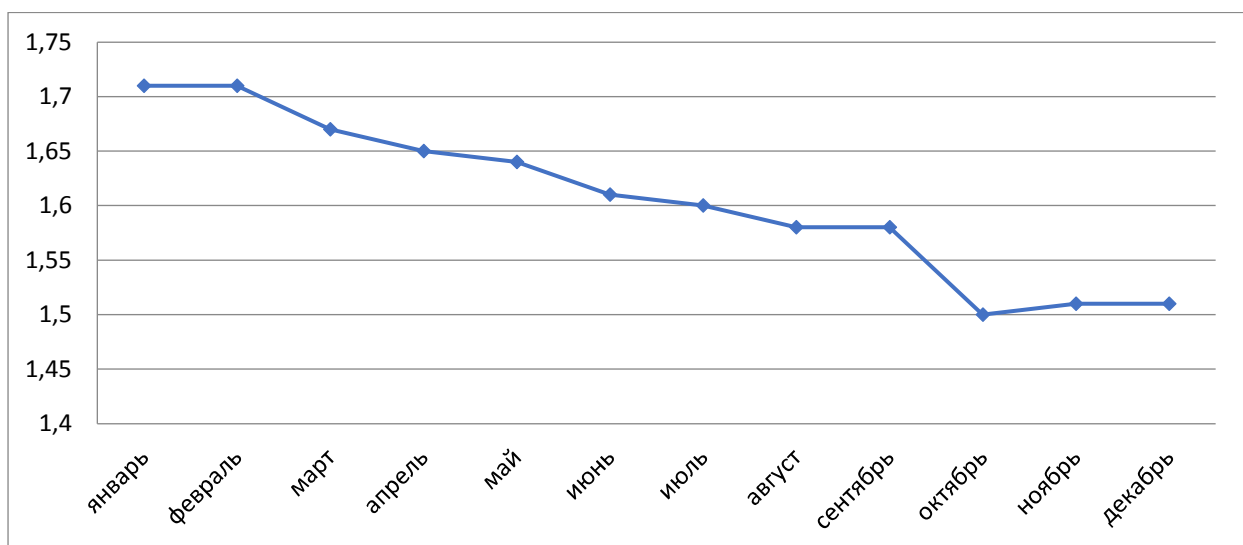


Рисунок 6. Динамика показателя β за временной интервал январь – декабрь 2017 г.

В этом стабильном состоянии системы мы можем выявить, кто из крупных потребителей вносит наибольший вклад в формирование профиля нагрузки Технополиса в целом, имеет основное влияние на общий график электропотребления и формирует выбор ценовой категории. При этом обязательно необходимо учитывать, что объемы электропотребления субабонентов, как и почасовые профили их нагрузок, вычитаются из общего потребления Технополиса и оплачиваются ими отдельно. По оставшимся объемам управляющая компания формирует стоимость оплачиваемой электроэнергии и мощности каждым резидентом, исходя из их вклада в общий профиль нагрузки компании. А по совокупности профилей нагрузки каждого резидента управляющая компания имеет возможность с высокой точностью составлять прогноз почасового электропотребления на каждые сутки, что дает возможность выбрать более экономичную пятую или шестую ценовую категорию.

Список литературы

1. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов. – Выпуск 29. Ценологические исследования. – М.: Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2005. – 384 с.

2. Кошарная Ю.В. Разработка методики анализа параметров электропотребления для их нормирования и оценки объемов энергосбережения при проведении энергоаудита предприятий и организаций / дисс..к-та техн. наук по спец. 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. М: Типография Издательства МЭИ, 2015. 189 с.

3. Кудрин Б. И. Классика технических ценозов. Общая и прикладная ценология. Вып. 31. «Ценологические исследования». Томск: Томский государственный университет – Центр системных исследований, 2006. – 220 с.

4. Кудрин Б. И., Лагуткин О. Е., Ошурков М. Г. Ценологический ранговый анализ в электрике. Вып. 40. «Ценологические исследования». М.: Технетика, 2008. 116 с.

5. Постановления Правительства РФ от 04.05.2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии».

6. Фуфаев В.В. Рангово-интервальный структурно-топологический анализ ценозов // Философские основания технетики. Вып. 19. Ценологические исследования. – М.: Центр системных исследований, 2002. С. 433 – 444.

7. <http://technomoscow.ru>

©, Кошарная Ю.В., – 2020

УДК 621.311.001.57+ 303.725.23

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕВОГО РАНГОВОГО
ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
В ЗАДАЧЕ СНИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ**

Луценко Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник, Калининградский инновационный центр «Техноценоз» 236022, Калининград, Советский проспект, 1, e-mail: lutsenko@bk.ru

Аннотация

В статье на основе положений комбинаторной теории ранговой динамики рассматривается методика определения рангового распределения, гарантирующего при планировании энергосбережения снижение электропотребления на заданную долю с максимальной вероятностью.

Ключевые слова

региональный электротехнический комплекс, техноценоз, комбинаторная теория ранговой динамики, энергосбережение.

DETERMINATION PROCEDURE TARGET RANK PARAMETRIC DISTRIBUTION IN THE TASK OF REDUCING ELECTRIC CONSUMPTION

Dmitry Vladimirovich Lutsenko, candidate of technical sciences, associate professor, science employee, Kaliningrad innovation center «Technocenosis», Sovetskiy Prospect, 1, Kaliningrad, 236022, e-mail: lutsenko@bk.ru

Abstract

Based on the provisions of the combinatorial theory of rank dynamics, we consider a method for determining the rank distribution, which guarantees, when planning energy saving, a reduction in power consumption by a given fraction with a maximum probability.

Key words

regional electrical complex, techocenosis, combinatorial theory of rank dynamics, energy saving.

На современном этапе в региональном электроэнергетическом комплексе отдельно выделяют региональный электротехнический комплекс (далее – РЭК), представляющий собой ограниченную в пространстве и времени обладающую техноценологическими свойствами совокупность потребителей электрической энергии, функционирующую в единой системе управления и всестороннего обеспечения, реализующую цель оптимального развития [1]. В соответствии с данным определением РЭК является техноценозом [2].

Одно из главных свойств, характеризующих техноценоз, является его негауссовость. Из этого следует, что математическое ожидание и дисперсия, оценённые по выборке, характеризуют только эту выборку, а и их значения существенно зависят от объёма анализируемой выборочной совокупности.

Для учёта негауссовости применяется метод рангового анализа [1], инструментом которого является аппарат ранговых распределений. При этом для решения различных задач в ранговом анализе используются разные

распределения. Так при исследовании номенклатуры технических изделий применяются ранговое параметрическое, ранговое видовое и видовое распределения. Исследование процесса функционирования строится на применении в основном рангового параметрического распределения.

Ранговое параметрическое распределение есть невозрастающая последовательность значений параметра, поставленная в соответствии рангу [1, 2]. Ранговое параметрическое распределение, характеризующее электропотребление объектов РЭК в определённый момент времени задаётся следующим образом:

$$w(r) = W_1 / r^\beta, \quad (1)$$

где W_1 – первая точка; β – ранговый коэффициент.

Отдельным объектом в РЭК выступает потребитель электроэнергии, отличительной особенностью которого является наличие собственного учёта, а также подсистемы управления, представленной начальником, ответственным за электрохозяйство или другим лицом.

Функционирование РЭК в определённом временном интервале описывается последовательностью ранговых параметрических распределений:

$$W(t) = w_{t_1}(r), w_{t_2}(r), \dots, w_{t_T}(r) = [w_{t_i}(r)]_{i=1}^T, \quad (2)$$

где $w_{t_2}(r)$ – ранговое распределение, характеризующее электропотребление РЭК в момент времени t_2 ; T – количество временных интервалов.

Объекты РЭК, изменяя в процессе функционирования своё электропотребление, меняют также положение, задаваемое рангом. Это явление перемещения объектов по рангам подробно рассмотрено в комбинаторной теории ранговой динамики (далее – КТРД) [3]. Базовым понятием в КТРД является взаимно однозначное ранговое отображение:

$$\pi: \mathbf{I} \rightarrow \mathbf{R}; \mathbf{I}, \mathbf{R} = \overline{\{1, n\}}, \quad (3)$$

\mathbf{I} – множество объектов; \mathbf{R} – множество рангов; n – количество объектов.

На основе (3) для любого объекта $\forall i \in \mathbf{I}$ можно установить ранг $r = \pi(i)$, а для любого ранга $\forall r \in \mathbf{R}$ – размещающийся в нём объект $i = \pi^{-1}(r)$.

Так как ранги и объекты РЭК размечаются с использованием множества $\overline{\{1, n\}}$ и при размещении объектов по рангам не возникает смежных рангов, то ранговое отображение есть перестановка n -элементного множества.

Ранговому распределению $w(r)$ соответствует ранговое отображение π , так что $W(t)$ (2) соответствует следующая последовательность:

$$\pi(t) = \pi_{t_1}, \pi_{t_2}, \dots, \pi_{t_T} = [\pi_{t_i}]_{i=1}^T, \quad (4)$$

где π_{t_2} – ранговое отображение, полученное в момент времени t_2 ; T – количество временных интервалов.

Ранговое отображение π преобразуется в перестановочную матрицу:

$$\Pi = \|\pi_{i,j}\|_{i,j=1}^n; \pi_{i,j} = \begin{cases} 1, & \pi(i) = j; \\ 0, & \pi(i) \neq j, \end{cases} \quad (5)$$

а на основе совокупности перестановочных матриц вычисляется дважды стохастическая матрица следующего вида:

$$\mathbf{P} = \|p_{i,j}\|_{i,j=1}^n = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \Pi_{t_i}, \quad (6)$$

где Π_{t_i} – перестановочная матрица, полученная для отображения π_{t_i} , устанавливающего ранги объектам на распределении $w_{t_i}(r)$ в момент времени t_i .

Значение $p_{i,j}$ в матрице \mathbf{P} (6) есть вероятность того, что при построении рангового параметрического распределения i -й объект займёт ранг, равный j .

В работах [3, 4] утверждается, что для целостного описания электропотребления РЭК необходимо учитывать параметрическую составляющую, задаваемую последовательностью ранговых распределений

$W(t)$ (2), и структурную составляющую, характеризующую ранговую динамику и задаваемую дважды стохастической матрицей \mathbf{P} (6).

Пусть электропотребление РЭК описывается:

$$w(r) ; \mathbf{P} = \parallel p_{i,j} \parallel_{i,j=1}^n , \quad (7)$$

где $w(r)$ – текущее распределение; \mathbf{P} – дважды стохастическая матрица, а также семейством функций распределения электропотребления объектов:

$$F_1(w), F_2(w), \dots, F_n(w) . \quad (8)$$

На основе (7) и (8) сформулируем задачу – каким образом установить целевое распределение $\hat{w}(r)$, обеспечивающее заданную долю снижения ΔW , с одной стороны, и максимальную вероятность достижения цели, с другой.

В контексте этой задачи рассмотрим случайное событие, соответствующее выполнению ранговой нормы на целевом распределении $\hat{w}(r)$. Оно состоится, когда определённый объект займёт ранг, равный r_j , и его электропотребление ввиду убывающего характера рангового распределения будет принадлежать интервалу $[\hat{w}(r_j + 1), \hat{w}(r_j))$ (рисунок 1).

Так как ранг r_j могут занимать различные объекты, то полная вероятность анализируемого события вычисляется следующим образом:

$$P_{\Sigma}(\hat{w}(r_j)) = \sum_{i=1}^n [p_{i,r_j} \cdot (F_i(\hat{w}(r_j)) - F_i(\hat{w}(r_j + 1)))] , \quad (9)$$

где p_{i,r_j} – вероятность того, что i -й объект займёт ранг r_j , устанавливается матрицей \mathbf{P} (6); $F_i(w)$ – функция распределения ресурсопотребления i -го объекта.

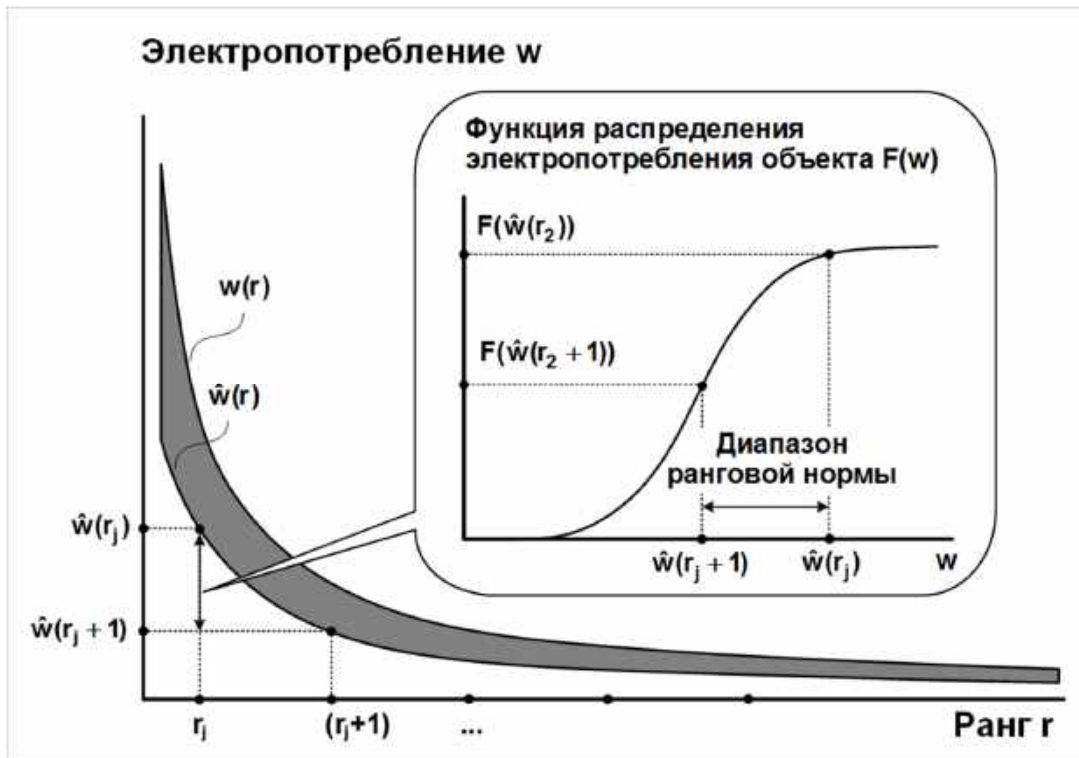


Рисунок 1. К вопросу о ранговой норме снижения

Целевая функция нахождения распределения $\hat{w}(r) = \hat{W}_1 / r^{\hat{\beta}}$ для заданных \mathbf{P} (6) и семейства функций $F_1(w), \dots, F_n(w)$ (8), а также доли снижения

$$\Delta W = \left(\sum_{r=1}^n w(r) - \sum_{r=1}^n \frac{\hat{W}_1}{r^{\hat{\beta}}} \right) / \sum_{r=1}^n w(r) \quad (10)$$

представляется следующим образом:

$$\delta(\hat{W}_1, \hat{\beta}) = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n P_{\Sigma}(\hat{W}_1 / r^{\hat{\beta}}) \longrightarrow \max. \quad (11)$$

Первую точку \hat{W}_1 можно выразить через ΔW и $\hat{\beta}$:

$$\hat{W}_1(\hat{\beta}) = (1 - \Delta W) \cdot \sum_{r=1}^n w(r) / \sum_{r=1}^n \frac{1}{r^{\hat{\beta}}}, \quad (12)$$

где $w(r)$ – текущее ранговое параметрическое распределение.

Тогда целевая функция (11) преобразовывается к виду:

$$\delta(\hat{\beta}) = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n P_{\Sigma}(\hat{W}_1(\hat{\beta})/r^{\hat{\beta}}) \longrightarrow \max, \quad (13)$$

где $P_{\Sigma}(\hat{W}_1(\hat{\beta})/r^{\hat{\beta}})$ – полная вероятность выполнения r -й ранговой нормы; $\hat{W}_1(\hat{\beta})$ – функция зависимости \hat{W}_1 от $\hat{\beta}$, ΔW и текущего распределения $w(r)$.

На основе целевой функции (13) можно найти такую форму распределения $\hat{w}(r)$, которая обеспечивает максимально возможную вероятность его достижения в рассматриваемом РЭК. Её значения принадлежат интервалу $[0, 1]$, где левая граница соответствует состоянию, когда выполнение ранговых норм является невозможным, а правая – достоверным событием.

Преобразуем целевую функцию (13) к следующему виду:

$$\hat{\beta} = \arg \max_{\beta} \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n P_{\Sigma} \left[\frac{W_1(\beta)}{r^{\beta}} \right]. \quad (14)$$

Исследования значительного количества негауссовых выборок показали, что у большинства из них ранговый коэффициент лежит в пределах от 0,5 до 2,5. Тогда, задавшись необходимой точностью, искомое $\hat{\beta}$ можно определить численным методом, варьируя значения в заданном диапазоне.

Таким образом, для регионального электротехнического комплекса рассмотрена методика нахождения рангового распределения, обеспечивающего при планировании мероприятий энергосбережения требуемую величину снижения электропотребления при максимальной вероятности достижения цели. Данную методику можно применять в задаче динамического программирования для организации целенаправленного многошагового процесса по снижению текущего электропотребления РЭК до требуемого значения.

Список литературы

1. Гнатюк, В.И. Закон оптимального построения техноценозов: компьютерная версия переработанная и доп. / В.И. Гнатюк. – Москва: Издательство ТГУ – Центр системных исследований, 2005 – 2020. – Режим доступа : <http://gnatukvi.ru>

2. Кудрин, Б.И. Введение в технетику / Б.И. Кудрин. – Томск: Издательство Томского государственного университета, 1993. – 552 с.

3. Луценко, Д.В. Комбинаторная теория ранговой динамики: трактат / Д.В. Луценко – Калининград: КИЦ «Техноценозв», 2017 – 113 с. Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/ktrd.pdf>

4. Луценко, Д.В. Основы применения комбинаторной теории ранговой динамики в исследовании функционирования припортового регионального электротехнического комплекса / Д.В. Луценко // Морские интеллектуальные технологии № 4 (38) Т.2 Труды V Международного балтийского форума. Калининградский государственный технический университет, 2017. – 218 с., С. 122-127.

© Луценко Д.В., – 2020

УДК 621.31

ЦЕНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ГРАФИКА НАГРУЗКИ

Матюнина Юлия Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: MatyuninaYV@mpei.ru

Султаналиева Элиза Максатбековна, аспирант, Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: SultanaliyevEM@mpei.ru

Малыш Максим Евгеньевич, аспирант, Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: MalyshMY@mpei.ru

Аннотация

Для работы по пятой и шестой ценовым категориям потребителю необходимо прогнозировать график нагрузки. Предложен простой практический подход к моделированию графика с учетом штрафных санкций.

Ключевые слова

график электрических нагрузок, потребление электрической энергии, штрафы за превышение прогноза и недобор.

CENOLOGICAL METHOD FOR MODELING OF SCHEDULE OF ELECTRIC LOADS

Matyunina Yulia V., candidate of technical sciences, National research University «MPEI», 111250, Moscow, Krasnokazarmennaya ul., 14, e-mail: MatyuninaYV@mpei.ru

Sultanalieva Eliza M., post-graduate student, National research University «MPEI», 111250, Moscow, Krasnokazarmennaya ul., 14, e-mail: SultanaliyevEM@mpei.ru

Malysh Maksim E., post-graduate student, National research University «MPEI», 111250, Moscow, Krasnokazarmennaya ul., 14, e-mail: MalyshMY@mpei.ru

Annotation

For working in the fifth and sixth price categories, the consumer needs to forecast the schedule of electric loads. A simple practical method for modeling the schedule taking into account penalties is proposed.

Keywords

schedule of electric loads, electric energy consumption, penalties for exceeding the forecast and shortfall.

На розничных рынках электроэнергии юридические лица имеют право выбора тарифной категории [1]. Как правило, потребители выбирают между третьей и четвертой категорией, поскольку первая и вторая категории недоступны для средних и крупных объектов (мощностью более 670 кВт), а использование пятой и шестой категории требует прогнозирования графиков нагрузки [2]. При выходе за прогнозные значения необходимо оплачивать отклонения по ценам, транслируемым с оптового рынка электроэнергии, что также пугает потребителей.

В то же время применение потребителями пятой или шестой тарифной категории позволило бы энергосбытовым компаниям улучшить свои прогнозы и оптимизировать работу на оптовом рынке электроэнергии. Поэтому в перспективе следует ожидать, что субъекты электроэнергетики будут всё шире и шире привлекать потребителей к использованию этих тарифных категорий как за счет экономических, так и за счет административных рычагов, как это было сделано с запретом использования 1 и 2 тарифных категорий.

Потребителям необходимо иметь простые и доступные инструменты прогнозирования, которые бы не требовали сложного математического аппарата и трудоемких расчетов, и в то же время обеспечивали хорошие результаты при работе на рынке электроэнергии. Нами предложена методика, которая позволит минимизировать штрафные санкции в случае работы по пятой и шестой тарифной категории.

Задача осложняется тем, что исследуемый нами потребитель – яркий пример техноценоза. Это технопарк, на территории которого расположены слабо связанные и слабо взаимодействующие отдельные промышленные и непромышленные объекты. Все они вносят вклад в суммарный график нагрузки потребителя, который необходимо спрогнозировать. При этом, во-первых, не все объекты имеют почасовой учет потребления электроэнергии, во-вторых, работают по своим производственным графикам. Множество факторов, влияющих на каждый объект, невозможно оценить и учесть при прогнозировании. Кроме того, технопарк продолжает развиваться, открываются

и расширяются новые производства, а другие перепрофилируются или закрываются.

Следовательно, получить высокую точность прогноза для такого объекта принципиально невозможно, достаточно свести ее к приемлемым величинам и посмотреть на это с практической точки зрения. Поэтому здесь ценологический подход подразумевает моделирование графика нагрузки сразу всего техноценоза, без учета трендов и факторов, влияющих на каждый объект в отдельности. Будем исходить только из накапливаемой статистики электропотребления всего объекта в целом, как некоторой сложившейся устойчивой структуры.

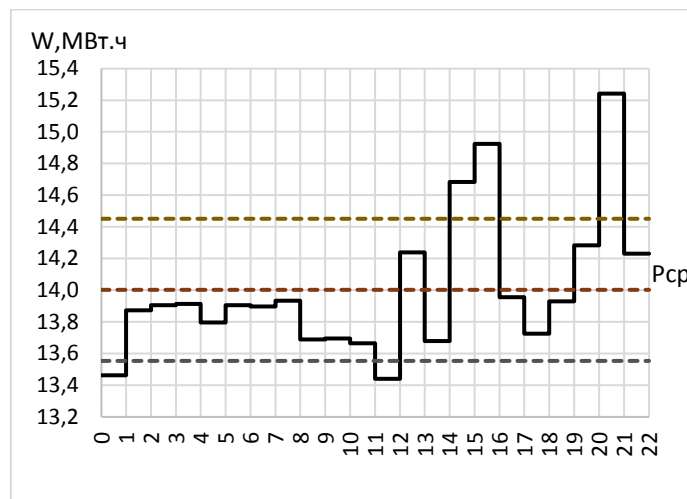
Для примера представим результаты исследования графиков нагрузки в разрезе каждого часа на примере одного месяца. Поскольку основные объекты технопарка имеют пятидневный режим работы, то все данные электропотребления разделены на будние и выходные дни. Внутри недели особенностей по дням недели не выявлено, следовательно, не имеет значения, выполняем ли прогноз для понедельника или среды. Соответственно, может быть получен единый прогнозный суточный график нагрузки для будних дней.

На рис. 1 представлены графики среднечасовой мощности (часового электропотребления) за отдельные часы будних дней одного месяца (сентябрь). Для каждого часа суток рассчитаны среднее значение электропотребления $P_{\text{ср}}$ и среднеквадратичное отклонение (СКО). На графиках пунктирными линиями обозначены среднее значение по выборке $P_{\text{ср}}$, а также значения $P_{\text{ср}} + \text{СКО}$, $P_{\text{ср}} - \text{СКО}$.

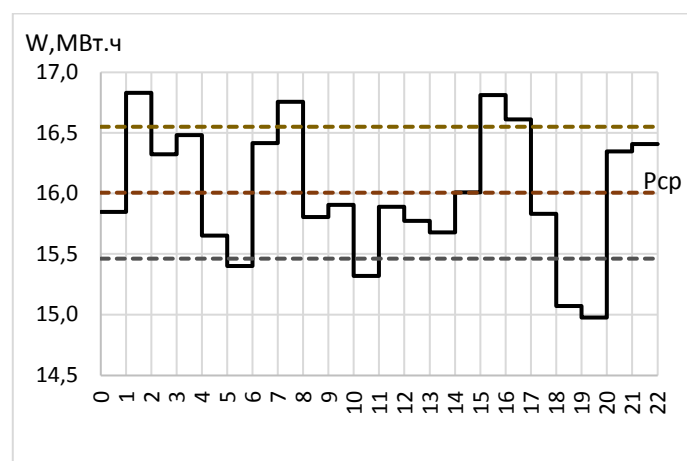
Можно увидеть, что почасовые значения непостоянны, имеют большой разброс, что характерно для объектов типа «техноценоз», но затрудняет прогнозирование. Периодической составляющей, связанной с днями недели, не выявлено. Связи между графиками в разные часы, что говорило бы о тенденциях, присущих конкретным дням, также не прослеживается.

Были сделаны выборки значений среднечасовой мощности (часового электропотребления) за каждый час будних суток в течение двух

последовательных календарных месяцев за несколько временных периодов. Проверка на соответствие этих выборок нормальному распределению по критериям Пирсона и Колмогорова-Смирнова показала, что в большинстве случаев распределение отличается от нормального (хотя в отдельных случаях близко к нему). Однако за границы интервалов $P_{cp} + SKO$, $P_{cp} - SKO$ выходят не более 30-40 % значений выборки, что позволяет считать это распределение близким к нормальному (когда 68,3 % отклонений должны быть меньше $\pm SKO$). При этом отдельные отклонения от среднего значения достигают 15 % и более, что невозможно спрогнозировать заранее.



a



б

Рис. 1. Потребление электроэнергии за выделенный час в будние дни сентября:

а – с 8:00 до 9:00; б – с 12:00 до 13:00

Для практического применения моделируем суточный график нагрузки на 1–2 месяца вперед с использованием средних значений за предыдущий временной интервал. Однако неизбежные отклонения от прогноза приведут к штрафным санкциям. Для их минимизации исследуем, как изменяются штрафы в течение суток [3]. Для примера представим штрафы за сентябрь 2019 года в те же интервалы времени (рис. 2).

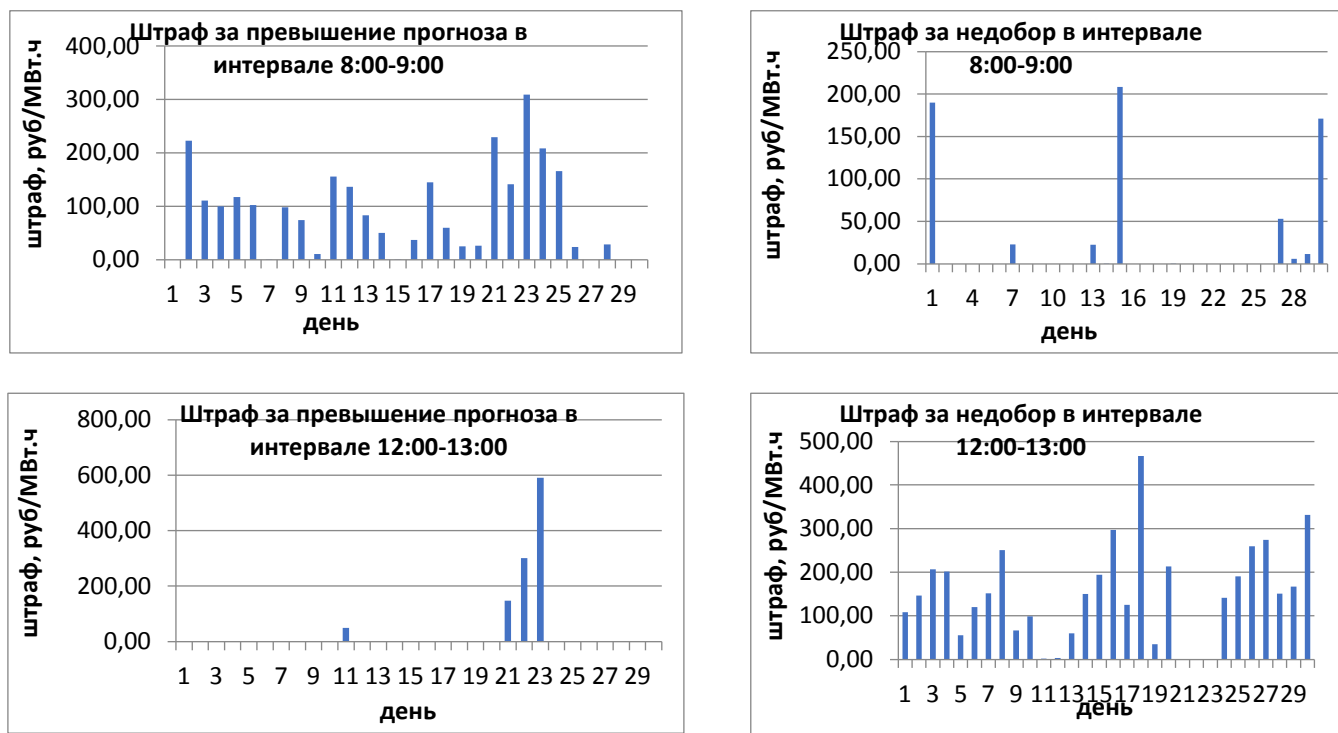


Рис. 2. Штрафы за сентябрь 2019 года в разные интервалы времени.

Обращает внимание, что штрафы практически непредсказуемы, могут быть как за превышение прогноза, так и за недобор – это зависит от складывающейся ситуации на оптовом рынке. Однако исследование штрафных санкций за различные временные интервалы показало, что если в определенный час в течение месяца преобладают штрафы за недобор, то эта тенденция сохраняется и в следующем месяце [4]. Отметим также, что штрафы за недобор часто преобладают в общей выборке.

Предлагается корректировать прогнозное значение часового электропотребления с учетом анализа штрафов за прошедший месяц, вводя некоторый доверительный интервал. Исследована возможность прогнозирования с доверительным интервалом от $P_{cp} + SKO$, до $P_{cp} - SKO$. Если

преобладают штрафы за перебор мощности, прогнозное значение принимается по нижнему уровню доверительного интервала. Если преобладают штрафы за недобор – по верхнему уровню. Тогда для рассмотренного примера для интервала 8:00-9:00 принимаем значение для прогнозного графика будних дней 14,45 МВт (с завышением), а для интервала 12:00-13:00 – 15,46 МВт (с занижением). Строится один модельный график для будних дней и один – для выходных дней на весь месяц, что удобно для потребителя. Проверка по итогам реального почасового электропотребления следующих месяцев показывает, что, несмотря на неточность прогноза, не более 7 % часовых интервалов выходят в «штрафную зону», при этом штрафы незначительно влияют на общую стоимость электроэнергии.

Полученные модельные графики также используются для мониторинга электропотребления с целью уменьшения затрат на электроэнергию.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 29 декабря 2011 г. № 1178 «О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике».
2. Исаев А.С., Ошурков М.Г. Кластерный анализ суточных графиков нагрузок для потребителя при выборе ценовой категории розничного рынка // Промышленная энергетика. 2017. № 6. С. 11–15.
3. Сайт Мосэнергосбыта [Электрон. ресурс] <https://www.mosenergosbyt.ru>.
4. Матюнина Ю.В., Султаналиева Э.М. Адаптация типового графика нагрузки с учетом штрафных санкций // Фёдоровские чтения – 2019: XLIX Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва, 20–22 ноября 2019 г.). М.: Издательский дом МЭИ, 2019. С. 256–262.

©, Матюнина Ю.В., Султаналиева Э.М., Малыш М.Е., – 2020

ПАРАНЕПРОТИВОРЕЧИВАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЦЕНОЗА

Хорьков Сергей Алексеевич, доцент кафедры теплоэнергетики, Удмуртский государственный университет, 426034, г.Ижевск, ул. Университетская, 1, e-mail: horkov_07@mail.ru

Аннотация

Целью статьи является исследование техноценоза при помощи паранепротиворечивой модели. Объектом исследования является техноценоз представляющий техногенную систему, которая имеет гиперболическое распределение элементов, получает материальный, энергетический или информационный ресурс и представляет собой эволюционирующее целое образование. Паранепротиворечивая модель снимает противоречие между аддитивностью ресурса и мультипликативностью гиперболической структуры техноценоза. Она позволяет качественно исследовать связь между ресурсом и гиперболической структурой, количественно оценивать отношение двух ресурсов на одной структуре, а также исследовать статистические законы и структурную устойчивость техноценоза. Представленный подход к моделированию техноценозов проверен на практике.

Ключевые слова

техноценоз, паранепротиворечивая модель, структура и ресурс техноценоза, гиперболическое распределение, закон масштабирования, негауссова статистика, структурная устойчивость.

PARACONSISTENT MODEL TECHNOCENOS

Sergey A. Khor'kov, associate Professor of the Department of heat power engineering, Udmurt state University, 426034, Izhevsk, Universitetskaya str., 1, e-mail: horkov_07@mail.ru

Annotation

The purpose of this article is to study technocenosis with paranephritis-rechevoj model. The object of research is technocenosis, which is a technogenic system that has a hyperbolic distribution of elements, receives a material, energy or information resource, and is an evolving whole formation. The Paran-consistent model removes the contradiction between the additivity of the resource and the multiplicativity of the hyperbolic structure of the technocenosis. It allows us to qualitatively investigate the relationship between a resource and a hyperbolic structure, to quantify the ratio of two resources on the same structure, and to investigate the statistical laws and structural stability of the technocenosis. The presented approach to modeling technocenoses has been tested in practice.

Keywords

technocenosis, paraneosistent model, structure and resource of technocenosis, hyperbolic distribution, scaling law, non-Gaussian statistics, structural stability.

Общепринятого определения техноценоза не существует. Термин «техноценоз», введенный профессором Б.И.Кудриным, запускает интересующий механизм формирования соответствующего понятия, который продолжает работать и в настоящее время. В первом приближении техноценоз представляет собой сложную техногенную (техническую, природно-техническую) систему, которая имеет гиперболическое распределение составляющих, получает материальный, энергетический или информационный ресурс и представляет собой эволюционирующее целое образование [4, с.365], [9, с.16]. Однако это определение имеет внутреннее противоречие. Оно возникает потому, что ресурс техноценоза аддитивен и обозрим, а гиперболическая структура мультипликативна и может быть ограничена только искусственным путем. Снять указанное противоречие позволяет паранепротиворечивая модель, сопрягающая ресурс и структуру техноценоза [9, с.18]. Эта модель позволяет не только качественно исследовать связь между ресурсом и гиперболической структурой, количественно оценивать отношение двух ресурсов на одной

структуре, но и исследовать статистические законы и структурную устойчивость техноценоза. Кроме того, паранепротиворечивая модель позволит уточнить само понятие техноценоза.

Паранепротиворечивая модель техноценоза ценоза.

Паранепротиворечивая модель, соединяющая ресурс и структуру ценоза, имеет вид:

$$W_* \leftarrow W \rightarrow W^*, \quad (1)$$

где W_*, W^* – ресурсный слой ценоза, выраженный через вещественное число, и структурный слой, выраженный через p -адическое число, соответственно; W – ресурс ценоза, выраженный через рациональное число; \leftarrow и \rightarrow – знаки отображения [9, с.18], [10, с.45].

Поле вещественных чисел представляет собой, пополнение поля рациональных чисел. Поле p -адических чисел определяют, для заданного простого числа p , как элемент пополнения того же поля рациональных чисел. Любое целое p -адическое число является безгранично делимым, поскольку для заданного простого p оно представляет бесконечную последовательность вычетов x_n по модулю p^n , удовлетворяющих условию: $x_n \equiv x_{n+1} \pmod{p^n}$. [5, с.91]. Мера ресурсной части ценоза с геометрической точки зрения представляет собой площадь, имеющую размерность 2

$$\mu(W_*) = \lim_{a \rightarrow 0} N(a)a^2, \quad (2)$$

где $N(a)$ – количество шаров покрытия, $a > 0$ – радиус шара покрытия.

Мера структурной части ценоза изоморфна мере Хаусдорфа – мере фрактала [3, с.24]

$$\mu(W^*) = \lim_{a \rightarrow 0} N(a)a^d, \quad (3)$$

где d – размерность иерархического пространства ценоза заключена в диапазоне $1 < d < 2$ [9, с.19].

Размерность структуры ценоза является размерностью Хаусдорфа-Безиковича

$$d = \lim_{a \rightarrow 0} \ln(N(a))(\ln(a^{-1}))^{-1}, \quad (4)$$

Размерность площади ресурса (2) и размерность структуры иерархического дерева (3) связаны через показатель Херста h . Связь этих размерностей есть коразмерность $h = 2 - d$, используемая для моделирования фрактальных характеристик временных рядов [9, с.77].

Гиперболическая зависимость в техноценозе. Если рассматривать слои паранепротиворечивой модели (1) как пространства, то можно ввести нормы ресурсной $\|W_*\|$ и иерархической $\|W^*\|$ части модели. Произведение этих норм, по аналогии с произведением норм вещественного и p -адического числового поля [5, с.99], позволяет получить значение некоторой величины ресурса ценоза, выраженного через рациональное число.

$$\|W_*\| \cdot \|W^*\| = c, \quad c - const \in W. \quad (5)$$

Нормы в выражении (5) связаны гиперболической зависимостью [9, с.20]. Ниже будет показано, что любое гиперболическое распределение представляют через пересечение растягивающего и сжимающего многообразия.

Связь ресурсов ценоза через закон масштабирования. Диаграмма (6), объединяющая два ресурса W, V ценоза, их проекции на поле вещественных W_*, V_* и на поле p -адических чисел W^*, V^* , терминальный объект 1 и классификатор подобъектов Ω , позволяет связать ресурсы двумя способами

$$\begin{array}{ccccccc} V_* & \leftarrow & V & \rightarrow & V^* & \rightarrow & 1 \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ W_* & \leftarrow & W & \rightarrow & W^* & \rightarrow & \Omega \end{array} \quad (6)$$

Первый способ предполагает наличие гиперболического распределения ресурса W и ресурса V [9, с 88]. Если ресурс W и ресурс V имеют гиперболическое распределение, то существует такой показатель степени $d = (\ln W)(\ln V)^{-1}$, что

$$W = V^d, \quad (7)$$

т.е. имеет место закон масштабирования.

Второй способ [9, 92] ориентирован на теорию категорий. Если выделить в диаграмме элементарный топос – декартово замкнутую категорию, включающую ресурс W и ресурс V , терминальный объект 1 и классификатор подобъектов Ω , то будет выполнено условие $\text{hom}(v \times c, w) \cong \text{hom}(v, w^c)$, т.е. в топосе существуют экспоненты [6, с 126]. Тогда, закон масштабирования (7) имеет вид $W^c = V$, где показатель степени $c = d^{-1}$.

Негауссова статистика ценоза. Считают, что эмпирия гиперболических распределений ценозов имеет в качестве основы теорию безгранично делимых устойчивых распределений [4, с 381]. Следует также отметить, что обобщение центральной предельной теоремы разрабатывалось в направлении отказа от условий независимости событий и замене их более слабыми условиями, а также в направлении использования в качестве предельной аппроксимации не только нормального закона, но и других (негауссовых) распределений [2, с.22].

Степенное распределение составляющих техноценоза имеет отношение к одному из видов устойчивых негауссовых распределений. Для оценки его устойчивости составляют сумму

$$S_n = (X_1 + X_2 + \dots + X_n - a_n) \cdot b_n^{-1}, \quad (8)$$

где X_1, X_2, \dots – последовательность одинаково распределенных случайных величин; a_n, b_n - постоянные.

Если выбор постоянных a_n, b_n произведен наилучшим образом, то функция распределения последовательности сумм S_n (8) слабо сходится к некоторой функции распределения $G(x)$, т.е.

$$P(S_n < x) \rightarrow G(x) \text{ при } n \rightarrow \infty. \quad (9)$$

Представим полученное распределение в виде суммы двух составляющих

$$G(x) = C_1 G_1(x) + C_2 G_2(x), \quad (10)$$

где C_1, C_2 коэффициенты, связанные отношением

$$C_1^\alpha + C_2^\alpha = 1, \quad (11)$$

где α – показатель степени, удовлетворяющий неравенству $0 < \alpha \leq 2$.

Следует отметить, что при $\alpha = 2$ имеют нормальный закон распределения, при $0 < \alpha < 2$ получают негауссовы законы распределения. При $1 < \alpha < 2$ распределение имеет математическое ожидание, но дисперсия стремится к бесконечности; при $0 < \alpha \leq 1$ в распределении отсутствует и математическое ожидание

Если из выражения (10) получают свёртку в виде

$$G(x) = G_1(x \cdot C_1^{-1}) * G_2(x \cdot C_2^{-1}), \quad (12)$$

то получают формальное условие независимости одинаковых случайных распределений.

Установлено, что устойчивые законы являются абсолютно непрерывными и плотность распределения устойчивого распределения $g(x) = G'(x)$ не имеет явного выражения в терминах элементарных функций [2, с.26]. Для описания устойчивых негауссовых законов в этом случае используют соответствующие им характеристические функции $f(t)$ [2, с.27].

Распределение называют безгранично делимым, если при любом целом k существует такая функция распределения $f_k(t)$, что k -ная свертка $f_k(t)$ даёт выражение $f(t) = f_k(t) * \dots * f_k(t)$, т.е. корень из $f(t)$ характеристической функции k -ой степени оказывается характеристической функцией того же закона. Например, характеристическая функция $f(t) = \exp(-\alpha|t|)$ распределения Коши, после извлечения k -ого корня, также даёт характеристическую функцию Коши $f(t) = \exp(-\alpha|t|k^{-1})$. То же самое имеет место и в отношении других устойчивых негауссовых законов [9, с.50]. Безграничная делимость устойчивых распределений соответствует бесконечной последовательности вычетов целого p -адического числа, моделирующего структуру техноценоза.

Структурная устойчивость ценоза. Структурная устойчивость является одной из важнейших характеристик ценоза. Техноценоз, как гиперболическую динамическую систему, в данный момент времени характеризуют состоянием и оператором, с помощью которого описывают эволюцию начального состояния [1, с.23], [9, с.67]. Фазовые траектории гиперболической системы являются седловыми. Структурная устойчивость означает, что при малом возмущении параметров, в конечной области их значений, все траектории остаются седловыми и не изменяют свой характер, т.е. конечная область динамической системы есть гиперболический аттрактор. Седловые фазовые траектории могут быть точками, периодическими орбитами или торами. Важно отметить, что любую седловую точку представляют через пересечение устойчивой и неустойчивой сепаратрисы фазовых траекторий, а седловой цикл – пересечением устойчивого и неустойчивого многообразий, т.е. таких поверхностей, одни траектории на которых приближаются к линии пресечения, а другие – удаляются от нее. Одна седловая точка не является устойчивой. Неустойчивой является и единственная седловая периодическая орбита. Структурная устойчивость ценоза возможна лишь в том случае, если множество устойчивых и неустойчивых траекторий составляют аттрактор. Если траектории динамической системы не регулярны и/или существенно зависят от начальных условий, то имеют дело с детерминированным хаосом [1, с.63].

Таким образом, техноценоз является структурно устойчивым, если он состоит из множества седловых точек. При этом важно отметить, что каждая седловая точка образована пересечением устойчивого и неустойчивого многообразия. Кроме того, окрестности любой точки такой модели техноценоза имеют геометрию произведения канторова множества на интервал [1,с.78]. Из определения структурной устойчивости следует, что пространство ценоза должно быть либо гиперболическим, либо представлять иерархическую сеть. Таковую же структуру имеет целое p -адическое число.

Если отображение $f : W \rightarrow W$ гладкого замкнутого многообразия W растягивает в одном и сжимает в другом направлении и процесс отображения

итеративен, и взаимнообратим, то имеют дело с гиперболической динамической системой. Опишем условия существования гиперболической плотной динамической системы и её аттрактора [8, с.47],[9, с.68].

Пусть пространство W имеет риманову метрику, которая индуцирована нормой касательного многообразия TW . Множество $\Lambda \subset W$ инвариантное относительно отображения $f \Lambda \subset \Lambda$ называют гиперболическим, если для $\forall x \in \Lambda$ касательное пространство $T_x W$ представимо в виде двух непрерывных гладких подпространств $T_x W = E_x^s \oplus E_x^u$ при условии, что

$$\|df^n(v)\| \leq c_1 \cdot \lambda^n \|v\|, v \in E_x^s, n \geq 0, \|df^n(v)\| \geq c_2 \cdot \mu^n \|v\|, v \in E_x^u, n \geq 0, \quad (26)$$

где $c_1, c_2 \geq 0$ и $0 < \lambda < 1 < \mu$ – константы. Другими словами, динамическая система будет гиперболической, если гладкое замкнутое многообразие W имеет касательное многообразие $T_x W$, каждую точку x которого растягивают в одном направлении E_x^u и сжимают в другом E_x^s [7, с.114], [8, с.47].

Траекторию точки динамической системы $x \in W$ под действием итеративного отображения f^n обозначают $O_f(x)$. Отображения $f, g : W \rightarrow W$ топологически сопряжены, если существует такой гомеоморфизм $\eta : W \rightarrow W$, что $\eta \circ f = g \circ \eta$. Это означает, что сопрягающее отображение η переводит каждую траекторию $O_f(x)$ в $O_g(\eta(x))$. Траектории такой динамической системы являются плотными.

Если для каждого открытого множества V динамической системы, содержащего точку x и для $\forall n \in \mathbb{N}$, найдется $m \geq n$ такое, что $V \cap f^m V \neq \emptyset$, то точку x называют неблуждающей точкой динамической системы. Открытое множество $U \supset \Lambda$, удовлетворяющее условию $\Lambda = \bigcap_{n>0} f^n U$, называют аттрактором динамической системы [9, с.67], [8, с.47].

Динамическая система, отвечающая условиям: гиперболичности, плотности траекторий и имеющая аттрактор, является структурно устойчивой.

Поскольку структура паранепротиворечивой модели ценоза представлена целым p -адическим числом, то она отвечает этим требованиям.

Вывод. Паранепротиворечивая модель техноценоза, сопрягающая его структуру, выраженную через мультипликативность p -адического числа, и количество ресурса, выраженное через аддитивность вещественного числа, позволяет установить, что:

1) для получения гиперболической зависимости в техноценозе формируют произведение норм ресурсной и иерархической части этой модели;

2) для связи двух измеримых ресурсов техноценоза на одной гиперболической структуре между ними устанавливают закон масштабирования;

3) для анализа законов статистики техноценоза исследуют сходимость сумм одинаково распределенных случайных величин к безгранично делимым устойчивым распределениям, которым соответствует бесконечная последовательность вычетов целого p -адического числа, моделирующего структуру техноценоза;

4) для получения качественной оценки структурной устойчивости техноценоза следует считать его динамической системой, отвечающей условиям гиперболичности, плотности траекторий и имеющей аттрактор.

Представленный подход к моделированию техноценозов проверен на практике.

Список литературы

1. Анищенко, В.С. Знакомство с нелинейной динамикой/ Предисл. Г.Г. Малинецкого. Изд. 3-е, перераб. и доп./ В.С. Анищенко. – М.: Изд-во ЛКИ. – 2008. – 224с.
2. Золотарев, В. М. Устойчивые законы и их применение/В.М. Золотарев. – М. : Знание.– 1984. 64 с.

3. Кириллов, А. А. Повесть о двух фракталах. 2-е изд., испр./А. А. Кириллов.– М.: МЦНМО.– 2010. – 180 с.
4. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические H -распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Манделъброта /Б.И. Кудрин// Философские основания технетики. Вып. 19. – М. : Центр системных исследований.– 2002. – С. 357–412.
5. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике. Фракталы, p -адические числа, апории Зенона, сложные системы / Ф.И. Маврикиди. – М.: Дельфис. – 2015. – 416с.
6. Маклейн, С. Категории для работающего математика / пер. с англ. под ред. В. А. Артамонова/ С. Маклейн. – М. : Физматлит. – 2004. – 352 с.
7. Пилюгин, С. Ю. Пространства динамических систем/ С. Ю. Пилюгин. – М.; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика; Ин-т компьютерных иссл.– 2008. – 272 с.
8. Плыкин, Р. В. Возникновение феномена и развитие теории гиперболических аттракторов коразмерности один/Р.В. Плыкин // Российская наука: мечта светла : сб. науч.-поп. ст. / под ред. В. И. Конова. – М. : Октопус ; Природа. – 2006. – С. 44–56.
9. Хорьков, С. А. Проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики для ее решения : монография/ С.А.Хорьков. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2019. – 124 с.
10. Хорьков, С. А. Числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия // Промышленная энергетика. – 2018. № 5. – С. 44–51.

©, Хорьков С.А., – 2020

**КРИТЕРИАЛЬНО-АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗАКОНА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОРГАНИЗМА**

Шейнин Александр Анатольевич, кандидат технических наук, ООО «Калининградский инновационный центр «Техноценоз», 236022, Россия, г. Калининград, Советский проспект, д. 1., e-mail: sheynin@mail.ru

Косенков Олег Николаевич, кандидат педагогических наук, доцент, Калининградский государственный технический университет, 236022, Россия, г. Калининград, Советский проспект, д. 1., e-mail: kosenkov.oleg@mail.ru

Аннотация

Здоровье является важной составляющей жизни каждого человека. Неинфекционные заболевания – группа нарушений здоровья (сердечно-сосудистые заболевания, онкологические заболевания, диабет, хронические респираторные болезни и психические расстройства). Основной причиной развития неинфекционных заболеваний является нарушение энергетического баланса человеческого организма. В статье формулируется закон энергетического баланса человеческого организма. На основе закона сформулированы принципы оптимального питания и двигательной активности для человека. Поддержание энергетического баланса опирается на системы питания и двигательной активности. Оптимизацию данных систем предлагается осуществлять с использованием методологии рангового анализа, на основе которого разработаны математический аппарат и алгоритмы системы поддержания энергетического баланса. Управление данными системами позволяет не только предотвратить неинфекционные заболевания, но и улучшить качество жизни и, как следствие, – всегда быть на пике своего физиологического состояния.

Ключевые слова

здоровье, неинфекционные заболевания, физиология, энергетический баланс, человеческий организм, питание, физическая активность, физическая культура, ранговый анализ, ценоз.

CRITERIA-ALGORITHMIC LAW SYSTEM

THE HUMAN BODY'S ENERGY BALANCE

Sheynin Alexander Anatolevich, Candidate of Technical Sciences, LLC «KIC-Technocenose», 236022, Russian Federation, Kaliningrad, Sovetskiy Prospect, 1, e-mail: sheynin@mail.ru

Kosenkov Oleg Nikolaevich, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Kaliningrad state technical university, 236022, Russian Federation, Kaliningrad, Sovetskiy Prospect, 1, e-mail: kosenkov.oleg@mail.ru

Annotation

Health is an important part of every person's life. Noncommunicable diseases are a group of health disorders that includes cardiovascular diseases, diabetes, cancer, chronic respiratory diseases and mental disorders. Violation of the energy balance of the human body. The article interprets the law of the energy balance of the human body. Based on the law, the principles of optimal nutrition and motor activity of the person are formulated. It maintains an energy balance based on the nutritional system and physical activity. Data optimization using the method of rank analysis based on the mathematical apparatus and the algorithm for calculating the energy balance. The management of these systems allows not only to provide non-communicable diseases, but also to improve the quality of life and, as a result, always depend on one's physical and logical state.

Key words

health, noncommunicable diseases, physiology, energy balance, human body, nutrition, physical activity, physical culture, ranking analysis, cenosis.

Здоровый образ жизни (ЗОЖ) – образ жизни человека, направленный на сохранение здоровья, профилактику болезней и укрепление человеческого организма в целом. Здоровье человека на 60 % и более зависит от образа жизни [3]. Неполноценное питание и отсутствие физической активности, повышают риск развития неинфекционных заболеваний (НИЗ). НИЗ – группа нарушений здоровья (сердечно-сосудистые заболевания, онкологические заболевания, диабет, хронические респираторные болезни и психические расстройства и другие) [3]. В 2016 году во всем мире на НИЗ пришлось 71 % случаев смерти (41 млн. человек) [3].

Основной причиной развития заболеваний, в том числе НИЗ, является энергетический дисбаланс организма. Это происходит, когда в организм поступает больше энергии с пищей, чем это необходимо. При чрезмерном потреблении пищи и пассивном образе жизни с минимальной или совсем отсутствующей физической активностью появляется избыточная масса тела, а затем развивается ожирение с последующими осложнениями в виде НИЗ, заболеваний опорно-двигательного аппарата и других.

Энергетический баланс – состояние равновесия между энергией, поступающей с пищей, с одной стороны, и затратами энергии на различные процессы жизнедеятельности организма, с другой. Соответственно, энергетический дисбаланс организма – это нарушение состояния равновесия.

В [3] описан энергетический баланс человеческого организма в началах термодинамики и это позволило сделать вывод, что выполнение закона сохранения энергии и закона возрастания энтропии позволяют поддерживать энергетический баланс.

Теперь сформулируем закон энергетического баланса человеческого организма, который гласит, что в организме человека неотвратно действуют первое и второе начала термодинамики – законы сохранения энергии и возрастания энтропии замкнутых систем (рис. 1).

Начала термодинамики определяют условия, первое из которых констатирует неизменность совокупного параметрического ресурса организма

при потреблении и расходе энергии в любой фиксированный момент времени, а второе – задает принцип максимизации энтропии организма, естественно развивающегося в направлении оптимального (наиболее устойчивого, наилучшего) состояния [1,2].

Закон сохранения энергии задает равновесное состояние между энергией, поступающей с пищей, с одной стороны, и ее затратами на все виды деятельности человека, с другой стороны.

Закон возрастания энтропии определяет: оптимальное поступление энергии от пищи, которое заключается в максимально возможном разнообразии видов пищевых продуктов, суммарная калорийность которых равномерно распределена по популяциям всех видов пищевых продуктов; оптимальные затраты энергии от всех видов деятельности, которые заключаются в максимально возможном разнообразии физических движений, энергетические затраты на выполнение которых характеризуется равномерным распределением энергии по популяциям всех видов движений.

При потреблении энергии наращивание количества видов пищевых продуктов в рационе строго ограничено условием равенства совокупной калорийностью рациона, выделенной, с одной стороны, на первый, а с другой – на последний виды пищевых продуктов.

При расходе энергии наращивание количества видов движений в двигательной активности строго ограничено условием равенства совокупного параметрического ресурса (расход калорий), выделенного, с одной стороны, на первый, а с другой – на последний виды физических движений.

Из закона оптимального поддержания баланса вытекают принципы оптимального питания и физической активности (оптимальных энерготрат) [4-7].

Принцип оптимального питания – задает такой набор пищевых продуктов, который, с одной стороны, по своей суммарной калорийности обеспечивает суточную потребность организма, а с другой – характеризуется максимальной

энтропией, то есть совокупная калорийность равномерно распределена по группам пищевых продуктов различной калорийности [4,5].



Рис. 1. Закон энергетического баланса человеческого организма

Принцип оптимальных энерготрат – определяет такую двигательную активность, которая, с одной стороны, по своим суммарным затратам обеспечивает суточную потребность, а с другой – характеризуется максимальной энтропией, то есть суммарные энергетические затраты (в калориях) равномерно распределены по группам энерготрат различной интенсивности [6,7].

Иными словами, для того, чтобы быть здоровым, необходимо:

1. При потреблении энергии (питание): соблюдать суточную энергетическую норму потребления (закон сохранения энергии) при максимальном разнообразии пищевых продуктов (принцип максимума энтропии).

2. При расходе энергии (физическая активность): соблюдать суточную энергетическую норму расхода (закон сохранения энергии) при максимальном разнообразии движений (принцип максимума энтропии).

Энергетический баланс организма – это баланс между потреблением и расходом энергии организмом, при котором суммарный энергетический ресурс потребления и расхода энергии равномерно распределен по популяциям элементов систем питания и физической активности.

Управление энергетическим балансом человеческого организма – систематическое соблюдение закона энергетического баланса посредством индивидуальных программ питания и физической активности. Для управления энергетическим балансом человеческого организма необходима система уравнений данного закона.

Закон сохранения энергии задает параметрическую связанность систем питания и двигательной активности, заключающуюся в том, что их совокупный параметрический ресурс (калорийность) исчерпывается только в том случае, если рассмотрен весь континуум как видообразующих, так и функциональных параметров, а любое изменение видообразующих параметров пищевых продуктов и физических нагрузок, неизбежно сопряжено с равнозначным изменением функционального состояния человека. Закон возрастания энтропии определяет, что оптимальными являются такие системы питания и двигательной

активности, которые при наибольшем возможном разнообразии видов характеризуются равномерным распределением совокупного параметрического ресурса по популяциям всех видов пищевых продуктов и физических нагрузок. Начала термодинамики задают в данных системах свертываемость континуума ранговых параметрических распределений особей к ранговому видовому распределению систем в целом, определяющую механизм оптимизации (оптимального управления), включающий процедуры номенклатурной и параметрической оптимизации (при самодостаточности каждой из них, будучи реализованных по отдельности). Условия теоретически оптимального состояния систем питания и двигательной активности представляет собой систему интегро-дифференциальных уравнений (1), математически описывающих упомянутые выше законы термодинамики в понятиях ценологического подхода [1,2].

Система (1), включающая пять подсистем, состоит из восьми уравнений и шести неравенств. В данной системе первые два уравнения являются основными, образуют систему из двух уравнений и представляют собой математическую формулировку действия первого и второго начал термодинамики в исследуемой системе энергетического баланса человеческого организма.

Первое уравнение является математической записью закона сохранения энергии (первого начала термодинамики) и показывает баланс между суммарной калорийностью потребленной энергии W_{in}^{Σ} , с одной стороны, и суммарной калорийностью расхода энергии на все виды деятельности W_{ot}^{Σ} – с другой. Второе уравнение показывает действие принципа максимума энтропии (второго начала термодинамики) и представляет собой математическую запись, в которой для достижения максимального положительного эффекта должно максимизировать произведение двух энтропий H_{in} и H_{ot} . Первая энтропия определяет структуру системы питания, вторая – определяет структуру двигательной активности.

$$\left\{ \begin{array}{l}
\left\{ \begin{array}{l}
W_{in}^{\Sigma} = W_{ot}^{\Sigma}; \\
H_{in} \cdot H_{ot} \rightarrow \max;
\end{array} \right. \\
\left\{ \begin{array}{l}
W_{in}^{\Sigma} = \int_0^{\infty} (W_{in}(x_1) + W_{in}^*(x_1)) dx_1; \\
W_{ot}^{\Sigma} = \int_0^{\infty} (W_{ot}(x_2) + W_{ot}^*(x_2)) dx_2;
\end{array} \right. \\
\left\{ \begin{array}{l}
H_{in} = -\sum_{j=1}^{n_{in}} \left(\frac{W_{inj}}{W_{in}^{\Sigma}} \ln \left(\frac{W_{inj}}{W_{in}^{\Sigma}} \right) \right); \\
H_{ot} = -\sum_{j=1}^{n_{ot}} \left(\frac{W_{otj}}{W_{ot}^{\Sigma}} \ln \left(\frac{W_{otj}}{W_{ot}^{\Sigma}} \right) \right);
\end{array} \right. \\
\left. \left\{ \begin{array}{l}
\sum_{i=1}^{m_{in}} \left(\sum_{j=1}^{k_{in}} (\Lambda_{in}(r_{inij}) \cdot W_{in}(r_{inij})) \right) = \text{const}; \\
\sum_{i=1}^{m_{ot}} \left(\sum_{j=1}^{k_{ot}} (\Lambda_{ot}(r_{otij}) \cdot W_{ot}(r_{otij})) \right) = \text{const}; \\
\left\{ \begin{array}{l}
V_{1min} \leq V_1 < V_{1max}; \\
V_{2min} \leq V_2 < V_{2max}; \\
V_{bmin} \leq V_b < V_{bmax}; \\
\left\{ \begin{array}{l}
T_{1min} \leq T_1 < T_{1max}; \\
T_{1min} \leq T_1 < T_{1max}; \\
T_{pmin} \leq T_p < T_{pmax};
\end{array} \right.
\end{array} \right.
\end{array} \right. \quad (1)$$

где

W_{in}^{Σ} – потребленная суммарная калорийность (потребление энергии), необходимая для обеспечения основного обмена и всех видов деятельности человека;

W_{ot}^{Σ} – потраченная суммарная калорийность (расход энергии) на все виды деятельности

человека (основной обмен и физические нагрузки);

H_{in} – энтропия системы питания;

H_{ot} – энтропия системы двигательной активности;

x_1 и x_2 – непрерывные аналоги параметрического ранга;

$W_{in}(x_1)$ – ресурс (в калориях), необходимый для обеспечения основного обмена;

$W_{in}^*(x_1)$ – ресурс (в калориях), необходимый для обеспечения физических нагрузок;

$W_{ot}(x_2)$ – ресурс (в калориях), который расходуется на обеспечение основного обмена;

$W_{ot}^*(x_2)$ – ресурс (в калориях), который расходуется на физические нагрузки (тренировки);

$j = [1; \infty)$ – индекс (номер) параметра;

n_{in} – номер по порядку касты системы питания;

n_{ot} – номер по порядку касты системы двигательной активности;

W_{inj} – совокупный параметрический ресурс для j -го вида системы питания;

W_{otj} – совокупный параметрический ресурс для j -го вида системы двигательной активности;

m_{in} – количество каст в системе питания;

k_{in} – количество элементов в j -ой касте системы питания;

m_{ot} – количество каст в системе двигательной активности;

- k_{in} – количество элементов в j -ой касте системы двигательной активности;
- r_{ij} – параметрический ранг, который вводится для i -ых элементов j -ой касты систем питания двигательной активности;
- $\Lambda(r_{inij})$ – количество элементов i -го вида j -ой касты в системе питания;
- $\Lambda(r_{inij})$ – количество элементов i -го вида j -ой касты в системе двигательной активности;
- $W_{in}(r_{inij})$ – калорийность потребленной энергии элементов системы питания j -ой касты;
- $W_{ot}(r_{otij})$ – калорийность затраченной энергии элементов двигательной активности j -ой касты;
- $V_{b\min} \leq V_b < V_{b\max}$ – диапазон нормы потребления одного из необходимых биологически значимых b -го элемента для конкретного человека;
- $T_{p\min} \leq T_p < T_{p\max}$ – диапазон нормы физической нагрузки одной из тренировочных p -ой зоны, рекомендуемой по медицинским показателям.

Перейдем ко второй подсистеме, состоящей из двух интегральных уравнений. Первое уравнение второй подсистемы показывает, что потребленная суммарная калорийность W_{in}^{Σ} состоит из двух составляющих: $W_{in}(x_1)$ – калорийности системы питания, необходимой для обеспечения основного обмена и всех видов деятельности человека и $W_{in}^*(x_1)$ – калорийности, необходимой только для обеспечения специально организованных физических нагрузок. Второе уравнение показывает, что расходуемая суммарная

калорийность W_{ot}^{Σ} тратится на $W_{ot}(x_2)$ – основной обмен и все виды деятельности человека и на $W_{ot}^*(x_2)$ – специально организованные физические нагрузки.

Третья подсистема включает в себя выражения двух энтропий. Энтропия потребления энергии H_{in} определяется как сумма (по всем видам) произведений вероятности в системе питания j -го параметрического состояния $\frac{W_{inj}}{W_{in}^{\Sigma}}$ на меру параметрического разнообразия популяции данного вида $-\left(\ln\left(\frac{W_{inj}}{W_{in}^{\Sigma}}\right)\right)$. Энтропия расхода энергии H_{ot} определяется как сумма (по всем видам) произведений вероятности в системе двигательной активности j -го параметрического состояния $\frac{W_{otj}}{W_{ot}^{\Sigma}}$ на меру параметрического разнообразия популяции данного вида $-\left(\ln\left(\frac{W_{otj}}{W_{ot}^{\Sigma}}\right)\right)$.

Первое уравнение четвертой подсистемы показывает, что совокупность элементов $\Lambda_{in}(r_{inij})$, входящих в состав m_{in} касты, имеют суммарную калорийность $W_{in}(r_{inij})$, одинаковую для всех каст системы питания. Второе уравнение показывает, что совокупность элементов $\Lambda_{ot}(r_{otij})$, входящих в состав m_{ot} касты, имеют суммарную калорийность $W_{ot}(r_{otij})$, одинаковую для всех каст системы двигательной активности. Уравнения четвертой подсистемы являются следствием закона энергетического баланса человеческого организма и представляют собой теоретическую основу прикладных методик оптимального питания и двигательной активности.

Пятая подсистема задает ограничения для закона энергетического баланса человеческого организма. Первые три неравенства говорят о том, что в системе

питания потребляемая энергия W_{in}^{Σ} , обеспечивающая основной обмен и все виды деятельности человека, должна включать в себя все необходимые для каждого конкретного человека биологически значимые элементы (макроэлементы, микроэлементы, ультрамикроэлементы). Разнообразие (общее количество) данных элементов задается параметром b . При этом количество каждого элемента в отдельности должно находиться в диапазоне, рекомендуемом по медицинским показателям. Последние три неравенства показывают, что в системе двигательной активности должны быть обязательные, специально организованные физические нагрузки (тренировки) W_{ot}^* , которые регламентируются исходя из медицинских показателей в пределах p -го количества тренировочных зон. Например, в данном исследовании имеется четыре p -ые тренировочные зоны: анаэробная, пороговая, аэробная и средняя. При этом каждая из этих зон имеет свой минимальный и максимальный диапазон.

Итак, постулируется выполнение начал термодинамики и стремление систем питания и двигательной активности к состоянию «минимакса», которое максимизирует положительный эффект при минимальных затратах (психологических в питании и временных в тренировках) на его достижение. Максимальная диссимметрия распределения видообразующих параметров между элементами систем питания и двигательной активности (задается оптимальной формой ранговых параметрических распределений) позволяет добиваться максимального положительного эффекта в процессах питания и тренировок конкретного человека (состояние «-макс»). В свою очередь максимальная равномерность распределения суммарной калорийности между популяциями в системах питания и двигательной активности обеспечивает максимальное разнообразие пищевых продуктов и интенсивности физических нагрузок. Это в свою очередь приводит к минимальным затратам на реализацию рациона питания и временные затраты на тренировочный процесс (состояние «-мини»).

Тем самым закон энергетического баланса человеческого организма задает органичное соотношение между количественными и качественными показателями:

– пищевых продуктов (в системе питания), составляющих номенклатуру рациона, между низко-, средне- и высококалорийными продуктами;

– физических нагрузок (в системе двигательной активности), составляющих программу тренировок, между низко-, средне- и высокоинтенсивными упражнениями.

Соблюдение закона энергетического баланса человеческого организма создаст предпосылки к уменьшению риска НИЗ [3]. С целью прикладной реализации закона разработаны методики управления рационом питания и управления двигательной активностью [4-7].

Рассмотрим вытекающие из системы уравнений закона энергетического баланса человеческого организма алгоритмы оптимизации систем питания и двигательной активности (рис. 2 и 3).

Алгоритм оптимизации системы питания включает в себя одновременную реализацию двух взаимосвязанных процедур: во-первых, номенклатурную оптимизацию системы (рис. 2), которая определяет требуемую форму рангового видового распределения (с учетом заданных базовых видов), и, во-вторых, параметрическую оптимизацию на уровне видов элементов системы (рис. 3), которая определяет пути и методику приведения видового распределения реально существующей системы питания к уже известной требуемой форме [3].

Номенклатурная и параметрическая оптимизация системы питания могут реализовываться совместно или автономно. Представляется, что более эффективной является их совместная реализация в синтетической методологии – параметрическом синтезе, теоретические основы которой показаны в [1,3]. Суть в данной методологии заключается в совместном использовании ранговых видовых и ранговых параметрических распределений, построенных по энергетической ценности (видообразующий параметр). Данные распределения строятся на одной плоской номограмме во взаимосвязанной

четырёхквadrантной системе координат [1], а объединяет их фундаментальная зависимость между видовым и параметрическим рангами системы.

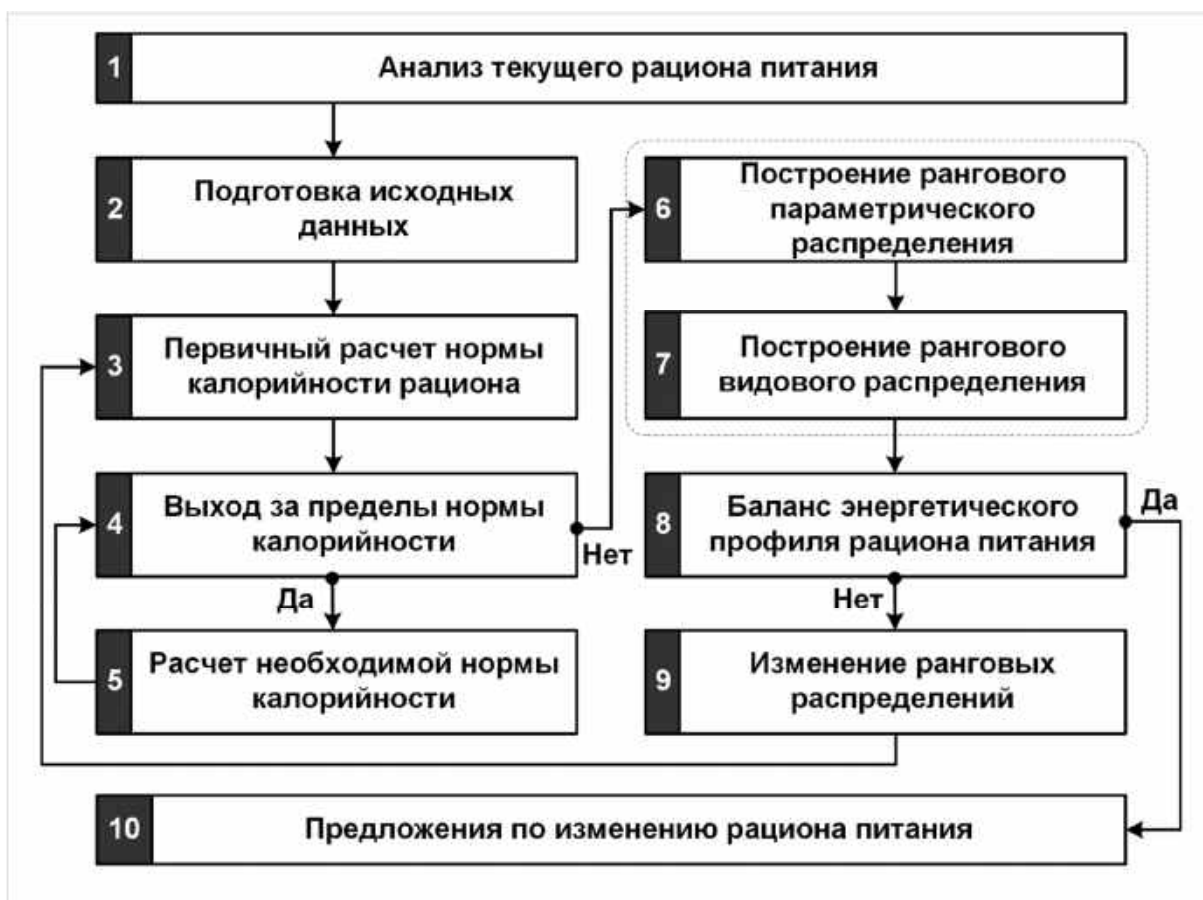


Рис. 2. Алгоритм номенклатурной оптимизации системы питания

Теперь рассмотрим этапы алгоритма оптимизации системы двигательной активности. Алгоритм на данном этапе включает (рис. 3): создание базы данных (БД) по частоте сердечных сокращении (далее ЧСС, используется как видообразующий параметр), первичную обработку ЧСС, аппроксимацию ранговых распределений ЧСС, определение границ тренировочного потенциала.

При выходе значений физической нагрузки за пределы тренировочного потенциала производится структурная перестройка физических упражнений, которая также реализуется посредством номенклатурной или параметрической оптимизации. На основании данной оптимизации осуществляется дозирование физической нагрузки. БД системы двигательной активности регулярно корректируется, а при поступлении новых данных цикл повторяется. Описанные

выше алгоритмы входят с состав системы поддержания энергетического баланса, которая подробно рассматривается в [3].



Рис. 3. Алгоритм параметрической оптимизации системы двигательной активности по функциональным параметрам

Таким образом, впервые сформулирован закон энергетического баланса человеческого организма, который гласит, что в организме человека неотвратимо действуют законы сохранения энергии и возрастания энтропии замкнутых систем. На основе закона сформулированы принципы оптимального питания и физической активности [4-7].

На основе закона и принципов составлена система интегро-дифференциальных уравнений, включающая пять подсистем и состоящая из восьми уравнений и шести неравенств. В данной системе первые два уравнения являются основными, они представляют собой математическую формулировку

действия первого и второго начал термодинамики в исследуемой системе энергетического баланса человеческого организма.

На основе системы уравнений закона энергетического баланса человеческого организма разработаны алгоритмы оптимизации систем: номенклатурной оптимизации системы питания и параметрической оптимизации системы двигательной активности [3]. Непосредственно на базе алгоритмов разработаны методики управления рационом питания [4,5] и двигательной активности [6,7].

Список литературы

1. Гнатюк, В.И. Закон оптимального построения техноценозов [Монография] / В.И. Гнатюк. – 3-е изд., перераб. и доп. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во КИЦ «Техноценоз»], [2019]. – 896 с. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/ind.html>, свободный.

2. Кудрин, Б.И. Введение в технетику / Б.И. Кудрин; – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 552 с.

3. Шейнин, А.А. Закон энергетического баланса человеческого организма: Трактат о здоровье. – Калининград: КИЦ «Техноценоз», 2020. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/troz.pdf>, свободный.

4. Шейнин, А.А. Математическая модель оценки баланса энергетической ценности рациона питания экипажей судов рыбопромыслового флота / О.Я. Мезенова, А.А. Шейнин // Морские интеллектуальные технологии. – М.: Научно-исследовательский центр «МОРИНТЕХ». – 2019. – № 4 (46), т. 4. – С. 161 – 165. – Web of Science.

5. Шейнин, А.А. Методика подбора рациона питания путем расчета его энергетической ценности с использованием рангового анализа / О.Я. Мезенова, А.А. Шейнин // Материалы VII Международного Балтийского морского форума 2019 года. – Калининград.: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ». – 2019. – [Электронный ресурс], т. 4. – С. 152 – 165.

6. Шейнин, А.А. Методика оценки двигательной активности спортсмена на основе рангового анализа / А.В. Бугаев, И.Г. Виноградов, А.А. Шейнин // Научно-теоретический журнал «Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта». – Санкт-Петербург: Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта. – 2020. – 1(179), – С.343 – 352.

7. Шейнин, А.А. Управление двигательной активностью морских специалистов в рейсе с использованием интеллектуальных технологий / В.И. Гнатюк, А.А. Зайцев, А.А. Шейнин // Морские интеллектуальные технологии. – М.: Научно-исследовательский центр «МОРИНТЕХ». – 2019. – № 4 (46), т. 4. – С. 88 – 93. – Web of Science.

©, Шейнин А.А., Косенков О.Н., – 2020

Секция 3.
Экология
и
энергобезопасность

ОЦЕНКА РИСКОВ ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ

ФИЛИАЛА ПАО «РОССЕТИ ЮГ» – «АСТРАХАНЬЭНЕРГО»

Ажмухамедов Искандар Маратович, доктор технических наук, профессор, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: iskander_agm@mail.ru

Выборнова Ольга Николаевна, кандидат технических наук, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: olga.vyb.90@gmail.com

Аннотация

В статье показана актуальность задачи повышения надежности функционирования электроэнергетических систем и задачи оценки рисков энергобезопасности. Продемонстрирован пример оценки рисков для Филиала ПАО «Россети Юг» – «Астраханьэнерго».

Ключевые слова

электроэнергетическая система, ЭЭС, оценка рисков, приемлемый риск, Астраханьэнерго.

ESTIMATION OF ENERGY SECURITY RISKS ON THE EXAMPLE OF THE BRANCH OF PJSC “ROSSETI SOUTH” – “ASTRAKHANENERGO”

Azmukhamedov Iskandar Maratovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Astrakhan State University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishheva St., 20a, e-mail: iskander_agm@mail.ru

Vybornova Olga Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Astrakhan State University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishheva St., 20a, e-mail: olga.vyb.90@gmail.com

Annotation

The article shows the relevance of task of improving the reliability of the functioning of electric power system and the task of energy security risks assessing. The example of risk assessment for PJSC “Rosseti South” – “Astrakhanenergo” is demonstrated.

Key words

electric power system, EPS, risk assessment, acceptable risk, Astrakhanenergo.

На сегодняшний день электроэнергетические системы (ЭЭС) и составляющие их объекты (электростанции, электрические сети и т.д.) относятся к разряду сложных технических систем (СТС), а задача повышения надежности их функционирования в условиях существующей степени изношенности элементов отечественного энергетического комплекса – к крайне актуальным [1, 2].

При этом следует учитывать, что современные ЭЭС в зависимости от масштаба и сложности объекта (организации) в различной степени автоматизированы и могут как содержать в своем составе системы телемеханики, автоматизированные системы диспетчерского управления, автоматические системы управления подпроцессами, автоматические системы непрерывного контроля функционирования элементов ЭЭС (например, трансформаторов), так и интегрироваться в комплексные автоматизированные системы управления (АСУ) предприятием, автоматизированные информационные системы контроля и учета электроэнергии [3].

Таким образом, эксплуатация ЭЭС и сопутствующих АСУ представляет собой сложный процесс, который подвержен многочисленным и разнообразным рискам вследствие влияния случайных факторов различного рода и наличия множества неопределенностей во всех аспектах деятельности не только энергетической подсистемы, но и организации в целом [1, 3].

Кроме того, объекты ЭЭС относятся к критически важным, поскольку прекращение передачи электроэнергии может поставить под угрозу безопасность той или иной деятельности, в некорректное функционирование

предприятия, может нанести вред экологии. В связи с этим необходимо периодически проводить оценку и переоценку рисков на объектах ЭЭС.

Предлагается использовать для этих целей методику, описанную в [4], рассматривая при этом не только информационную, но и другие составляющие деятельности электроэнергетического предприятия. Определение текущего уровня рисков согласно данной методике основано на установлении взаимосвязи между бизнес-процессами организации, подпроцессами, активами, атаками (инцидентами нарушения безопасности), защитными мерами, угрозами и негативными событиями. В результате множество полученных значений отмечается на координатной плоскости «ущерб – вероятность», и в зависимости от их расположения относительно кривой приемлемого риска делается вывод о приемлемости или неприемлемости значений.

Рассмотрим применение данной методики на примере филиала ПАО «Россети Юг» – «Астраханьэнерго». Эта организация является региональной распределительной сетевой компанией, включающей 16 районов электрических сетей (РЭС), расположенных на территории города Астрахани и во всех сельских районах. Услугами компании пользуется вся инфраструктура области (население Астраханской области, больницы, военные учреждения, промышленные предприятия, и т.д.). Следовательно, от уровня безопасности ПАО «МРСК-Юга» – «Астраханьэнерго» зависит безопасность всей инфраструктуры Астрахани.

Была построена функциональная модель деятельности предприятия, выявлены два основных бизнес-процесса: техприсоединение и передача электроэнергии. При этом функционирование «Астраханьэнерго» обеспечивают следующие классы ресурсов: технологическое оборудование (приборы для ремонта и диагностики электрических сетей, контрольно-измерительные приборы, автомашины и т.д.), информационные ресурсы (информация на бумажных и электронных носителях, автоматизированные рабочие места (АРМ) сотрудников, сервера, коммуникационное оборудование), человеческие ресурсы.

По аналогии с рисками для информационных ресурсов добавим в иерархическую модель технологическое оборудование. Например, для силового трансформатора одна из ветвей модели будет выглядеть следующим образом: негативное событие «закупка некачественного оборудования» – угроза «отказ силового трансформатора» – защитная мера «контроль номенклатуры» – инцидент нарушения безопасности «отказ силового трансформатора» – актив «силовой трансформатор» – подпроцесс «поставка электроэнергии» – основной бизнес-процесс «передача электроэнергии». На каждом этапе оцениваются (вычисляются по формулам) показатели ущерба и вероятности.

В результате оценки рисков в «Астраханьэнерго» получено множество значений. Часть из которых приведена на рисунке 1.

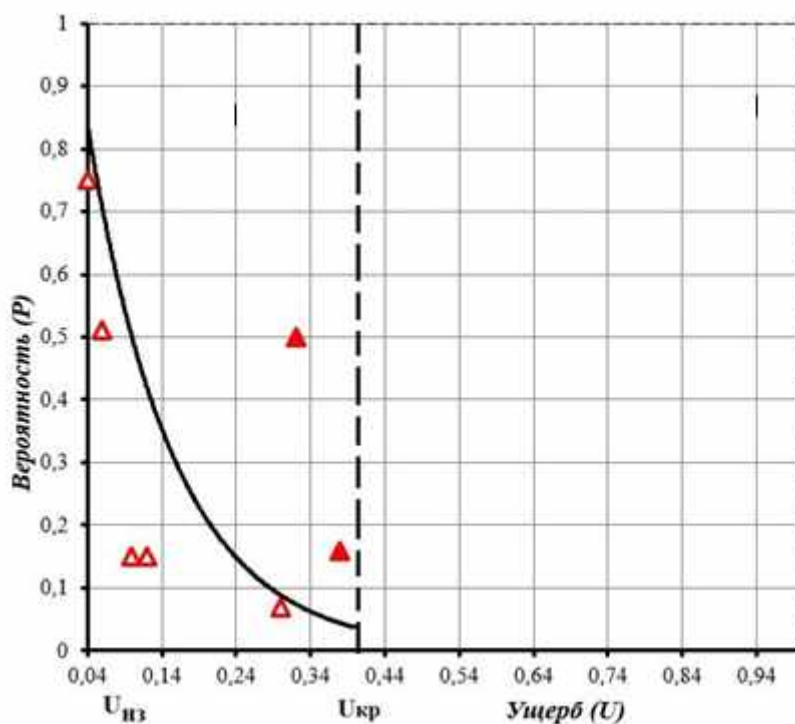


Рисунок 1. Пример результатов оценки текущих рисков

Точки, расположенные выше кривой, соответствуют неприемлемым рискам, и в отношении них необходимо принять дополнительные защитные меры. Точки, лежащие ниже кривой, отражают приемлемые риски, которые не требуют применения в отношении них каких-либо управленческих воздействий.

Таким образом, показана важность оценки рисков ЭЭС. Продемонстрирована возможность расширения методики, описанной в [4], для оценки не только информационных, но и других рисков, на примере ПАО «Россети Юг» – «Астраханьэнерго».

Список литературы

1. Юрков, Н. К. Риски отказов сложных технических систем / Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. 2014. №1. С. 18-24.

2. Уразалиев Н.С., Ханова А.А., Тумпуров В.С. Концептуальная структура имитационной модели логистических процессов управления ремонтами предприятия электрических сетей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2018. № 2. С. 91-100.

3. Davidyuk N., Vybornova O., Gostyunin Y. Improving reliability of electric power systems based on application of risk assessment model // 2018 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018. 2018. P. 8501725.

4. Выборнова О.Н. Управление рисками обработки информации на основе экспертных оценок / автореферат дис. ... кандидата технических наук / Кубан. гос. технол. ун-т. Астрахань, 2017. 20 с.

В ходе работы над статьей использованы материалы, полученные при выполнении Гранта РФФИ: 19-29-14007 – Оценка влияния цифровизации образовательного и социального пространства на человека и разработка системы безопасной коммуникативно-образовательной среды.

©, Ажмухамедов И.М., Выборнова О.Н., – 2020

О РОЛИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МИРА И РОССИИ

Безруких Павел Павлович, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: bezruky@yandex.ru

Карабанов Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1

Безруких Павел Павлович (Мл.), ПАО «ЛУКОЙЛ», инженер, 101 000, Российская Федерация, г. Москва, Сретенский бульвар, 11

Аннотация

В докладе рассмотрена роль различных видов энергии и топлива в балансе производства электроэнергии и балансе потребления первичной энергии в Мире, Европе и пяти ведущих странах мира. Отмечено возрастающее стремление многих стран мира к увеличению доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергобалансах своих стран, что объективно уменьшает опасность возникновения войн из-за обладания топливо – энергетическими ресурсами. Для России переход на ВИЭ других стран несёт угрозу снижения объёма экспорта и цены энергоресурсов. Возникает объективная необходимость в развитии химических производств на базе нефти, газа, угля и торфа.

Ключевые слова

Производство, потребление, электроэнергия, первичная энергия, возобновляемая энергетика, доля, энергетическая безопасность.

ABOUT A ROLE OF RENEWABLE POWER IN ENERGY SECURITY OF THE WORLD AND RUSSIA

Bezrukikh Pavel Pavlovich, Doctor of Engineering, professor, National research university "MEI", 111250, Moscow, Krasnokazarmennaya St., 14, e-mail: bezruky@yandex.ru

Karabanov Sergey Mikhaylovich, Doctor of Engineering, professor, "Ryazan state radio engineering university of V.F. Utkin", 390005, Ryazan, Gagarin St., 59/1

Bezrukikh Pavel Pavlovich (ML), PJSC Lukoil, engineer, 101,000, Russian Federation, Moscow, Sretensky Boulevard, 11

Annotation

In the report the role of different types of energy and fuel in balance of electricity generation and balance of consumption of primary energy in the World, Europe and five leading countries of the world is considered. The increasing aspiration of many countries of the world to increase in a share of the renewables (R) in energy balances of the countries is noted that objectively reduces danger of emergence of wars because of possession fuel – energy resources. Transition to RES of other countries poses threat of decrease in volume of export and the price of energy resources for Russia. There is an objective need for development of chemical productions on the basis of oil, gas, coal and peat.

Keywords

Production, consumption, electric power, primary energy, renewable power, share, energy security.

Постановка задачи. Практически все стороны жизни человека, сообщества и государства правомерно рассматривать с точки зрения безопасности. Поэтому изучаются и обеспечиваются различные её виды: военная, продовольственная, экономическая, экологическая, информационная и т.п. Практически все виды безопасности в большей или меньшей степени связаны с энергетической безопасностью, точнее с топливно- энергетической

безопасностью. В докладе предпринята попытка оценить, что нового принесла в этот вопрос возобновляемая энергетика.

Основное содержание. В докладе под энергетической безопасностью понимается непрерывное обеспечение потребностей человека и общества в энергоснабжении при нормальном функционировании экономики страны. А также минимизация перерывов в энергоснабжении при возникновении природных катаклизмов (наводнения, пожары, ураганы и т.п.). Напомним о каких рода потребностях в широком смысле идёт речь. Это: приготовление пищи, отопление зимой и охлаждение летом жилых и производственных зданий и сооружений; освещение; электро – тепло – топливо потребление ЖКХ, транспорта, промышленности; нематериальные потребности (здравоохранение, наука, образование, культура, спорт). В итоге энергетическая безопасность обеспечивается различного вида топливом и не топливными электростанциями, роль и значение которых находит отражение в двух видах балансов: производства электроэнергии и потребления первичной энергии. Первый вид баланса достаточно точно отражает действительность, поскольку в нём суммируется электрическая энергия (кВт·ч), вырабатываемая электростанциями различного вида. Для составления баланса потребления первичной энергии выбирается условное топливо, так называемый угольный или нефтяной эквивалент. И все виды потреблённого топлива и электроэнергия, вырабатываемая не топливными электростанциями, пересчитываются в так называемую первичную энергию. В этом балансе объективность получаемых результатов зависит от многих субъективных факторов. Но в целом доля отдельных видов топлива и энергии в энергобалансе определяется правильно. Рассмотрение указанных выше балансов совместно позволяет оценить настоящую и перспективную роль каждого вида топлива и не топливных электростанций. Представляется важным рассмотреть сравнительную динамику роста производства электроэнергии и потребления первичной энергии в Мире. В таблице 1 приведены данные за период 2008 – 2018 годы. Как видим, среднегодовой процент роста производства электроэнергии (2,7%) существенно

превышает среднегодовой рост потребления первичной энергии (1,7%). Экономический кризис 2008 года отразился снижением показателей в обоих балансах, причём по первичной энергии снижение было существенно большим, чем в производстве электроэнергии. Это связано с тем, что энергобаланс по первичной энергии более полно отражает состояние экономики стран.

Таблица 1. ДИНАМИКА производства электрической энергии и потребления первичной энергии в Мире за период 2008–2018 годы.

Источник: BP Statistical Review of World Energy, 2019, pp 54

Год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Среднегодовое
Производство эл.энергии, ТВт·ч	20433	20269	21574	22259	22908	23450	23915	24287	24957	25677	26615	
к предыдущему году, %	1,9	-0,8	6,4	3,2	2,5	2,8	2,0	1,6	2,7	2,9	3,6	2,7%
Потребление первичн.энер.млн. т.н.э.	11705	11540	12019,9	12403,7	12575,5	12819,4	12939,8	13045,6	13228,6	13474,6	13864,9	
к предыдущему году, %	0,7	-1,4	4,8	2,5	1,4	1,9	0,9	0,8	1,4	1,8	2,9	1,7%

Роль различных видов топлива и типов электростанций для производства электроэнергии в Мирове, Европе и пяти ведущих стран мира, производство электроэнергии в которых составляет 72,8% от мирового, показана в таблице 2.

Таблица 2.. Баланс производства электрической энергии мира в 2019 году.

Источник: BP Statistical Review of World Energy 2019 p 56

	МИР		Китай		США		Европа		Индия		Россия		Япония	
	ТВТ*ч	%	ТВТ*ч	%	ТВТ*ч	%	ТВТ*ч	%	ТВТ*ч	%	ТВТ*ч	%	ТВТ*ч	%
Всего	26614,8	100	7111,8	100	4460,8	100	4077,3	100	1581,1	100	1110,9	100	1051,6	100
Нефть	802,8	3,0	10,7	0,15	26,4	0,6	56,0	1,4	10,1	0,65	11,4	1,0	60	5,71
Природный газ	6182,8	23,2	223,6	3,15	1578,5	35,4	731,3	17,9	74,3	4,76	521,5	47,0	386,9	36,79
Уголь	10100,5	38	4732,7	66,56	1245,8	27,9	862,7	21,2	1176,3	75,35	177,5	16,0	347,2	33,02
АЭС	2701,4	10,2	294,4	4,1	849,6	19,0	937,5	23,0	39,1	2,5	204,5	18,4	49,1	4,67
ГЭС	4193,1	15,7	1202,4	16,91	288,7	6,5	621,1	15,7	139,7	8,95	190,2	17,1	81,0	7,7
ВИЭ	2480,4	9,3	634,2	8,93	458,5	10,3	761,1	18,7	121,5	7,78	1,3	0,1	112,1	10,66
Прочие	153,8	0,6	14,0	0,2	13,3	0,3	86,6	2,1	0,2	0,01	4,4	0,4	15,3	1,45
Доля в мире, %	100		26,72		16,76		15,32		5,88		4,17		3,95	

Как видим, уголь занимает доминирующее положение в производстве электроэнергии в Море (38%), Китае (66,55), Индии (75,35); второе место после газа в США (27,9%), второе место после АЭС в Европе (*21,2%), второе место после газа в Японии (33,02) и четвертое место в России (16%). Между тем производство электроэнергии на угольных электростанциях самое дорогое и сопровождается существенным вредным воздействием на окружающую среду. Поэтому процесс перехода производства электроэнергии на возобновляемые источники энергии начался с вытеснения из баланса производства угольных электростанций. Таким образом, определились две роли возобновляемой энергетики: улучшение экологической безопасности в мире и сохранение угля, нефти и газа для будущих поколений, имея в виду их не энергетическое использование. Для России, учитывая долю угля в балансе производства электроэнергии, этот переход не представляет непосредственной угрозы. Однако непосредственная угроза содержится в другом. Развитие возобновляемой энергетики в Европе (доля в балансе 18,7% в 2018 году и в 2020 году превысит 20%) снижает потребность стран Европы в нефти и газе, от экспорта которых существенно зависит экономика России. Отметим ещё один интересный факт: доля ВИЭ в производстве электроэнергии (9,3%) в плотную приблизилась к доле АЭС (10,2%). И есть все основания предполагать, к 2020 году эти доли сравняются.

Рассмотрим баланс потребления первичной энергии, представленный в табл.3. Доминирующее положение в нём занимает нефть: первое место в Море (36,6%), в США (40%), в Европе (36,2%), в Японии (40,17%), второе место в Китае (19,59%), в Индии (29,55%). В России (21,13%). Уголь, как и в балансе производства электроэнергии, занимает первое место в потреблении первичной энергии в Китае (58,25%) и Индии (55,88%). В этом балансе нефть выступает в своей истинной роли, являясь основным источником энергоснабжения в широком диапазоне потребностей и одновременно источником локальных и мировых конфликтов. Как и в первом балансе в мире доли АЭС (4,4%) и ВИЭ (4,1%) близки с той же перспективой опережения возобновляемой энергетики в ближайшем будущем.

Таблица 3. Баланс потребления первичной энергии.

Источник: BP Statistical Review of World Energy 2019 p.9

	МИР		КНР		США		Европа		Индия		Россия		Япония	
	Млн. т.н.э.	%	Млн. т.н.э.	%	Млн. т.н.э.	%	Млн. т.н.э.	%	Млн. т.н.э.	%	Млн. т.н.э.	%	Млн. т.н.э.	%
Всего	13864,9	100	3273,5	100	23006	100	2050,7	100	809,2	100	720,7	100	454,1	100
Нефть	4662,1	33,6	641,2	19,59	919,7	40,0	742,0	36,2	239,1	29,55	152,3	21,13	182,4	40,17
Природный газ	3309,4	23,9	243,3	7,43	702,6	30,5	472,0	23,0	49,9	6,17	390,8	54,22	99,5	21,9
Уголь	3772,1	27,2	1906,7	58,25	317,0	13,8	307,1	15,0	452,2	55,88	88,0	12,21	117,5	25,87
АЭС	611,3	4,4	66,6	2,03	192,2	8,4	212,1	10,3	8,8	1,09	46,3	6,4	11,1	2,44
ГЭС	948,8	6,8	272,1	8,31	65,3	2,8	145,3	7,1	31,6	3,9	43,0	6,0	18,3	4,03
ВИЭ	561,3	4,1	143,5	4,39	103,8	4,5	172,2	8,4	27,5	3,4	0,31	0,04	25,4	5,59
Прочее	-													
Доля в мире, %	100		23,6		16,6		14,8		5,8		5,2		3,3	

На фоне рассмотренных балансов трудно поверить, что через 30 лет осуществятся предсказания учёных о 100 % ВИЭ в обеспечении энергетических потребностей человечества. Но на память приходит следующий исторический факт. В России 25 апреля 1931 года состоялась с участием Циолковского выставка плакатов, чертежей, моделей и рисунков о полёте человека в космос. В выставке принимали участие 15 чудаков из разных городов России. Оказалось, что до полёта Ю.А. Гагарина оставалось всего 30 лет. При этом человечеству фашистами была навязана самая кровавая война, унёсшая 50 млн. жизней и разрушившая многие тысячи городов. И самой пострадавшей страной был Советский Союз, развитие которого было задержано минимум на 10 лет. Конечно, при всей грандиозности задачи полёта человека в космос, по трудности её нельзя приравнять с задачей коренной перестройки производства электроэнергии в мире на 100% ВИЭ, включая ГЭС. Но и проблемой перехода на 100% ВИЭ занимаются не полтора десятка любителей, а солидные объединения ученых.

Одной из первых работ в этой области является книга, опубликованная в 2010 году, названная в переводе: «100% ВИЭ в производстве электроэнергии. Дорожная карта до 2050 года для Европы и Северной Африки» [1]. Необычность ее заключается в том, что на политическом, экономическом и организационном уровне с высоким профессионализмом рассмотрена возможность полного (100 %-ного) перехода электроэнергетики Европы и Северной Африки на возобновляемые источники энергии к 2050 году. И это происходит в то время, когда Международное энергетическое агентство в своих прогнозах не идет дальше 30%-ной доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мировом производстве электроэнергии. Исходный посыл авторов в техническом аспекте состоит в следующем: полностью используются все виды ВИЭ в Европе, а в Северной Африке (Сахара) строятся солнечные электростанции с концентраторами (CSP). Это солнечные станции башенного типа или с параболоцилиндрическими концентраторами. Заметим, кстати, что в работе

чувствуется явная недооценка фотоэлектрических станций, их стремительное развитие, в конечном счете, облегчит реализацию предложений авторов.

Возвращаясь к сути проекта, следует особо подчеркнуть, что энергосистемы Северной Африки и Южной Европы предлагается связать высоковольтными кабельными линиями постоянного тока, проложенными через Средиземное море, что осуществимо уже сегодня, на современном уровне техники. При этом энергосистемы стран Европы не только объединяются высоковольтными линиями электропередачи на переменном и постоянном токе, но и представляют собой единый рынок и имеют единое диспетчерское управление. Из всего многообразия проблем, которые придется решать на пути перехода электроэнергетики на возобновляемые источники энергии, авторы выбрали основные элементы, которые могут обеспечить реализацию «дорожной карты», – это **государственная политика, инвестиции, структура рынка и инфраструктура**. Авторы понимают, сколь многочисленны и сильны факторы, препятствующие достижению поставленных целей, и «дорожная карта» представляет собой путь последовательного преодоления этих препятствий. Но не будем забывать и о мощных стимулах, способствующих реализации **предложения авторов**. Это и сокращение эмиссии парниковых газов и других вредных выбросов, производимых предприятиями топливной энергетики и транспорта, – то, что мы вкладываем в понятие «защита окружающей среды». Это и энергетическая безопасность, т.е. снижение зависимости от импорта нефти и газа, причем авторы весьма справедливо утверждают, что зависимость от импорта электроэнергии представляет собой гораздо меньшую опасность, поскольку электроэнергию нельзя хранить в больших объемах, в отличие от нефти и газа. Это и интеграционные процессы, происходящие в Европе. Особенно интересен подход к оценке глобальных экономических отношений между странами, который экономисты назвали «проклятием ресурсов». У этой проблемы две стороны. Во-первых, в условиях свободного колебания обменных курсов значительные экспортные доходы повышают стоимость национальной валюты, что удешевляет импортные товары. Это хорошо для потребителей этих

импортных товаров, но плохо для местного производства, которое пытается выйти на экспортные рынки и вынуждено конкурировать с производителями более дешевых импортных товаров. Доходы от экспорта природных ресурсов преобладают в балансах многих развивающихся стран. Чем больше они экспортируют, тем больше они зависят от экспорта своих природных ресурсов и тем чувствительнее становится их экономика к волатильности рынка сырьевых ресурсов. Второй стороной «проклятия ресурсов» является управление. Основная конкуренция в добыче полезных ископаемых разворачивается не в области технологий, а в получении законного доступа к ресурсам, и это открывает возможности для коррупции. Трудно не согласиться с авторами, имея в виду ситуацию России.

Наиболее радикально на поставленный выше вопрос о переходе к энергосистеме на базе 100% ВИЭ отвечают учёные в [2]. По их мнению: «глобальный переход к 100% возобновляемой энергетике возможен на каждый час в течение года с эффективностью большей, чем у существующей энергосистемы, базирующей на истощаемом топливе и атомной энергии. Энергетический переход больше не вопрос технической возможности или экономической целесообразности, а политической воли» По мнению авторов ускоряющееся падение стоимости фотоэлектрических станций и аккумуляторных батарей ускоряют переход к 2050 году к энергосистеме, в которой доля фотоэлектрических станций достигнет 69%, ветростанций – 18%, гидростанций – 8%, биоэнергетических станций – 2%, геотермальных станций 1% и станций существующих видов -2%. С другой стороны в реальности перехода к возобновляемой энергетике убеждает постоянно увеличивающееся количество стран, штатов, провинций, устанавливающих государственные или региональные цели по использованию ВИЭ в производстве электрической и тепловой энергии.

Выводы.

1. Роль возобновляемой энергетике в энергетической безопасности при её доминировании в энергоснабжении является решающей по трём направлениям:

а) исчезает зависимость стран от импорта энергетических ресурсов; б) снижается до минимума отрицательное воздействие энергетики на окружающую среду; в) исчезает мотив агрессивных захватов месторождений энергетических ресурсов странами с сильной экономикой.

2. Для стран с экономикой существенно зависимой от экспорта энергоресурсов, в том числе России, переход на возобновляемые источники энергии стран импортёров энергоресурсов несёт реальную угрозу снижения объёма экспорта и его стоимости;

3. Развитие возобновляемой энергетики сделает возможным прекращение сжигание нефти, газа, угля и развитие нефте – газо-угле химических производств;

4. В переходный период ожидается резкое увеличение использования ВИЭ для энергоснабжения автономных потребителей.

Список литературы

1. 100% renewable electricity .A road map to 2050 for Europe and North Afrika.Apel, 2010.PricewaterhouseCoopers.London.UK. PricewaterhouseCoopers LLP (PwC), Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIC), International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA),2010, 144с.

2. Global energy system based on 100% renewable energy-Power sector.LUT – Lappeenranta University of Technology(Finland), EWG – Energywatchgroup (Germany), November,2017, 156 с.

3. BP . Statistical Review of World Energy, 2018, 64 с.

В ходе работы над статьей использованы материалы, полученные при выполнении Гранта РФФИ: № 17-20-05181 "Исследование особенностей энергетических систем на основе солнечных батарей, интегрированных в линейные сооружения железных дорог".

©, Безруких П.П., Карабанов С.М., Безруких П.П. (мл.), – 2020

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

***Братышев Сергей Николаевич**, аспирант кафедры информационных технологий, ассистент кафедры электротехники, электроники и автоматики, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: sera.brat@mail.ru*

***Ключарев Антон Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники, электроники и автоматики, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: key_a@mail.ru*

Аннотация

Быстрые темпы роста солнечной энергетики привели к тому, что производители электроэнергии и сетевые операторы столкнулись с серьезными проблемами в ходе интеграции фотоэлектрических систем в электрические сети. Проблемы связаны прежде всего с изменчивостью и неопределенностью генерации энергии фотоэлектрическими станциями. Факт, что выработка электроэнергии фотоэлектрическими станциями демонстрирует изменчивость во всех временных масштабах (от нескольких секунд до нескольких дней), и эту изменчивость трудно предсказать. В данной статье рассматриваются методы, с помощью которых, в значительной мере, решается проблема неопределенности: прогнозирование генерации фотоэлектрических станций.

Ключевые слова

прогнозирование, солнечное излучение, генерация, фотоэлектрическая станция.

METHODS OF FORECASTING OF GENERATION OF PHOTO-ELECTRIC STATIONS

Bratyshev S. N., postgraduate student of the department of information technologies, assistant of the department of electrical engineering, electronics and automation, Astrakhan State University, 414056, Russia, Astrakhan, st. Tatishcheva, 20a, e-mail: sera.brat@mail.ru

Klyucharev A. Yu., Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Department of Electrical Engineering, Electronics and Automation, Astrakhan State University, 414056, Russia, Astrakhan, st. Tatishcheva, 20a, e-mail: key_a@mail.ru

Abstract

The rapid pace of growth in solar energy has resulted in major challenges for power generators and network operators in integrating PV systems into power grids. The problems are primarily related to the variability and uncertainty of power generation by photovoltaic plants. The fact that PV power generation shows variability on all time scales (from a few seconds to a few days), and this variability is difficult to predict. This article discusses the methods by which, to a large extent, the problem of uncertainty is solved: forecasting the generation of photovoltaic plants.

Keywords

forecasting, solar radiation, generation, photovoltaic station.

Прогнозирование генерирующей способности фотоэлектрических станций требует применения разных методов. Прогнозы могут применяться к одной фотоэлектрической установке или относиться к объединению большого количества станций, распределенных по обширной географической области. Прогнозы могут фокусироваться на определении количества генерируемой мощности или на скорости ее изменения. Соответственно, с этим и связано использование разных методов (подходов) прогнозирования [11]. Методы прогнозирования также зависят от инструментов и информации, таких как

данные метеорологических станций и спутников, данные фотоэлектрической системы и результаты численных моделей прогнозирования погоды (ЧПП).

В широком смысле методы прогнозирования (подходы) можно разделить на физические и статистические [1].

Первым этапом физического метода является определение количества солнечного излучения (радиации) для местности, в которой расположена фотоэлектрическая установка, в настоящий или будущий момент времени. Совместное использование таких технологий как ЧПП и обработки спутниковых изображений для анализа сложных метеорологических данных, например, движение облачного покрова и изменение угла падения солнечных лучей на поверхность земли, дают эффективный результат при определении солнечного излучения (радиации) [8, 9]. На данном этапе, важным фактором является доступность информации о погоде и её достоверности. Однако, метеорологическая информация, необходимая для точных прогнозов, не всегда доступна для местоположения фотоэлектрических станций.

Далее, с помощью виртуальной модели, в которой заключены основные характеристики реальной фотоэлектрической установки, и расчётных значений солнечного излучения (радиации), определяется генерирующая способность фотоэлектрической станции. Важно отметить, что виртуальная модель объекта должна соответствовать критериям адекватности и производить математическое описание с максимальной степенью детализации физических процессов, происходящих в реальном объекте, в нашем случае, в реальной фотоэлектрической станции или установке. Эти факторы ограничивают применимость физических методов.

Статистические методы (подходы) имеют возможность напрямую прогнозировать генерацию фотоэлектрических станций без необходимости прогнозирования солнечного излучения. Их основной составляющей является обучающий набор данных, который содержит ретроспективных данные о выходной мощности фотоэлектрической станции, а также различные входные или потенциальные входные данные, такие как: солнечная радиация,

температуры окружающей среды, температуры тыльной поверхности модуля, давление, скорость и направление ветра. Необходимая информация поступает, непосредственно, с фотоэлектрической станции (установки), легкодоступна и проста при обработке. Следует отметить, что для построения прогноза достаточно и исторических данных о выходной мощности фотоэлектрической станции, однако, применение, при построении прогнозной модели, исторических данных о прошлой метеорологической обстановке и данных о метеорологической обстановке в будущем (прогноз погоды), значительно повышает точность прогноза генерирующей способности станции. Это дает возможность более широкого применения статистических методов по сравнению с физическими.

Статистические методы (подходы) можно разделить на две группы: классические статистические методы и методы машинного обучения. Первые основаны на статистических моделях, таких как авторегрессионное скользящее среднее (*англ. autoregressive moving-average model, ARMA*), авторегрессионное интегрированное скользящее среднее (*англ. autoregressive integrated moving average, ARIMA*) и экспоненциальное сглаживание (*англ. exponential smoothing, ES*) [2, 5]. Другая группа применяет алгоритмы машинного обучения, такие как нейронные сети (*англ. neural networks, NN*) [3], машина опорных векторов - регрессия (*англ. Support Vector Machine - Regression, SVR*) [10], метод k-ближайших соседей (*англ. k-nearest neighbors algorithm, k-NN*) [6].

В случаях, когда сравнивались статистический и физический подходы [4, 7] статистический подход немного превзошел физический. Однако на практике эти два подхода можно совмещать, и разница в результатах не является значительной.

Список литературы

1. Sophie Pelland, Jan Remund, Jan Kleissl, Takashi Oozeki, Karel De Brabandere. Photovoltaic and Solar Forecasting: State of the Art: International Energy

Agency Photovoltaic Power Systems Programme, IEA PVPS Task 14, Subtask 3.1
Report IEA-PVPS T14-01: 2013 October 2013 ISBN 978-3-906042-13-8

2. Dazhi Yang, Vishal Sharma, Zhen Ye, Lihong I. Lim, Lu Zhao, and Aloysius W. Aryaputera, “Forecasting of global horizontal irradiance by exponential smoothing, using decompositions,” *Energy*, vol. 81, pp. 111–119, 2015.

3. Ercan Izgi, Ahmet Oztopal, Bihter Yerli, Mustafa K. Kaymak, and Ahmet D. Sahin, “Shortmid-term solar power prediction by using artificial neural networks,” *Solar Energy*, vol. 86, no. 2, pp. 725–733, 2012.

4. Huang Y, Lu J, Liu C, Xu X, Wang W, Zhou X. In: “Comparative study of power forecasting methods for PV stations. 2010 international conference on power system technology: Technological innovations making power grid smarter”, POWERCON2010; 2010.

5. Hugo T. C. Pedro and Carlos F. M. Coimbra, “Assessment of forecasting techniques for solar power production with no exogenous inputs,” *Solar Energy*, vol. 86, no. 7, pp. 2017–2028, 2012.

6. Hugo T. C. Pedro and Carlos F. M. Coimbra, “Nearest-neighbor methodology for prediction of intra-hour global horizontal and direct normal irradiances,” *Renewable Energy*, vol. 80, pp. 770–782, 2015.

7. Kudo M, Takeuchi A, Nozaki Y, Endo H, Jiro S. “Forecasting electric power generation in a photovoltaic power system for an energy network”. *Electr Eng Jpn*. 2009;167(4):16-23.

8. Philippe Blanc, Jan Remund, and Loic Vallance, “6 - Short-term solar power forecasting based on satellite images,” in *Renewable Energy Forecasting*, George Kariniotakis, Ed., Woodhead Publishing Series in Energy, pp. 179 – 198. Woodhead Publishing, 2017.

9. Steven D. Miller, Matthew A. Rogers, John M. Haynes, Manajit Sengupta, and Andrew K. Heidinger, “Short-term solar irradiance forecasting via satellite/model coupling,” *Solar Energy*, vol. 168, pp. 102–117, 2018.

10. Zhaoxuan Li, S. M. Mahbobur Rahman, Rolando Vega, and Bing Dong, “A hierarchical approach using machine learning methods in solar photovoltaic energy production forecasting,” *Energies*, vol. 9, no. 1, pp. 55, 2016.

11. Zheng Wang. Solar power forecasting [Электронный ресурс]. / A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the School of Computer Science at The University of Sydney// Режим доступа: https://ses.library.usyd.edu.au/bitstream/handle/2123/21248/zheng_zw_thesis.pdf (Дата обращения: 04.08.2020).

©, Братышев С.Н., Ключарев А.Ю., – 2020

УДК 537-77

СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ КАК ИСТОЧНИК ВОЗНИКНОВЕНИЯ КВАЗИПОСТОЯННЫХ ТОКОВ

Бычков Александр Владимирович, аспирант кафедры «Электроснабжение и электротехника», Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14а, e-mail: omgwtf955@gmail.com

Аннотация

В статье автор рассказывает о солнечно-земных связях и процессах, протекающих в магнитосфере. Солнечно-земные связи являются источником возникновения квазипостоянных токов.

Ключевые слова

Солнечно-земная связь, квазипостоянный ток, кольцевой ток, магнитосфера, солнечный ветер.

SOLAR-EARTH COMMUNICATIONS AS A SOURCE OF THE ORIGIN OF QUASI-CONSTANT CURRENTS

Bychkov Alexander Vladimirovich, graduate student of the department "Power Supply and Electrical Engineering", Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, st. Belorusskaya 14a, e-mail: omgwtf955@gmail.com

Abstract

In the article, the author talks about the solar-terrestrial connections and processes taking place in the magnetosphere. Solar-terrestrial communications are the source of the emergence of quasi-constant currents.

Key words

Solar-terrestrial connection, quasi-constant current, ring current, magnetosphere, solar wind.

Солнечно-земные связи оказывают непосредственное влияние на возникновение квазипостоянных токов (КПТ). Величина КПТ зависит от процессов, происходящих в магнитосфере. Чтобы разобраться, какие процессы происходят в магнитосфере при наличии в нем солнечного ветра, обратимся к рисунку 1 [1].

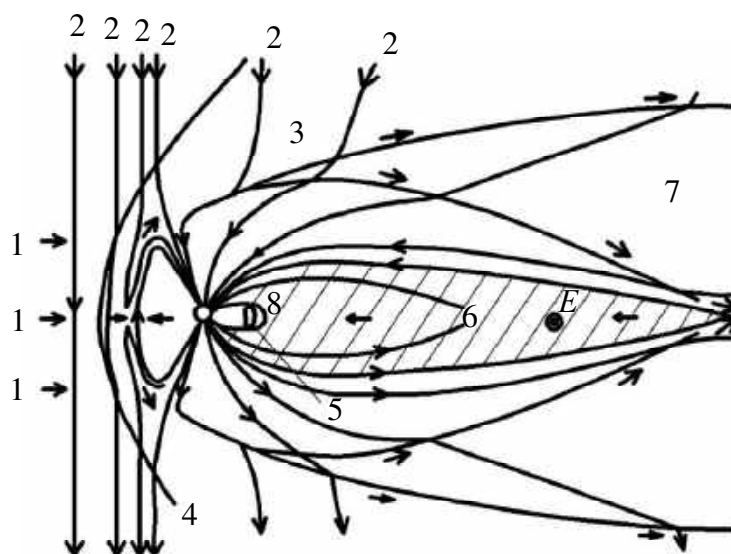


Рисунок 1. Процессы, протекающие в магнитосфере

Таблица 1 – Описание

№	Расшифровка
1	Солнечный ветер
2	Силовые линии межпланетного магнитного поля (М.П.)
3	Магнитопауза (область магнитосферы, где значения давления магнитного поля и давления плазмы, которая окружает магнитосферу, равны)
4	Головная ударная волна (волна, образующаяся при возникновении препятствия солнечному свету)
5	Кольцевой ток
6	Плазменный слой (область, заполненная горячей плазмой)
7	Плазменная мантия
8	Авроральная зона (область, состоящая из полярных сияний)

Самый благоприятный вариант передачи энергии солнечного ветра в магнитосферу отображен на рисунке 1, когда межпланетное м.п. (магнитное поле) противоположно по направлению к м.п. Земному. Небольшая часть плазмы солнечного ветра попадает в магнитосферу и образуется так называемая «плазменная мантия». Вся основная энергия накапливается в «хвосте». Радиус хвоста составляет примерно 191 130 км – это эквивалентно тридцати радиусам Земли. Напряженность м.п. в хвосте составляет 247 008, 56 А/м.

Исходя из теоретических данных и ранее проведенных наблюдений можно сказать, что только малая часть силовых линий межпланетного м.п. (около 10%) пересекается с силовыми линиями м.п. Земли. Как следствие, в магнитосфере появляется электрическое поле ($E \approx 1$ мВ/м). Для того чтобы оценить и проанализировать количество полной энергии, получаемой магнитосферой от солнечного ветра, необходимо обратиться к определению потока вектора Пойнтинга через площадь его границ [2].

Ранее в исследованиях [1] уже выдвигались различные предположения по способу определения количества энергии, приходящейся непосредственно на плазму.

Магнитные линии в хвосте магнитосферы вытягиваются под действием солнечного ветра, и затем происходит их натяжение. Деформация силовых линий способствует движению плазмы к Земле. Силовые линии вместе с плазменными частицами плавно обтекают Землю, после чего возвращаются в область магнитопаузы. Исходя из данных [1] о том, что темп удаления силовых линий из магнитопаузы равен темпу возвращения силовых линий в магнитопаузу, конвекция также равна на дневных и ночных сторонах магнитосферы. Для осуществления полного цикла конвекции в среднем требуется около 5 часов. Во время процесса конвекции в магнитосферу выделяется энергия равная 10^{11} Вт [1]. Вся эта энергия расходуется на создание кольцевого тока, на нагрев слоев ионосферы, а также на полярные сияния. Ниже представлен рисунок структуры протекания токов в ионосфере.

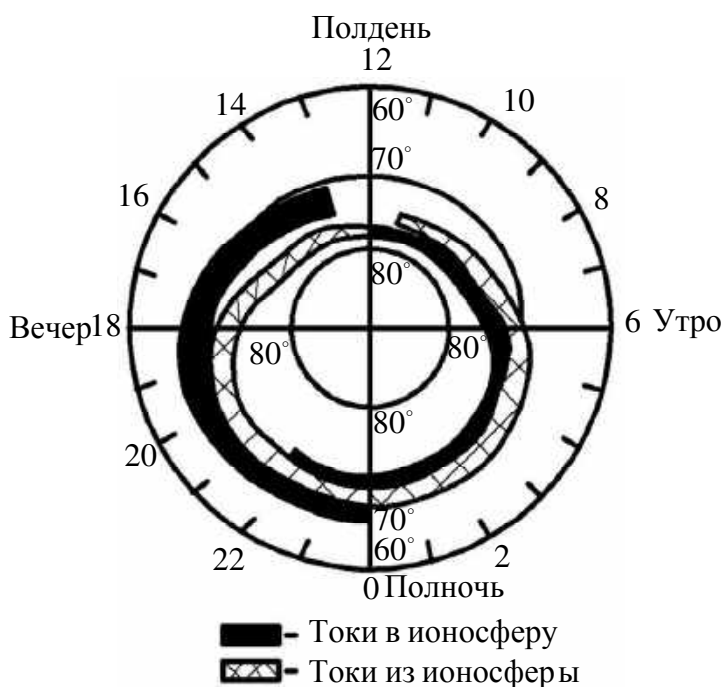


Рисунок 2. Структура протекания токов в ионосфере

Токи втекают в ионосферу с востока на запад. Если рассматривать овалы полярных сияний как область втекания и вытекания токов в первом

приближении, то можно прийти к выводу, что они практически совпадают. Размеры овалов полярных сияний в среднем: Север-Юг – 5-25 км, Восток-Запад – 2000-5000 км. Процент выпадения продольного тока может варьироваться от 10÷50%, такой большой диапазон получается из-за неравномерного высыпания энергичных частиц. Энергия, образующаяся при выпадении данных частиц, составляет примерно 5-7 кэВ. Поток энергии – 0,01÷0,1, плотность тока достигает пикового значения в 10 мкА/м². Полный ток достигает значения равного 10⁶ А.

В заключении хотелось бы отметить, что в реальности оценить состояние магнитосферы очень сложно, так как она характеризуется изменением величины и направления межпланетного магнитного поля и очень часто меняется. Но тем не менее, у нас есть представления о масштабах протекающих процессов в магнитосфере.

Список литературы

1. Беленькая Е.С. Магнитосферы планет, обладающих собственным магнитным полем // Успехи физических наук. – 2009. – Т.179.8 – С. 809-835.

2. Прохоров А.М. Абашидзе И.В. Физика космоса // Сов. энциклопедия. – 2-е изд., перераб. и доп.—М., 1986.

©, Бычков А.В., – 2020

РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ И РОССИИ В ПЕРИОД ДО 2020 ГОДА

Грибков Сергей Владимирович, кандидат технических наук, председатель комитета ВИЭ Федеральной Палаты энергоэффективности и энергосбережения, ученый секретарь комитета ВИЭ РосСНИО, академик РИА, с.н.с. ФГУП ЦАГИ, Россия, 105005, Москва, ул.Радио,17, e-mail:windex@mail.ru

Аннотация

В статье приводится классификация источников электрической энергии на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), использующих энергию ветра и солнца. Особое внимание уделяется развитию ветроэнергетики в мире и России. Ускорению развития ветроэнергетики и солнечной энергетики дало снижение их стоимости и широкое внедрение цифровой техники, внедрение её как в системы управления, так и в схмотехнику преобразовательных устройств. Приводятся статистические данные о развитии всех видов ветроэнергетики в период с 1980 по 2019 год. Особо перспективным для России является развитие автономных комплексов электроснабжения на основе ВИЭ. Приводятся данные о ветро-солнечно-дизельных станциях Терского района Мурманской области

Ключевые слова

Возобновляемая энергетика, ВИЭ, ветроустановки, системные ветроустановки, ветро-солнечно дизельные станции, зарядные ветроустановки, ВСДЭС, цифровые методы управления, ветроэнергетика, солнечная энергетика, классификация ветро-солнечной энергетики, развитие ветроэнергетики в мире, развитие ветроэнергетики в России, автономная ветро-солнечная энергетика

DEVELOPMENT OF WIND POWER IN THE WORLD AND RUSSIA DURING THE PERIOD TILL 2020

Gribkov Sergey Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Chairman of the Committee of RES of Federal Chamber of energy efficiency and energy saving, scientific secretary of committee of RES ROSSNIO, academician of RIA, page of N of page of Federal State Unitary Enterprise CAGI, Russia, 105005, Moscow, Radio St., 17, e-mail: windec@mail.ru

Annotation

The article provides a classification of electric energy sources based on renewable energy sources (REN) that use wind and solar energy. Special attention is paid to the development of wind power in the world and Russia. The development of wind power and solar energy has been accelerated by the reduction of their cost and the widespread introduction of digital technology, its implementation both in control systems and in the circuitry of Converter devices. Statistical data on the development of all types of wind power in the period from 1980 to 2019 are provided. Particularly promising for Russia is the development of Autonomous power supply systems based on renewable energy sources. data on wind-solar-diesel stations of the Tersky district of the Murmansk region are given

Keywords

Renewable energy, REN, wind power, system wind turbine, wind-solar diesel stations, charging wind turbine, WSDDES, digital management methods, wind power, solar energy, classification of wind-solar energy, development of wind power in the world, development of wind power in Russia, autonomous wind-solar energy

Одной из перспективных и интенсивно развивающихся отраслей энергетики является возобновляемая энергетика и особенно два её направления, использующих энергию ветра и солнца. Успехи в развитии ветро-солнечной энергетики в последние годы обусловлены развитием технологии производства солнечных батарей, ветрогенераторов и совершенствованием их конструкций,

снижением их стоимости, а так же развитием и широким внедрением силовой преобразовательной техники и цифровых систем управления в системах контроля работоспособности энергетических установок на основе возобновляемых источников энергии.

Все электрогенерирующие ветро-солнечные установки можно классифицировать по трём активно-развивающимся направлениям, представленным на Рис.1.

Системные станции работают в составе энергетических систем и обеспечивают тем самым национальную энергобезопасность государства. Они имеют значительные мощности от несколько десятков до сотен МВт и получили самое широкое распространение в мире, являясь составной частью генерации в большинстве европейских государств, где ветро-солнечная энергетика начала активно развиваться после энергетических кризисов 1973 и 1976 годов. На таких станциях устанавливаются ветроустановки (ВЭУ) большой мощности от одного, а на современных от 2,5 до 10 МВт. Такие станции могут быть как наземного (on shorn) базирования, так и морского (off shorn) базирования.



Рис.1 Классификация электрогенерирующих ветро-солнечных станций.

Ветро-солнечно-дизельные станции (ВСДЭС) в любой комбинации возобновляемых первичных источников энергии с дизель-генератором работают в регионах с локальными, изолированными энергетическими системами. Их развитие весьма актуально для России, где более 2/3 территории не охвачено централизованной энергетической системой и государств с неразвитой энергетической системой. Мощность таких станций наземного базирования может составлять от нескольких сотен кВт до десятков МВт. Эти комплексы обеспечивают региональную энергобезопасность.

И, наконец, ветро-солнечно зарядные станции, которые работают на заряд аккумуляторов, в своём составе они могут иметь двигатель-генераторы (безиновые, дизельные, газопоршневые, газотурбинные и др.), которые обеспечивают бесперебойность электроснабжения. Эти автономные электрические станции, способны работать в автоматическом режиме в самых различных регионах, не имеющих централизованного электроснабжения. Контроль за работой таких станций и, при необходимости, их управлением может осуществляться как удалёнными операторами, так и операторами, находящимися на станциях. Применяемые на них ВЭУ малой мощности в международной практике называются *small wind turbine*, согласно ЕС61400-2 имеют площадь ометаемой поверхности до 200 м², выходное напряжение переменного тока до 1000 В или постоянного тока до 1500 В, выходную мощность до 50 кВт, а в ряде стран к ним относят ВЭУ мощностью до 100 кВт. Эти автономные установки позволяют обеспечивать электроснабжение практически всех маломощных потребителей электрической энергии, удалённых от централизованных линий электроснабжения неценовой зоны, среди которых могут быть малые поселения, малые производства, частные хозяйства и сельские и дачные дома, системы связи и телекоммуникаций, электропитание сигнальных огней и освещения улиц, площадей и дорог и многие, многие другие потребители различного назначения. В переносном или перевозимом исполнении они могут обеспечивать автономное электроснабжение подвижных групп специалистов и туристов, в сельском хозяйстве - выгульные хозяйства и

т.д., являясь, тем самым, наиболее востребованным классом автономных систем электроснабжения.

Развитие системной ветроэнергетики в мире

По сведениям международной ветроэнергетической ассоциации WWEA на конец 2019 года установленная мощность системных ветроэнергетических установок составила 650,758 ГВт [1]. Обеспечив тем самым, увеличение установленной мощности мирового ветропарка по отношению к 2013 году в 2,04 раза при средне ежегодном темпе роста за период с 2013 г по 2020 г. 17,45 %. На рис.2 представлен график роста установленных в мире ветроустановок больших мощностей. В 2018 году наметилась тенденция снижения ежегодного прироста установленной мощности. Так если максимальный прирост в 2014 году составлял 17,21 %, то в 2018 году всего 9,17 %.

Динамика развития ветроэнергетики в мире за последние шесть лет представлена на рис.2[1].

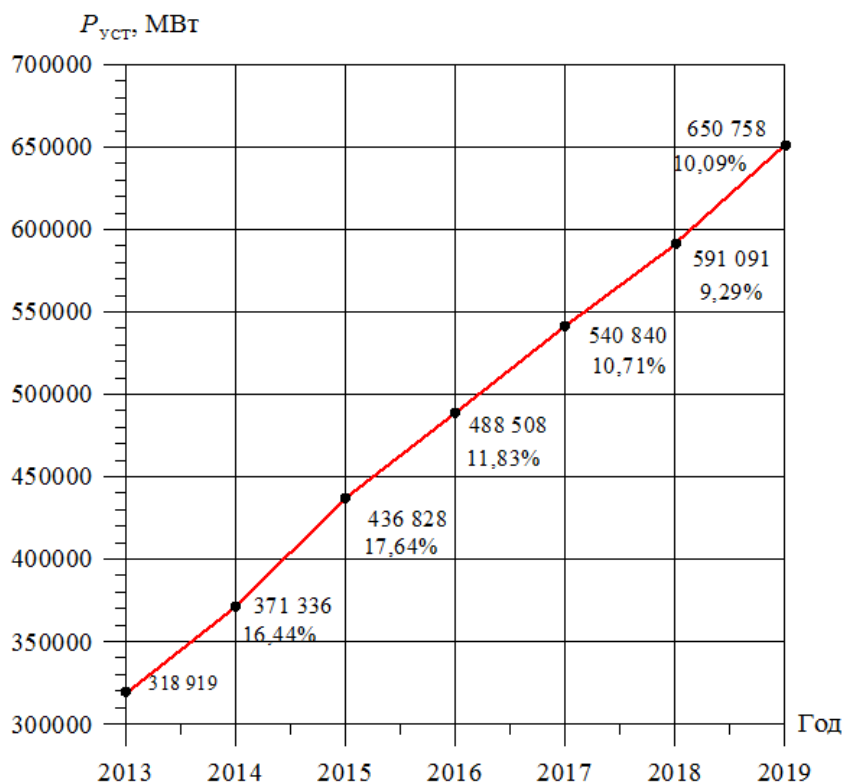


Рис. 2. Динамика развития установленной мощности в мире ВЭУ в период 2014-2019 годы

За 40 лет развития ветроэнергетики в мире создана совершенно новая отрасль энергетики. На рис.3 показана динамика развития ветроэнергетики в мире [1].

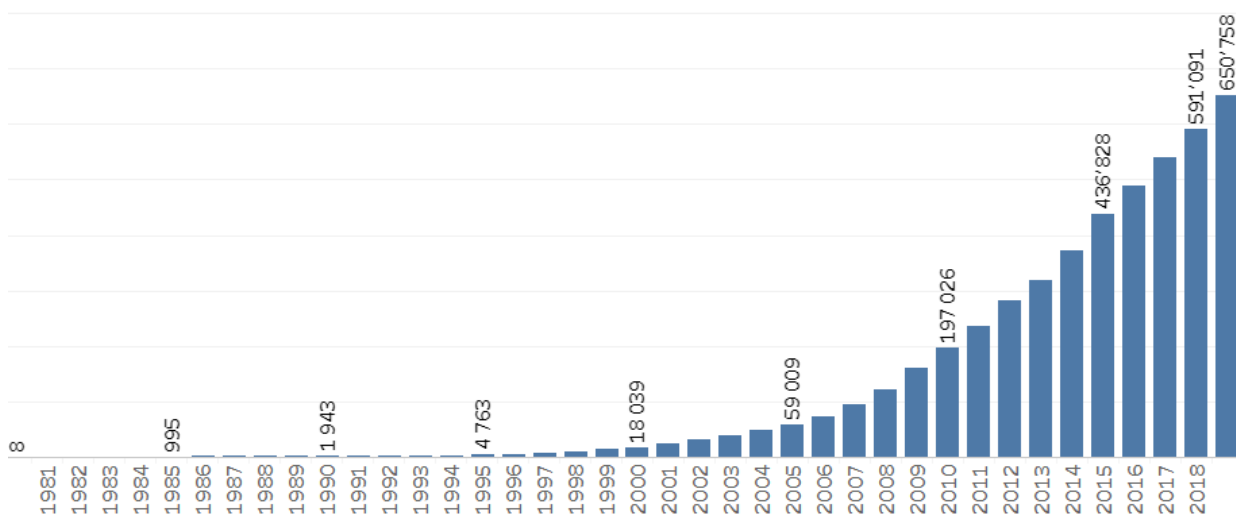


Рис. 3. Динамика развития ветроэнергетики в мире за 40 лет в период с 1980. по 2019 годы

Динамика развития ветроэнергетики в десяти ведущих странах мира в период с 2015 года по 2019 год представлена в табл.1 [1]. Можно отметить, что особенно активно развивается ветроэнергетика в Китае, достигнув на конец 2019 года суммарной мощности ВЭУ в 237,029 ГВт, имея 36,4% от всей установленной суммарной мощности системных ВЭУ мира. Второе место с долей 16,2%. в мировой ветроэнергетике занимают США.

Таблица 1. Мощность ВЭУ ведущих государств на конец 2019 года, МВт

Страна	2019	Удельная доля в ветроэнергетике мира в 2019 г., %	2018	2017	2016	2015
Китай	237 029	36,4	209 529	188 390	168 730	148 000
США	105 433	16,2	96 363	88 775	82 033	73 867
Германия	61 357	9,4	59 313	56 190	50 019	45 192
Индия	37 529	5,8	35 129	32 879	28 279	24 759
Испания	25808	4,0	23 494	23 026	23 020	22 987
Англия	23 515	3,6	20 743	17 852	14 512	13 614
Франция	16 646	2,6	15 313	13 760	12 065	10 293
Бразилия	15 452	2,4	14 707	12 763	10 800	8 715
Остальные страны мира	127 989	19,7	116501	107 204	90 050	89 402
Всего в мире	650 758	100,0	591 091	540 840	488 508	436 828

Вместе с тем в Китае доля ветроэнергетики составляет всего около 6%, а в США всего 6,5% по данным 2018 года.

На рис.4 приведена диаграмма удельных долей ветроэнергетики в общей структуре общей электрогенерации 23 ведущих стран мира по мощности установленных ВЭУ [4].

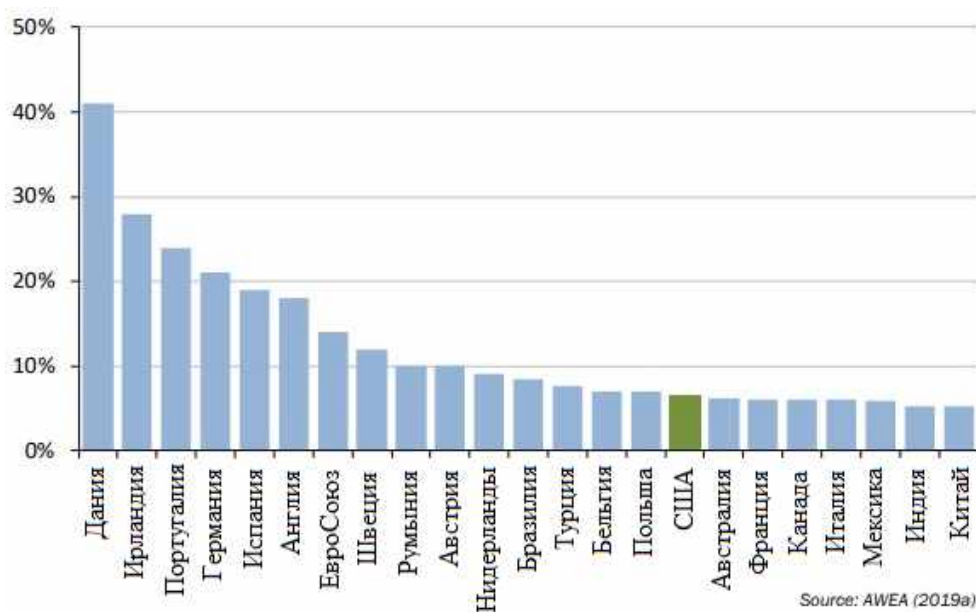


Рис. 4. Удельная доля ветроэнергетики в % в структуре электрогенерации 23 ведущих стран мира по мощности установленных ВЭУ

По данным Европейской ветроэнергетической ассоциации EWEA в ЕвроСоюзе 15% электроэнергии производится ВЭС (рис.5). Максимальная выработка энергии от ВЭС в 2018 году в Дании составила 48%, в Ирландии – 33%, Португалии – 27%, а в Германии – 26% электроэнергии вырабатывается на ВЭС [2,5].

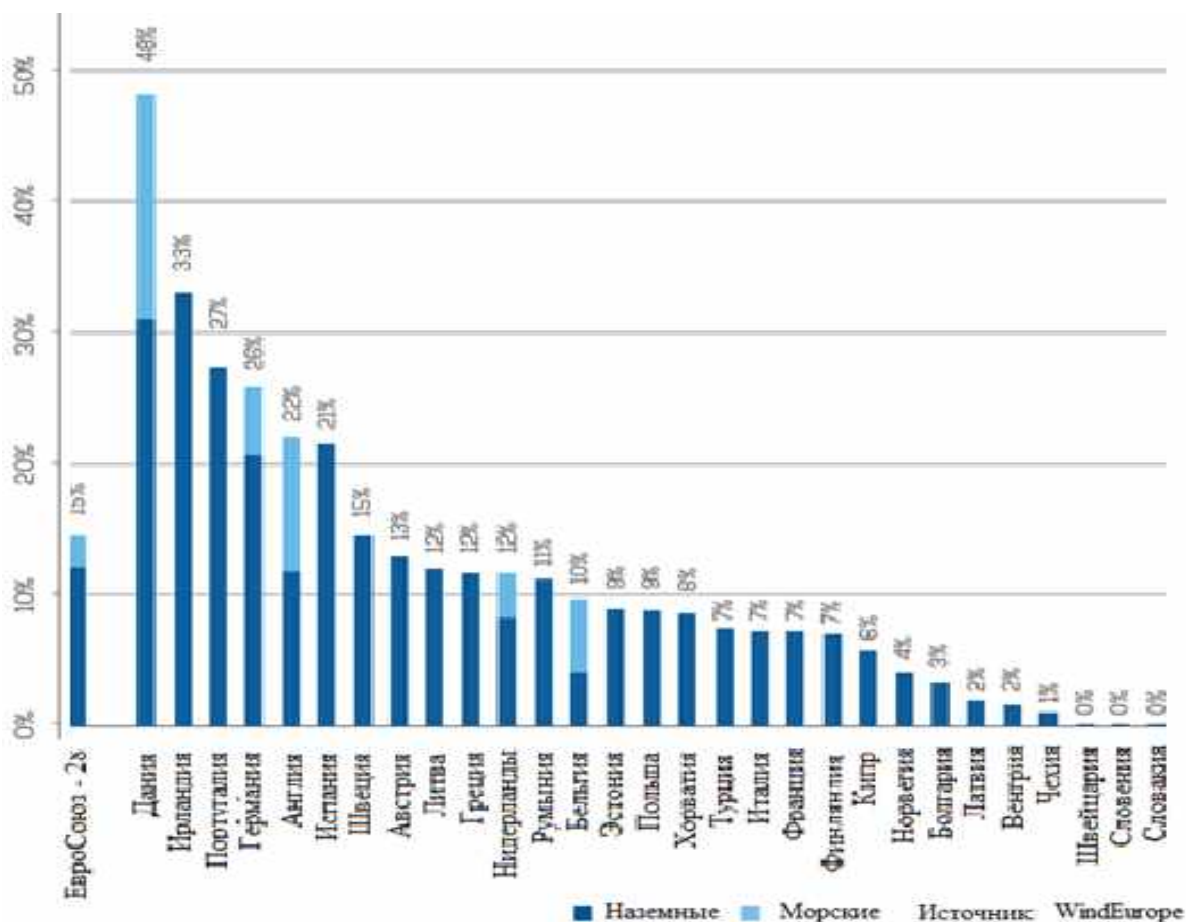


Рис. 5. Доля максимальной выработки электроэнергии ВЭС в ЕвроСоюзе в 2019 году

Самым важным показателем эффективности работы ВЭС является стоимость вырабатываемой ими электроэнергии. С развитием ВИЭ стоимость электроэнергии от них существенно снизилась (табл. 2), что позволяет обеспечивать перспективу дальнейшего развития ВИЭ [3].

Таблица 2. Стоимость электроэнергии от различных видов ВИЭ в 2018г.

Вид ВИЭ	Средневзвешенная стоимость в 2018 г., долл. США/кВт*ч	Стоимость от 5 до 95% станций долл. США/кВт*ч	Изменение стоимости по отношению к 2017г.
Биоэнергия	0,062	0,048 – 0,243	-14%
Геотермальная	0,072	0,060 – 0,143	-1%
Гидро	0,047	0,030 – 0,136	-11%
Солнечная	0,085	0,058 – 0,219	-13%
Солнечная с концентраторами	0,185	0,109 - 0,272	-26%
Ветро морская	0,127	0,102 - 0,198	-1%
Ветро наземная	0,056	0,044 - 0,100	-13%

Широкое введение цифровизации в проектирование ведет к совершенствованию конструкций и технологии производства ветроустановок,

ведет к снижению стоимости их производства, а в системы управления – к повышению надежности работы. В табл. 3 представлены удельные стоимостные показатели ветроустановок ведущих стран мира, активно развивающих ветроэнергетику [3].

Таблица 3. Удельная стоимость ветроустановок мегаваттного класса в 2018 г.

Страна	Долл.США/кВт	Страна	Долл. США/кВт
Канада	2427	Ю. Корея	1326
РФ	2302	Саудовская Аравия	1267
Япония	2101	Турция	1206
Южная Африка	1671	Индонезия	1192
Австралия	1554	Германия	1113
США	1549	Франция	1074
Бразилия	1519	Китай	879
Мексика	1481	Италия	870
Аргентина	1433	Индия	793
Англия	1363		

Ветроэнергетика России

Развитие возобновляемой энергетики в России началось намного раньше, чем во многих зарубежных странах. В 1931 году была построена Балаклавская станция мощностью 100 кВт, спроектированная талантливым конструктором Кондратюком Ю. (Щаргей Александр Игнатьевич), разработавшим в 1932 году проект ветростанции мощностью 25 МВт, который позже по требованию конкурсной комиссии был переработан и мощность ВЭУ была снижена до 5 МВт. В 1938 г начато её сооружению в Крыму, но оно вскоре по ряду причин было приостановлено и заброшено [10]. В пятидесятых годах Астраханским заводом «Ветроэнергомаш» серийно выпускались ветроустановки мощностью до 4 кВт. В 1992-94 годах было начато строительство Калмыцкой ВЭС на базе отечественных ветроустановок «Радуга 1». В 1998-2002 годах была сооружена самая крупная в России Куликовская ВЭС мощностью 5,1 Мвт. Существовало и

еще несколько станций. Общая их мощность на конец 2016 года составляла всего 10,9 МВт (табл. 4).

Современное промышленное развитие ветро- и солнечная энергетика получили после создания законодательной поддержки развития ВИЭ, начиная с поправки к Федеральному Закону №35-ФЗ «Об энергетике», где было дано определение мер по ускоренному развитию ВИЭ и определение роли государства в осуществлении поддержки и объектов на основе ВИЭ[8]. Было принято более 20 законов и подзаконных актов по развитию возобновляемых источников энергии, утверждены контрольные цифры по развитию возобновляемых источников энергии, в соответствии с которыми к 2020 году мощность ВИЭ должны были занимать 4,5 % от мощности всех источников энергии[7]. Позднее эти цифры были скорректированы, в соответствии с которыми к 2024 году установленная мощность ВИЭ должна составлять 2,5%, общая мощность ветропарков России – 3,6 ГВт, солнечных станций 1,520 ГВт с уровнем локализации производства 65% [9].

На 01.05.2020 установленная мощность всех электростанций России по данным системного оператора Единой энергетической системы РФ составила 246 987,04 МВт. Установленная мощность ветроэнергетических установок составляет 531,72 МВт, что составляет всего 0,22 % в структуре генерирующих мощностей России, а солнечной – 0,6%. Структура генерирующих мощностей представлена в табл. 4[13].

Таблица 4. Структура генерирующих мощностей России на 01.05.2020

Год	Производство электроэнергии млрд. кВт·ч	Общая мощность электростанций по данным ЕЭС России с 2016г. (на начало года), тыс. кВт					
		Тепловые	Гидро	Атомные	Ветро	Солнечные	Всего
2016*	1 071,842	160 233,3	47 855,2	27 146	10,9	60,2	235 305,56
2017	1 073,724	160 242,2	48 085,93	27 929,4	10,9	75,2	236 343,63
2018	1 091,079	162 779,7	48 449,65	27 914,3	134,34	534,22	239 812,2
2019	1 096,4	164 586,6	48 506,3	29 132,2	183,9	834,2	243 243,19
2020	369746,8**	164 773,63	49 880,79	30313,19	531,71	1487,72	246 987,04
Доля в 2020 году, %		66,71	20,20	12,27	0,22	0,6	100

Строительство ветропарков и солнечных станций производится на основе договоров поставки мощности (ДПМ), согласно которым, по результатам конкурсного отбора проектов, проводимых ассоциацией «НП Советом рынка». В 2015-2018 годах в России, должны возводиться ветропарки следующей мощности: 2017 году – 35 МВт – Ульяновская ВЭС; 2018 году – 200 МВт; 2019 году – 400 МВт; 2020 году – 620,090 МВт; 2021 году – 490,970 МВт; 2022 году – 530 МВт; 2023 году – 497,7 МВт. На конец 2022 года общая их мощность составит 2585,79 МВт. К концу 2024 года Федеральная программа предусматривает общую мощность ветропарков России 3,35 ГВт

Основными участниками строительства ВЭУ являются ООО «Фортум Энергия» (структура «Роснано») – 26 точек поставки энергии общим объемом 1000 МВт: 50 МВт в 2018 г.; 200 МВт в 2019 году; 250 МВт в 2020; 250 МВт – в 2021 году, 250 МВт в 2022 году, АО «ВетроОГК» (структура Росатома) – 15 точек поставки общим объемом 360 МВт: 40 МВт в 2020 году; 40 МВт в 2021 году; 280 МВт в 2022 году и ПАО «Энел Россия» (генерирующая группа итальянской компании Enel) – 2 точки поставки энергии общим объемом 291,06 МВт: 90,9 МВт в 2020 году, 200,970 МВт в 2021 году.

В соответствии с ДПМ в течение 15 лет инвесторам возвращаются инвестиции с ежегодной рентабельностью 12%.

Развитие ветроэнергетики предполагает локализацию производства комплектующих на отечественных предприятиях до 65%. Вклад каждого элемента конструкции ВЭУ определен в процентах (таблица 5) Приложением к Постановлению Правительства РФ №449 от 28.05.2013 г. [8].

Таблица 5. Показатели вклада отдельных элементов ВЭУ в локализацию

Элемент конструкции	Удельный вклад в конструкцию, %	Элемент конструкции	Удельный вклад в конструкцию, %
Лопастя	18 %	Установка арматуры	3 %
Система управления	9 %	Система охлаждения	2 %
Ступица в сборе	3 %	Вал	2 %
Редуктор	10 %	Проектирование и РКД ВЭС	7 %
Генератор	5 %	Сборка панели управления и подключение	7 %

Инвертор	8 %	Монтажные работы	7 %
Трансформатор	4 %	Каркас гондолы	2 %
Секции башни	13 %	Сумма все элементов ВЭУ (столбцы 2 и 4)	100 %

В настоящее время в 2018 году в Ульяновске на площадке авиастроительного предприятия “Аэрокомполит” датской фирмой «Вестас Мэньюфэкчуринг Рус» (совместная компания Vestas Wind Systems A/S, РОСНАНО и консорциума инвесторов Ульяновской области) организовано производство лопастей ВЭУ мощностью 3,6 МВт с планом выпуска до 330 лопастей в год с увеличением объема производства в 1921 году до 500 шт.[11]. В Нижегородской области при участии датской фирмы Vestas открылась промышленная площадка, на которой будут производить гондолы ВЭУ, собирать системы управления углом поворота гондолы и системы охлаждения. Башни для этих ВЭУ производятся на предприятии “Красный Котельщик”, принадлежащем компании “Силовые Машины”, в Таганроге.

На промышленных предприятиях Волгодонска АО «НоваВинд», созданное ГК «Росатом» 4.09.2017г, с голландским технологическим партнёром – компанией «Lagerwey», создают в ноябре 2017 г. совместное предприятие – «Red Wind B.V.», которое реализует программу локализации производства и отвечает также за квалификацию поставщиков и контрактацию комплектующих узлов ВЭУ для последующей поставки на производственные площадки АО «НоваВинд». До 2022 г совместным предприятием планируется выпуск 400 ветроустановок. мощностью 2,5 и 4,5 МВт по технологии Lagerwey, с доведением степени локализации до 65%.

В таблице 6 представлен перечень действующих на сегодняшний день системных ветроэлектростанций.

Таблица 6. Мощность системных ВЭС на 01.02.2020 г.

№	Название, оборудование	Мощность, МВт	Регион, область	Собственник	В реестре
1	Ульяновская ВЭС-1 2,5 Мвт -14 шт Dong Fang	35	Ульяновская	Фортум	В реестре
2	Ушаковская ВЭС Enercon E70 2,3 МВт -3 шт.	6,9	Калининградская	АО «Янтарьэнерго»	В реестре

3	ВЭС с. Тамар-Уткуль ВЭУ-200-1шт. ВЭУ-225-1шт. ВЭУ-250-2 шт.	0,925	Оренбургская, с. Тамар-Уткуль	ООО «ЭкоСельЭнерго»	В реестре
4	ВЭС Тюпкильды ЕТ-550 550 кВт -3 шт.	1,65	Республика Башкортостан, Туймазинского р-н, деревни Тюпкильды	Башкирская генерирующая комп.	В реестре
5	ВЭС г. Орск	0,4	Оренбургская	ООО «Автотранс-М»	В реестре
6	ВЭС ООО «АльтЭнерго» 20 кВт -5 шт	0,1	Белгородская, Яковлевский р-н, хутор Крапивенские Дворы	ООО «АльтЭнерго»	В реестре
7	Ульяновская ВЭС-2 Vestas 3,6-МВт - 14 шт	50	Ульяновская	Фортум	В реестре
8	Адыгейская ВЭС Lagerwey, L100 - 2,5 2,5 МВт - 60 шт.	150	Адыгея, Шовгеновский и Гиагинский р-ны	НоваВинд	В реестре
9	Гуковская ВЭС -Каменская Vestas V126-3.45 MW - 26шт. -Красносулинская Vestas V126-3.45 MW - 26шт.	197,6	Ростовская	ООО «Второй Ветропарк ФРВ»	В реестре
10	ВЭС-Мирный	60	Краснодарский, Ейский р-н, г.Мирный	ООО "ВЭС"	
11	ВЭС-Октябрьский	39	Краснодарский, Ейский р-н, П.Октябрьский	ООО "ВЭС"	
	Итого:	296,6			

В таблице 7 представлен перечень некоторых ветростанций, установленных в изолированных энергосистемах, некоторые из них являются ветродизельными.

Таблица 7. Изолированные энергосистемы и Крымская энергосистема

№	Название ВЭС, оборудование	Мощность, МВт	Регион	Собственник
1	Останинская 2,5 МВт- 10 шт.	25	Крым, Керчь	ООО «Ветряной парк Керченский»
2	Тарханкутская -Тархунский участок USW 56-100 - 127шт. -Черноморский участок Т-600-48 (бельгийской фирмы Turbowinds) - 6шт	22,45	Крым, п.Тархунск и п. Черноморск	ГУП РК «КГС»
3	Сакская -Мирновская Т600-48 600 кВт -3 шт. USW 56-100 107,5 кВт - 155 шт. Воробьевский	20,82 (18,5МВт 2,4 МВт)	Крым, Пос. Мирное Пос. Воробьевка	ГУП РК «КГС»

	USW 56-100 107,5 кВт - 22 шт..			
4	Пресноводненская USW 56-100 107,5 кВт - 52 шт. AN Bonus 600 kW 600 кВт -3 шт.	7,39	Крым, пос.Пресноводное	ГУП РК «КГС»
5	Донузлавская USW 56-100 107,5 кВт - 63шт.	6,78	Крым, пгт Новоозерное , г.Евпатория	ГУП РК «КГС»
6	Судакская USW 56-100 107,5 кВт - 35 шт.	3,76	Крым, мыс Меганом	ГУП РК «КГС»
7	Восточно-Крымская Т600-48 600 кВт 2 шт USW 56-100 107,7 кВт - 15 шт.	2,81	Крым. с.Золотое	ГУП РК «КГС»
8	ВЭС Октябрьская Камчатская 0,3 МВт -1 шт., 0,6 МВт—4 шт.	3,3	Камчатский край, п. Октябрьский	АО «Камчатские электрические сети им. И. А. Пискунова»
9	Анадырская (Чукотская) ВЭУ-250 - 10 шт.	2,5	Чукотский АО, п.Анадырь	ГП ЧАО «Чукоткоммунхоз»
10	Усть-Камчатская Vergnet 275 кВт 275 кВт - 1шт. Komaihaltec Inc 0,9 МВт -1 шт.	1,175	Камчатский край, п. Усть-Камчатск	ПАО «Передвижная энергетика»
11	ВДС п. Тикси Komaihaltec 0,3 МВт 3шт. H=41,5 м D=33м	0,9	Якутия, п. Тикси	ПАО «РусГидро»
12	ВДС с. Никольское Vergnet GEV-MP 275 кВт 2 шт.	0,55	Камчатский край, о.Беринка, п.Никольское	ПАО «Передвижная энергетика»
13	ВДС Новиковская ВЭУ – 225, 225 кВт - 2 шт.	0,45	Сахалинская область о .Кунашир, с. Новиково	ПАО «Передвижная энергетика»
14	ВЭУ Лабытнангская	0,25	Ямало-Ненецкий АО, г. Лабытнанги	ПАО «Передвижная энергетика»
15	ВЭС Головино ВЭУ 225кВт - 2 шт	0,45	Сахалинская область о .Кунашир	ПАО «Передвижная энергетика»
16	ВДС Амдерма VETROX Arctic GE-5050 кВт- 4шт.	0,2	Ненецкий АО Пос. Амдерма	Департамент ЖКХ МО «Поселок Амдерма»
	Итого:	98,785		

Для России очень актуальным является развитие автономных ветро-солнечно-дизельных комплексов малой мощности для электроснабжения удаленных от электрических сетей изолированных территорий [14,18]. Электроснабжение таких зачастую малочисленных поселений в настоящее время осуществляется от дизельных станций. Потребление электрической энергии составляет от 100 до 300 Вт/чел. Доставка топлива в такие регионы весьма сложна, стоимость электроэнергии может превышать 100-200 руб./кВт·ч. Электроснабжение в таких поселениях может осуществляться от 8 до 17 часов в сутки. Ярким примером тому, могут служить поселения Терского района

Мурманской области, расположенных на южной части Кольского полуострова – деревня Пялица, села Тетрино, Чавоньга и Чапама. Все эти поселения удалены от линий электропередач и единственным решением круглосуточного электроснабжения явилось строительство автономных энергетических ветро-солнечно-дизельных станций. В 2013-2014 годах была проведена работа по определению целесообразности сооружения ВСДЭС на удаленных территориях Кольского полуострова. В результате которой, в 2014-2016 годах была принята и реализована региональная программа по строительству ветро-солнечно-дизельных станций на Терском берегу Кольского полуострова [14, 15, 16]. Опытная их эксплуатация, с последующей заменой лопастей из-за их поломки в с. Чаваньга и Чапама, показала эффективность их применения. Реализация Программы привела к обеспечению жителей поселений круглосуточным электроснабжением, снижению расхода дизельного топлива, а главное – улучшению качества жизни жителей этих удаленных поселений. А это далеко не единственные поселения Кольского полуострова и России.

Характеристики ВСДЭС Терского берега Кольского полуострова представлены в табл.8

Таблица 8. Ветроэнергетика в Мурманской области

№	Место размещения, Дата ввода, вывода	Мощность ВЭУ, кВт	Состав оборудования
1	деревня Пялица май 2014	5,0х4=20кВт ВЭУ Antaris	СБ 0,2кВтх60 шт. Дизель АД30С-Т400-1РМ8 -2 шт. по 30 кВт
2	Село Тетрино июнь 2015 года	5,0х4=20кВт ВЭУ Antaris	СБ 0,27 кВтх60 шт. Дизель генератор FGWilson P22 мощностью17,6 кВт - 2 шт.
3*	Село Чапама Ввод мае 2016 Вывод из экспл. с октября 2017 Ввод 8 ноября 2018г	10,0 х5=50кВт Antaris	СБ0,27 кВт – 120 шт. Дизель генератор FGWilson P110 мощностью88 кВт – 2 шт.
4	Село Чавоньга Ввод сент. 2015 года Вывод из экспл. октября 2017г. Ввод 1 ноября 2018 г	10,0х5=50кВт Antaris	СБ0,27 кВт – 120 шт. Дизель генератор FGWilson P110 мощностью88 кВт – 2 шт.

Выводы

1. Возобновляемая энергетика активно развивается в мире. Особенно быстрыми темпами развиваются ветроэнергетика и солнечная энергетика. Их

развитие связано с совершенствованием технологий изготовления, совершенствованием конструкций и снижением стоимости ветроустановок и солнечных модулей.

2. Внедрение цифровых методов проектирования позволяет обеспечить совершенствование конструкций ВЭУ и технологичности их производства. Введение цифрового управления и развитие цифровой преобразовательной техники обеспечивают повышение надежности энергетических комплексов на основе ВИЭ и повышение качества выходной энергии.

3. Ветровая системная и автономная энергетика начала развиваться в России. Особо активное развитие получила системная энергетика.

4. Для России особую актуальность имеет развитие малой энергетики, использующей возобновляемые источники энергии.

Список литературы

1. Statistics – World Wind Energy Association
<https://wwindea.org/blog/2020/04/16/world-wind-capacity-at-650-gw/> (Дата обращения 20.05.2020)

2. <https://windeurope.org/about-wind/statistics/european/wind-energy-in-europe-in-2018/#presentation> . (Дата обращения 25.02.2019)

3. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf(Дата обращения 5.05.2019)

4. Wind Powers America First Quarter 2020.
<https://www.awea.org/resources/publications-and-reports/market-reports>(дата обращения 15.04.2020)

5. Wind energy in Europe in 2019. Trends and statistics.
<https://www.google.ru/search?> (Дата обращения 15.04.2020)

6. Федеральный закон "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 N 35-ФЗ. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (Дата обращения 12.03.2019)

7. Распоряжение Правительства РФ от 8.01.2009г. №1-р «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 г. www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83805/ (Дата обращения 20.01.2019)

8. Постановление Правительства РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ от 28 мая 2013 г. N 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности». www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146916/. (Дата обращения 20.01.2019)

9. Распоряжение Правительства РФ №850-р от 5 мая 2016 г изменения в «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года», утвержденные распоряжением Правительства Российской Федерации № 1-р от 8 января 2009 г. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_197712/. (Дата обращения 15.06.2017).

10. Крымский след Кондратюка достоин памяти. <https://www.liveinternet.ru/users/4768613/post347016043/> (Дата обращения 16.02.2015)

11. В Ульяновске открыта первая очередь завода по производству лопастей ветрогенераторов Vestas. <http://renen.ru/the-first-stage-of-the-vestas-wind-turbine-blades-production-plant-opened-in-ulyanovsk/>. (Дата обращения 21.02.2019)

12. Солнечная энергетика в России и мире. www.tadviser.ru/index.../ . (Дата обращения 20.03.2019)

13. Системный оператор УЭС России http://www.sops.ru/index.php?id=press_release_

view&tx_ttnews[tt_news]=15515&cHash=3a905169b1 (Дата обращения 20.05.2020)

14. Три удаленных поселка Мурманской области запитают от «зеленой» энергии <https://bellona.ru/2014/10/08/tri-udalennyh-poselka-murmanskoj-obl/>

15. «Беллона» презентовала реестр по возобновляемой энергетике на Кольском полуострове. <https://xn----7sbhwjb3brd.xn--p1ai/index.php?q=news/city/murmansk/bellona-prezentovala-reestr-po-vozobnovlyaemoj-energetike-na-kolskom-poluostrove> (Дата обращения 2.01.2018)

16. Новая жизнь Терского берега. В селе Пялица открыт первый в регионе ветропарк. <http://old.murman.tv/news/4458-novaya-zhizn-terskogo-berega-v-sele-pyalica-otkryt-pervyy-v-regione-vetropark.html> (Дата обращения 3.03.2015)

17. В.А. Минин Перспективы использования возобновляемых источников энергии в Мурманской области. Труды Кольского научного центра РАН 2016. <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii-v-murmanskoj-oblasti/viewer> (Дата обращения 3.03.2017)

18. Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России Аналитический доклад Март 2020. https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/analitika/genерации_в_ИТТ.pdf (Дата обращения 15.05.2020)

©, Грибков С.В., – 2020

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ, ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННУЮ ПРОДУКЦИЮ**

Даус Юлия Владимировна, кандидат технических наук, Азово-Черноморский инженерный институт, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. им. Ленина, 21, e-mail: zirochka2505@gmail.com.

Десятниченко Данил Александрович, аспирант, Азово-Черноморский инженерный институт, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. им. Ленина, 21, e-mail: danilrunlife@mail.ru.

Юдаев Игорь Викторович, доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул. им. Ленина, 21, e-mail: etsh1965@mail.ru.

Аннотация

Целью исследования является оптимизация конфигурации системы электроснабжения сельскохозяйственного предприятия средствами солнечных электростанций для обеспечения дополнительных технологических мощностей. Суммарная установленная мощность модулей, размещенных на крышах производственных зданий объекта, составила 149,65 кВт. Выработка электрической энергии источниками распределенной генерации составляет 198,4 тысяч кВт·ч/год при суммарном потреблении предприятием 547,7 тысяч кВт·ч/год. Снижение потребления из централизованной сети потребителями предприятия составляет 26,5 % для источника распределенной генерации №1,

36,5 % для источника распределенной генерации №2 и 34,0 % для источника распределенной генерации №3.

Ключевые слова

источник распределенной генерации, система электроснабжения, компоновка фотоэлектрической станции.

PHOTOVOLTAIC POWER PLANT AS ELEMENT OF POWER SUPPLY SYSTEM OF, AGRICULTURAL PRODUCTS' PROCESSING ENTERPRISE

Daus Yulia Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences, Azov-Black Sea Engineering Institute, FSBEI HE «Don State Agrarian University», 347740, Russia, Rostov Region, Zernograd, Lenin st., 21, e-mail: zirochka2505@gmail.com.

Desyatnichenko Danil Aleksandrovich, post-graduate student, Azov-Black Sea Engineering Institute, FSBEI HE «Don State Agrarian University», 347740, Russia, Rostov Region, Zernograd, Lenin st., 21, e-mail: danilrunlife@mail.ru.

Yudaev Igor Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, профессор, Azov-Black Sea Engineering Institute, FSBEI HE «Don State Agrarian University», 347740, Russia, Rostov Region, Zernograd, Lenin st., 21, e-mail: etsh1965@mail.ru.

Annotation

The purpose of the study is to optimize the configuration of the power supply system of agricultural enterprise by means of solar power plants to provide additional technological capacities. The total installed capacity of the modules located on the roofs of industrial buildings of the enterprise amounted to 149.65 kW. Electricity generation by distributed generation sources is 198.4 thousand kWh / year with total consumption of 547.7 thousand kWh / year by the enterprise. The decrease in consumption from the centralized network by the enterprise's consumers is 26.5% for the distributed generation source No. 1, 36.5 % for the distributed generation source No. 2 and 34.0% for the distributed generation source No. 3.

Key words

distributed generation source, power supply system, layout of photovoltaic power plant.

Одним из вариантов бесперебойной подачи энергии, повышения качества и надежности электроснабжения потребителей на сельских, удаленных и изолированных территориях можно считать использование возобновляемых источников энергии [1]. Использование солнечной энергии для функционирования солнечных электростанций (СЭС) и фотоэлектрических установок (ФЭУ) является выгодным, экологически чистым и не таким уж дорогим вариантом генерации энергии [2].

Целью исследования является оптимизация конфигурации системы электроснабжения сельскохозяйственного предприятия средствами фотоэлектрических установок для обеспечения дополнительных технологических мощностей.

Методика и материалы исследования. Объект исследования – система электроснабжения перерабатывающего предприятия. Объект получает электроснабжение от комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ и имеет собственную электрическую сеть 0,38 кВ. Так как цель работы – повысить эффективность системы электроснабжения сельскохозяйственного объекта, это накладывает ряд ограничений на выбор параметров и состава фотоэлектрических установок – источников распределенной генерации. Сельскохозяйственный объект – это территория с плотной застройкой или обширными площадями, отведенными под сельскохозяйственную деятельность. Поэтому сооружение фотоэлектрических установок на земле может вызывать ряд трудностей, а именно – затенение модулей от расположенных вблизи конструкций и зданий, невозможность вывода земель из-под обработки, загромождение проездов для прохода техники и т.д. Целесообразным является размещать генерирующие установки на конструкциях имеющихся строений и зданий, что хоть и накладывает определенные ограничения на их параметры, но делает более

удобным их строительство и обслуживание [3].

Результаты. Параметры компоновки модулей фотоэлектрических установок следующие. Пространственная ориентация (угол ската крыши β_i , °), ориентация по сторонам света γ_i , °), количество модулей (N_i , шт.) и площадь, занимаемая источником солнечной распределённой генерации (S , м²):

ИРГ№1: $\beta_1=15^\circ$; $\gamma_1=0^\circ$; $N_1=87$ шт.; $S_1=935$ м²,

ИРГ№2: $\beta_2=15^\circ$; $\gamma_2=-90^\circ$; $N_2=20$ шт.; $S_2=264$ м²,

ИРГ№3: $\beta_3=0^\circ$; $\gamma_3=0^\circ$; $N_3=303$ шт.; $S_3=2757$ м².

Фотоэлектрические модули всех установок, кроме ИРГ№3, будут иметь ориентацию согласно ориентации крыш зданий, модули установки ИРГ№3 предполагается разместить под оптимальным нерегулируемым углом (для г. Зернограда Ростовской области $\beta_{\text{опт}} = 39^\circ$) с расстоянием между рядами, учитывающим их взаимное затенение [4].

На рисунке 1 представлен годовой график потребления сельскохозяйственным объектом электрической энергии для варианта с источниками распределенной генерации и централизованного электроснабжения [5].

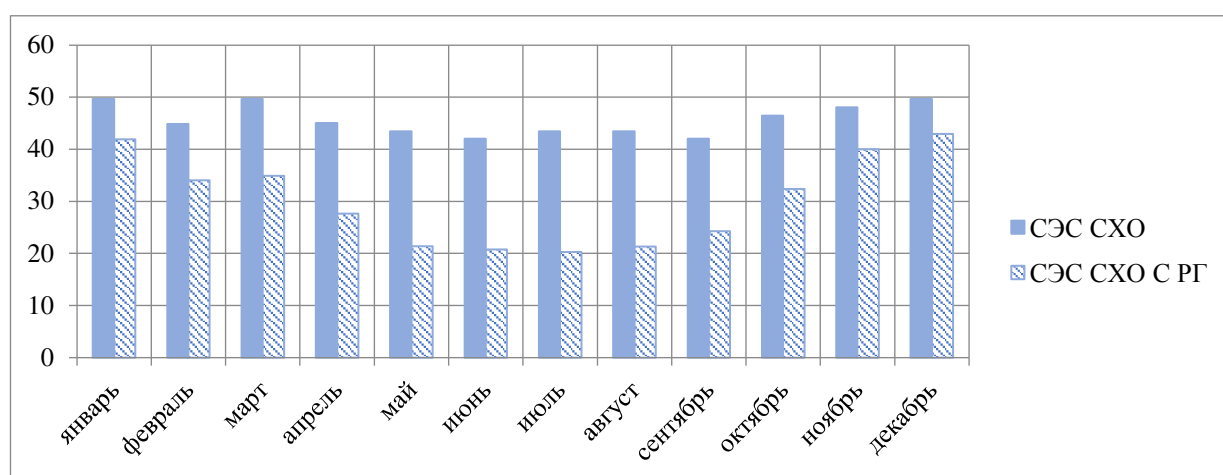


Рисунок 1. Годовой график потребления сельскохозяйственным объектом электрической энергии для варианта с источниками распределенной генерации (СЭС СХО с РГ) и централизованного электроснабжения (СЭС СХО)

Снижение потребления из централизованной сети потребителями предприятия составляет 26,5 % для объектов, подключённых к ИРГ№1, 36,5 % – для ИРГ№2 и 34,0 % – для ИРГ№3.

Выводы. Суммарная установленная мощность модулей 149,65 кВт. Выработка электрической энергии источниками распределенной генерации составляет 198,4 тыс кВт·ч/год при суммарном потреблении предприятием 547,7 тыс кВт·ч/год. Снижение потребления из централизованной сети потребителями предприятия составляет 26,5 % для подключенных к ИРГ№1, 36,5 % – для ИРГ№2 и 34,0 % – для ИРГ№3.

Список литературы

1. Рогалёв Н.Д. Как повысить привлекательность электростанций на основе возобновляемых источников энергии? / Н.Д. Рогалёв, М.Г. Тягунов, Т.А. Шестопалова // Энергетик. – 2015. – № 1. – С. 31-33.

2. Adomavicius V. RES-based microgrids for environmentally friendly energy supply in agriculture / V. Adomavicius, V. Kharchenko, V. Gusarov, J. Valickas // Conference Proceeding - 5th International Conference, TAE 2013: Trends in Agricultural Engineering 2013. – 2013. – С. 51-55.

3. Даус Ю.В. Крышная фотоэлектростанция для электроснабжения системы круглосуточного внутрицехового освещения мельницы / Ю.В. Даус, В.В. Головинов // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 2 (23). – С. 133-138.

4. Daus Yu.V. Managing spatial orientation of photovoltaic module to obtain the maximum of electric power generation at preset point of time / Yu.V. Daus, V.V. Kharchenko, I.V. Yudaev // Applied Solar Energy. – 2018. – Т. 54. – № 6. – С. 400-405.

5. Свидетельство № 2016612047 Российская Федерация. Оценка потенциала солнечной энергии в заданной точке Южного федерального округа: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Ю.В. Даус,

В.В. Харченко, И.В. Юдаев; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Донской ГАУ». – № 2015662511; заявл. 18.12.2015; зарегистр. 18.02.2016. – 1 с.

©, Даус Ю.В., Десятниченко Д.А., Юдаев И.В., – 2020

УДК 620.91

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ СОЛНЕЧНОГО КАТАМАРАНА

Зайнутдинова Лариса Хасановна, кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: Lzain@mail.ru

Хафизов Ринат Камилевич, магистрант, Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

Абакаев Исмаил Ибрагимович, магистрант, Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

Зайнутдинов Рустем Ахтямович, кандидат технических наук, ООО НПП «Астраэнергоэффект» г. Астрахань, e-mail: rz@altsolar.ru

Аннотация

Проведено исследование эксплуатационных характеристик фотоэлектрической станции: установленная мощность 10,59 кВт; напряжение на выходе аккумуляторного блока – 52.3 В; суммарная ёмкость аккумуляторов – 24320 А*ч. Используются солнечные панели Nevel Solar: мощностью 200 Вт – 46 шт.; мощностью 135 Вт – 6 шт.; мощностью 100 Вт – 4 шт.; мощностью 45 Вт – 4 шт. Фотоэлектрическая станция выступает в качестве основного источника энергии экспериментального судна – солнечного катамарана

Ключевые слова

солнечный катамаран, фотоэлектрическая станция, контроллера заряда, аккумулятор, инвертор, выработка электрической энергии

RESEARCH OF OPERATING CHARACTERISTICS OF THE PHOTOELECTRIC STATION OF THE SOLAR CATAMARAN

Zainutdinova L. Kh., PhD, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Astrakhan state University, 20A Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia, e-mail:

Lzain@mail.ru

Khafizov R. K., graduate student, "Industrial electronics and microprocessor technology", Astrakhan state University, 20A Tatishcheva str., Astrakhan, 414056,

Abakaev I. I., graduate student, "Industrial electronics and microprocessor technology", Astrakhan state University, 20A Tatishcheva str., Astrakhan, 414056,

Zaynutdinov R. A., RPE "Astraenergoeffect LLC", Astrakhan, Russian Federation, rz@altsolar.ru

Annotation

A study of the operational characteristics of the photovoltaic station has been carried out: installed power 10.59 kW; voltage at the output of the battery pack - 52.3 V; the total capacity of the batteries is 24320 A * h. Used solar panels Hevel Solar: 200 W - 46 pieces; power 135 W - 6 pcs; with a power of 100 W - 4 pcs; power 45 W - 4 pcs. The photovoltaic station acts as the main source of energy for the experimental vessel – the solar catamaran

Keywords

solar catamaran, photovoltaic station, charge controller, battery, inverter, electric power generation

Объектом исследования является фотоэлектрическая станция экспериментального судна – солнечного катамарана. Фотоэлектрическая станция выступает в качестве основного источника энергии на судне. Сгенерированная электроэнергия обеспечивает питание бытовых потребителей, бортового оборудования и электромоторов, приводящих судно в движение.

По истечении двух лет эксплуатации судна генерация солнечной электростанции значительно снизилась. Поэтому была поставлена цель провести

исследование и выявить факторы, повлиявшие на снижение выработки электроэнергии фотоэлектрической станцией.

Краткие характеристики объекта: установленная мощность 10,59 кВт;

Напряжение на выходе аккумуляторного блока – 52.3 В;

Суммарная ёмкость аккумуляторов – 24320 А*ч.

Перечень оборудования:

1. Солнечные панели Nevel Solar:
 - Мощностью 200 Вт – 46 шт.;
 - Мощностью 135 Вт – 6 шт.;
 - Мощностью 100 Вт – 4 шт.;
 - Мощностью 45 Вт – 4 шт.
 - Суммарная мощность 10590 Вт.
2. MPPT-контроллер КЭС «DOMINATOR» 200/100 – 4 шт.
3. Инвертор МАП «DOMINATOR» 48/220 9 кВт – 2 шт.
4. Аккумуляторная батарея Лиотех LT-LYP 380 – 64 шт.
5. BMS-Микроарт – 16 шт.
6. Аккумуляторная батарея VARTA Silver Dynamic 110Ah 920А– 1 шт.
7. Зарядное устройство «Вымпел 325» - 1 шт.
8. MPPT-контроллер EPSolar 2215R Tracer – 1 шт.
9. Монитор батарейный Victron Energy BMV-700 – 1 шт.
10. Прочее оборудование.

Солнечные панели, используемые на станции, являются экспериментальными, и были изготовлены специально для данного проекта. Составлены они из ячеек Nevel 5 Busbar.

Таблица 1. Характеристики ячейки Nevel 5 Busbar

Эффективность, %	23,1
Мощность в точке максимальной мощности, Вт пик	5,64
Ток короткого замыкания, А	9,17
Напряжение холостого хода, В	0,735

Ток в точке максимальной мощности, А	8,63
Напряжение в точке максимальной мощности, В	0,654
Коэффициент заполнения, %	83,71
Температурный коэффициент	-0,3 %/°C
Стандартные размеры	156,75 x 156,75 мм

В качестве контроллера заряда на данной солнечной станции применяется MPPT-контроллер КЭС «DOMINATOR» 200/100. Данные контроллеры совместно с BMS «Микроарт» используются для заряда основного блока аккумуляторов, состоящего из 64 литий-ионных аккумуляторов Лиотех LP-LYP(LFP) 380, применяемых для питания движителей катамарана и бытовых потребителей. Для питания бортового оборудования и навигации используются аккумулятор VARTA Silver Dynamic 110Ah 920A. Заряд данного аккумулятора производится зарядным устройством Вымпел 325 и MPPT-котроллером EPSolar 2215R Tracer.

Таблица 2. Характеристики MPPT-контроллера КЭС «DOMINATOR» 200/100

Макс ток, А	100
Напряжение АКБ, В	12/24/36/48/ 96 автоматический выбор
Тип используемых АКБ	GEL, AGM, закрытые, открытые, щелочные, LiFePO4
Температурный сенсор	Внешний
Макс рабочее напряжение от солнечных панелей, В	185
Макс напряжение от солнечных панелей, В	200
КПД	98%
Программируемые реле	3 шт. DPST AC: 240В / 16А
Собственное потребление на XX, Вт	1,9
Установка	Вертикальное настенное крепление
Охлаждение	Естественное
Класс защиты	IP40
Рабочий температурный диапазон, °C	-40...+60
Габариты [ВxГxШ], см	35x12x21
Масса, кг	5.00

Таблица 3. Характеристики аккумуляторной батареи Лиотех LT-LYP(LFP)380

Характеристики при 25°C (*)	
Номинальная емкость, А*ч	380
Номинальное напряжение, В	3,2
Удельная энергия по массе, Вт.ч/кг	105
Рекомендованные режимы эксплуатации	
Непрерывный разряд, С	0,5

Ток заряда, С	0,5
Заряд при температуре, °С	от 0 до +30
Разряд при температуре, °С	от -30 до +50
Пределные рабочие режимы	
Непрерывный разряд, С	3
Ток заряда, С	3
Максимальное напряжение заряда, В	3,9
Минимальное напряжение на аккумуляторе, В	2,5
Заряд при температуре, °С	от -10 до +30
Разряд при температуре, °С	от -40 до +50
Хранение при температуре, °С	от 0 до +30
Ресурс, заряд/разряд при глубине разрядки до 80%, циклов	3000
Саморазряд полностью заряженного аккумулятора при хранении (+25°С), % в месяц	<3

Таблица 4. Характеристики MPPT-контроллера EPSolar 2215R Tracer

Номинальное напряжение, В	12/24
Номинальный ток заряда АКБ, А	20
Номинальный ток DC нагрузки, А	20
Макс. мощность СБ, Вт	260/520
Макс. напряжение СБ, В	100
Мин. напряжение СБ, В	не менее напряжения абсорбции АКБ
Отображение режима работы	LED-индикаторы/внешний дисплей
Настройка параметров работы	кнопки предустановок/внешний контроллер-дисплей
Температурная компенсация заряда	встроенный термодатчик
Макс. сечение проводов, мм ²	10
Класс защиты	IP30
Температурный режим, °С	-25~+55
Размеры, мм	169x118x83
Вес, кг	0,95

Таблица 5. Характеристики аккумуляторной батареи

VARTA Silver Dynamic 110Ah 920A

Производитель:	Varta (Германия)
Серия:	Varta Silver dynamic
Модель:	II
ETN:	610 402 092
Ёмкость:	110 А/ч
Ток:	920А
Полярность:	Обратная (R+)

Размеры:	175x190x393 мм,
Вес:	24 кг
Конус:	Конус стандарт

В качестве инвертора на данной солнечной станции применяется инвертор МАП «DOMINATOR» 48/220 9 кВт. На судне установлено 2 инвертора: основной и резервный.

Таблица 6. Характеристики инвертора МАП «DOMINATOR» 48/220 9 кВт

Мощность, кВт	9.00
КПД, %	96
U, В	48.0
U _{вых} , В	220
~Частота, Гц	50
Пиковая мощность, кВт*	13.00
Максимальная мощность, кВт**	9.00
Номинальная мощность, кВт	6.00
Собственное потребление на хх, Вт	14.4 - 24
Встроенный микрокомпьютер	есть
Встроенная сетевая плата	есть
Реле управления генератором или др.	есть
Вход USB	есть
Рекомендуемая суммарная емкость АКБ, А·ч	900
Min суммарная емкость АКБ, А·ч	300
Max рекомендуемая емкость кислотных АКБ, А·ч***	1900
Рабочий температурный диапазон, °С	-25...50
Габариты [В×Г×Ш], см	21×41×56
Масса без упаковки, кг	40.50

На рисунке 1 приведена схема расположения солнечных панелей на крыше катамарана и их распределение по контроллерам.

1-й контроллер (левый борт): модуль 200 Вт – три штуки, модуль 135 Вт – 3 штуки, модуль 45 Вт- 2 штуки;

2-й контроллер (левый центр): модуль 200 Вт – двадцать штук;

3-й контроллер (правый центр): модуль 200 Вт – двадцать штук;

4-й контроллер (правый борт): модуль 200 Вт – три штуки, модуль 135 Вт – 3 штуки, модуль 45 Вт- 2 штуки;

5-й контроллер (нос): модуль 100 Вт – четыре штуки.

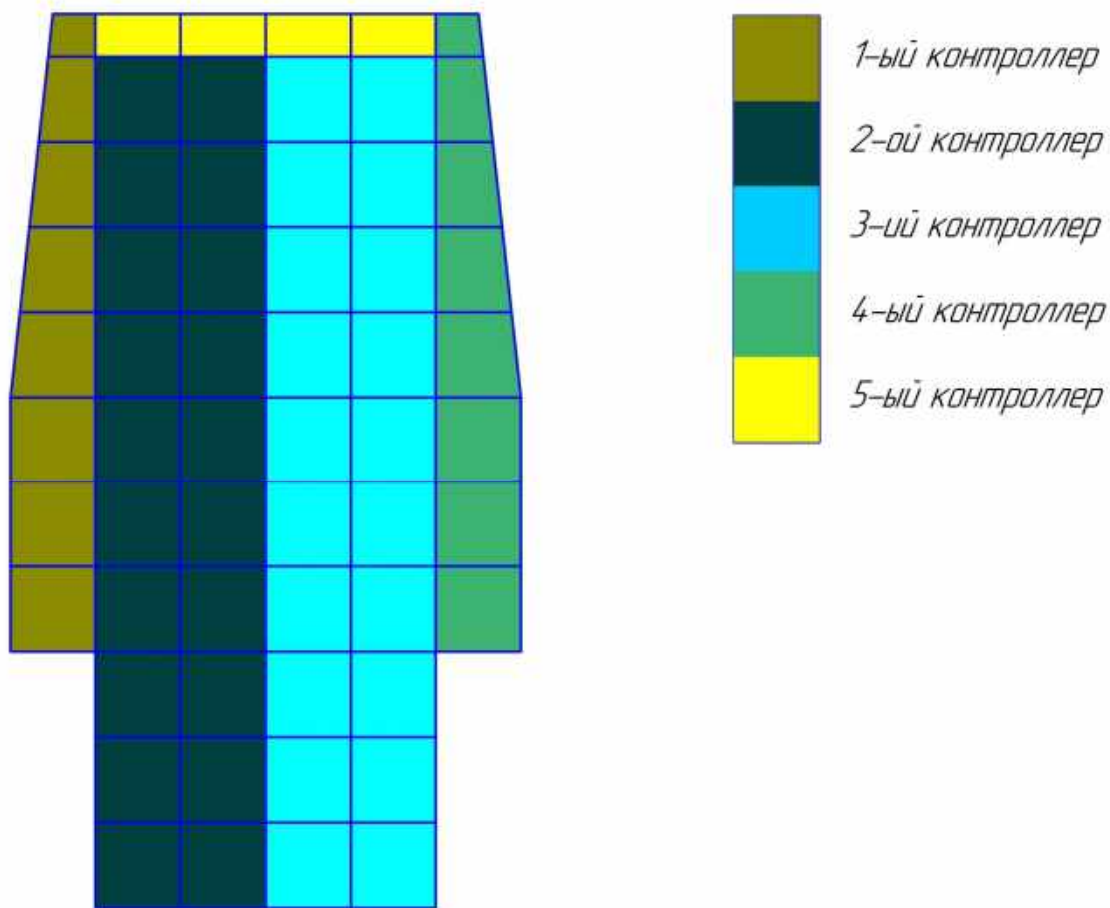


Рис. 1. Схема расположения солнечных панелей на крыше катамарана и их распределения по контроллерам

Далее для проверки состояния солнечных модулей был произведён замер напряжения на самих панелях. В результате замеров выяснилось, что одна из панелей была отключена из цепи, и в обход панели была смонтирована перемычка. Контакты солнечной панели были отсоединены от распределительной коробки. Измерив напряжение непосредственно с контактов солнечной панели выявили, что генерация на данной панели отсутствует. Так же были обнаружены панели с просадками напряжения и перенапряжением (Примечание: на рабочих панелях напряжение холостого хода составляет $\sim 25 \pm 0,5$ В). Все результаты измерения были внесены на структурную схему. Панели подсвечены цветами соответствующими контроллерам заряда, к которым они

подключены. Все дефектные панели были помечены цветами соответствующими разной степени отклонений напряжения (Рисунок 2).

Также были произведены замеры с общих выводов с солнечных панелей на контроллеры под нагрузкой и в холостом режиме. Были замерены напряжения на аккумуляторах на случай их неисправности. В результате этих замеров, неисправностей не было обнаружено. На аккумуляторах выдавалось напряжение в пределах 3,28 В. Затем мы сравнили показания с батарейного монитора (1) и показания инвертора (2) (рисунок 3) и выяснили что результаты совпадают и соответствуют паспортным данным.

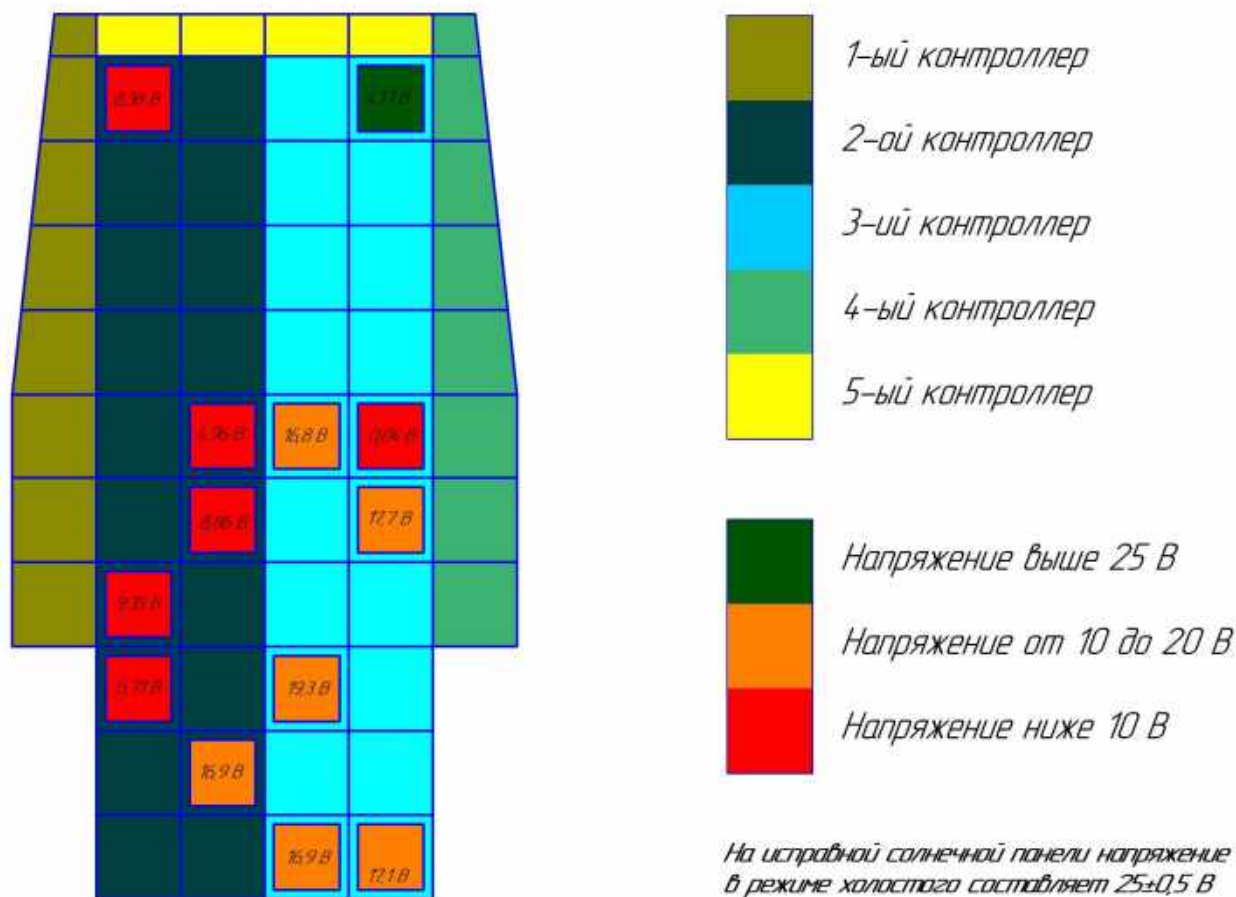


Рис. 2. Расположение дефектных панелей и их выходное напряжение при холостом ходе.



Рис. 3. Показания батарейного монитора (1) и инвертора (2).

Исходя из полученных данных, мы пришли к выводу, что основной причиной падения генерации фотоэлектрической станции солнечного катамарана являются дефектные панели, выявленные в ходе проведения замеров. Однако из различных источников и нашего опыта [1,2,3] известно, что солнечные панели сохраняют свою работоспособность в течение длительного периода (срок службы до 20 -30 лет). По-видимому, выявленные случаи снижения выработки солнечных модулей обусловлены неправильными условиями эксплуатации. Следует отметить, что дефектными оказались солнечные панели, размещенные в центральной зоне, в которой условия теплоотвода были наихудшими. Панели, размещенные в боковых зонах и на носу катамарана, где условия теплоотвода были лучше, сохранили свои характеристики. Основное снижение выработки произошло в июле 2019 года, когда солнечный катамаран прошел путь от Астрахани до Ростова и обратно при очень высоких температурах окружающей среды. Кроме того, в фотоэлектрических системах с большим количеством модулей, аккумуляторов и контроллеров, безусловно, следует более тщательно прорабатывать схему соединений с целью предотвращения несимметричных режимов работы.

Выводы

1. Проведено обследование фотоэлектрической станции солнечного катамарана с целью выявления причин снижения выработки электроэнергии.

2. Установлено, что основной причиной падения генерации фотоэлектрической станции солнечного катамарана явилось снижение характеристик тех солнечных панелей, которые находились в худших условиях теплоотвода.

3. Соответственно, проектирование фотоэлектрических станций, предназначенных для эксплуатации в южных регионах с высокими значениями температуры окружающей среды в летний период, следует осуществлять с учетом требований теплоотвода от солнечных панелей.

Список литературы

1. Зайнутдинова Л.Х. НАПРАВЛЕНИЮ «АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА» В АСТРАХАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИСПОЛНИЛОСЬ 10 ЛЕТ (ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА) // Материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5-7 декабря 2018г) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Зайнутдиновой Л.Х. и д-ра техн. наук, проф. Тягунова М.Г. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018, С. 29–32

2. Братышев С. Н., Зайнутдинова Л. Х., Ильичев В. Г., Титов А. С. Информационно-измерительная система долгосрочного мониторинга характеристик фотоэлектрических модулей // Проблемы получения, обработки и передачи измерительной информации: материалы II Международной научно-технической конференции / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : РИК УГАТУ, 2019. С.281-286

3. Теруков Е.И., Андроников Д. А., Малевский Д. А., Зайнутдинов Р.А., Ключарев А. Ю., Братышев С. Н., Ильичев В. Г. Экспериментальное исследование влияния метеорологических факторов на выработку электроэнергии солнечными модулями в климатических условиях астраханской области // Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии. № 2(46), 2019г., С.180-193.

В ходе работы над статьей использованы материалы, полученные при выполнении научного проекта по Гранту РФФИ: 18-38-10063 –проект организации молодежной научной конференции «Альтернативная энергетика в регионах России».

©, Зайнутдинова Л.Х., Хафизов Р.К., Абакаев И.И., Зайнутдинов Р.А., – 2020

УДК 621.311

АЛГОРИТМ РАБОТЫ КОНТРОЛЛЕРА АВТОНОМНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Ильичев Владимир Геннадьевич, магистрант направления подготовки: «Промышленная электроника и микропроцессорная техника», Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: vova201428@yandex.ru

Зайнутдинова Лариса Хасановна, кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: Lzain@mail.ru

Аннотация

Предложен бесконтактный способ определения температуры электролита аккумулятора на основе учета силы тока и внутреннего сопротивления. Разработан алгоритм работы контроллера автономной фотоэлектрической станции, формирующий предупреждающий сигнал и обеспечивающий отключение аккумулятора в случае превышения допустимого значения температуры электролита. Защита аккумулятора от перегрева увеличит срок службы оборудования фотоэлектрической станции.

Ключевые слова

Алгоритм, контроллер, фотоэлектрическая станция, аккумулятор, температура, внутреннее сопротивление.

Ilichev V. G., graduate student, "Industrial electronics and microprocessor technology", Astrakhan state University, 20A Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia, e-mail: vova201428@yandex.ru

Zainutdinova L. Kh., PhD, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Astrakhan state University, 20A Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia, e-mail: Lzain@mail.ru

Abstract

The contactless way of determination of temperature of electrolyte of the accumulator on the basis of accounting of current and internal resistance is offered. The operation algorithm of the controller of the autonomous photo-electric station forming the warning signal and providing shutdown of the accumulator in case of excess of permissible value of temperature of electrolyte is developed. Protection of the accumulator against overheating will increase service life of the equipment of the photo-electric station.

Keywords

Algorithm, controller, photovoltaic station, battery, temperature, internal resistance.

Солнечная энергия обладает рядом несомненных преимуществ по сравнению с другими энергоносителями и источниками энергии. В первую очередь, энергия Солнца является экологически чистой, т.к. при работе солнечная электростанция не выделяет в окружающую среду вредных веществ. Астраханская область является одним из наиболее перспективных регионов в плане использования солнечной энергетики.

В данный момент наблюдается общемировая тенденция, а именно – уход многих потребителей от исключительно централизованного энергоснабжения. С недавних пор, разработан целый ряд эффективных энерготехнологий, которые позволяют потребителям электроэнергии создавать собственные генерирующие установки для удовлетворения своих потребностей [1].

Основными элементами автономных фотоэлектрических установок являются: солнечные модули, аккумуляторные батареи (АКБ), инверторы, а также контроллеры заряда/разряда АКБ [2]. Аккумуляторные батареи служат для накопления и хранения электрической энергии, получаемой от солнечных модулей. При этом аккумулятору приходится работать в так называемом циклическом режиме: днем – заряд, вечером и ночью – максимально возможный разряд.

В последнее время разработка и производство солнечных модулей достигли высоких результатов. Если раньше КПД солнечных модулей составлял около (5-7) %, то сейчас уже он составляет около (14-18)%, а у современных отечественных, выпускаемых компанией Хевел солнечных модулей до 22,5%, а в сборке до 18%. Также стоит отметить и значительное увеличение срока их эксплуатации (до 25 лет). Резкому снижению их стоимости, способствовало и бурное развитие фотовольтаики в Китае [3].

По причине существенного снижения цен на фотоэлектрические модули, АКБ стали самым дорогостоящим элементом автономных фотоэлектрических установок. Первоначальная стоимость АКБ достаточно велика и к тому же они имеют небольшой срок эксплуатации (до 12 лет). Таким образом, необходимо обращать особое внимание на выбор и правильную эксплуатацию аккумуляторных батарей. Обычно в документации к АКБ производители указывают срок службы в буферном режиме и при идеальных условиях эксплуатации (температура 20°C, редкие неглубокие разряды, постоянный оптимальный заряд). Даже в резервной системе такие условия обеспечить нелегко. А в автономном режиме картина совершенно иная: непрерывно-циклический режим заряд/разряд являются ещё более тяжелыми условиями работы АКБ [4].

Одним из важных факторов, существенно влияющих на ресурс АКБ, используемых в автономных фотоэлектрических установках, является высокая температура при эксплуатации [5]. Оптимальная для аккумулятора температура 20-25°C. При температуре 35°C ресурс аккумулятора уменьшается в 2 раза.

Производители свинцово-кислотных аккумуляторов утверждают, что рекомендуемый диапазон эксплуатации АКБ составляет $22^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$. Высокие температуры (более 30°C) значительно сокращают срок службы аккумуляторов. Повышение температуры до $+ 60^{\circ}\text{C}$ является недопустимым. Это многократно сокращает срок службы. Желательно избегать эксплуатации аккумуляторов при температуре свыше 45°C .

В связи с этим возникает необходимость в разработке модели влияния температуры на долговечность и качество работы АКБ автономных фотоэлектрических установок.

Как видно из изученных работ, алгоритм работы контроллера имеет большое количество реализаций. Но ни в одном из них не затрагивается проблема контроля внутренней температуры аккумулятора [6,7].

В качестве примера был рассмотрен герметизированный свинцово-кислотный аккумулятор Delta GX 12-40 напряжением 12В и емкостью 40Ач, изготовленный по технологии GEL (композитный гель вместо электролита) [8]. Данный вид АКБ устойчив к глубоким разрядам. Срок службы аккумулятора достигает 15 лет. Герметизированные аккумуляторы GEL типа предназначены для работы как в режиме постоянного подзаряда (буферный режим), так и в режиме разряд-заряд (циклический режим).

Будем опираться на данные, предложенные производителем, для разработки алгоритма работы контроллера автономной ФЭС.

Суть предлагаемого нами алгоритма будет состоять в контроле внутренней температуры АКБ, которую мы будем определять бесконтактно, учитывая силу тока и внутреннее сопротивление АКБ.

С одной стороны, количество теплоты, выделяемое проводником с током равно произведению сопротивления проводника, квадрата силы тока и времени:

$$Q = R_{\text{вт}} I^2 \tau \quad (1)$$

Где Q – количество теплоты;

$R_{\text{вт}}$ – внутреннее сопротивление АКБ;

I – ток нагрузки;

τ – интервал времени снятия параметров.

Согласно правилам эксплуатации, свинцово-кислотных АКБ, температура их эксплуатации не должна превышать 25 °С.

С другой стороны, количество теплоты – это изменение внутренней энергии тела в процессе теплопередачи без совершения работы:

$$Q = cm(t_i - t_1) \quad (2)$$

Где c – удельная теплоемкость электролита аккумулятора

t_i – конечная температура электролита

t_1 – начальная температура электролита

Масса m будет определяться как:

$$m = \rho V \quad (3)$$

Где ρ – плотность электролита аккумулятора

V – объем электролита аккумулятора

Приравнявая (1) и (2), получаем:

$$(t_i - t_1) = \frac{RI^2t}{cm} \quad (4)$$

Находим конечную температуру электролита из формулы (4):

$$t_i = t_1 + \sum_{i=1}^i \frac{R_{вТ} i I_i^2 \tau}{cm} \quad (5)$$

Ранее нами было проведено экспериментальное исследование зависимости внутреннего сопротивления герметизированного свинцово-кислотного аккумулятора Delta GX 12-40, изготовленного по технологии GEL от тока нагрузки [8]. Построена характеристика зависимости внутреннего сопротивления аккумулятора от тока нагрузки. Проведена полиномиальная аппроксимация полученной зависимости. Получено следующее выражение зависимости внутреннего сопротивления аккумулятора от тока нагрузки:

$$R_{вТ i} = 0,052 \cdot I_i^2 - 0,3637 \cdot I_i + 0,09013 \quad (6)$$

Исходя из значений, найденной нами температуры, ставим условия:

- Если температура электролита аккумулятора имеет значение до 29 градусов, заряд АКБ продолжается (t_{normal});

- Если температура электролита аккумулятора имеет значение от 30 до 44 градусов, вывести на дисплей экрана контроллера предупреждающий сигнал о повышении температуры ($t_{warning}$);

- Если температура электролита аккумулятора имеет значение свыше 45 градусов, необходимо отключить заряд АКБ ($t_{critical}$).

Результатом проделанной работы можно считать блок-схему алгоритма, представленную на рисунке 1. Следует отметить, что исследования влияния температуры на ресурс АКБ проводятся авторами с 2018 года на базе научно-образовательного центра «Альтернативная энергетика» [9,10].

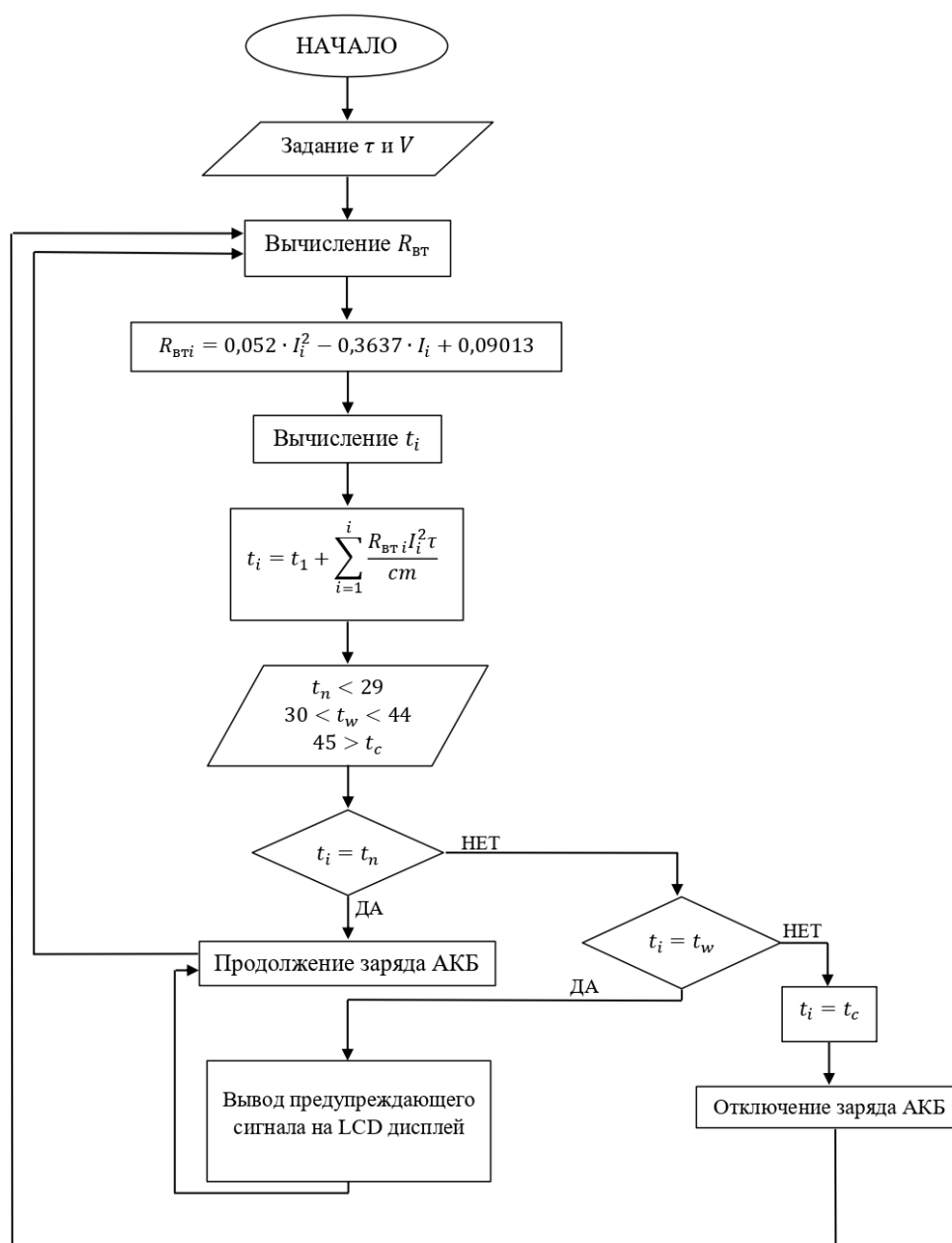


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма

Выводы

1. В связи со значительным снижением цен на солнечные модули АКБ стали самым дорогостоящим элементом автономных фотоэлектрических станций. Кроме того АКБ имеют небольшой срок эксплуатации по сравнению с солнечными модулями. Показано существенное сокращение срока службы АКБ с ростом температуры.

2. Предложен бесконтактный способ определения температуры электролита аккумулятора на основе учета силы тока и внутреннего сопротивления АКБ

3. Разработан алгоритм работы контроллера автономной фотоэлектрической станции, формирующий предупреждающий сигнал и обеспечивающий отключение аккумулятора в случае превышения допустимого значения температуры электролита. Защита аккумулятора от перегрева увеличит срок службы оборудования фотоэлектрической станции.

Список литературы

1. Тербунов Е.И., Андроников Д. А., Малевский Д. А., Зайнутдинов Р.А., Ключарев А. Ю., Братышев С. Н., Ильичев В. Г. Экспериментальное исследование влияния метеорологических факторов на выработку электроэнергии солнечными модулями в климатических условиях астраханской области // Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии. № 2(46), 2019г., С.180-193.

2. Ахмедов А.С., Зайнутдинов Р.А. Электроснабжение частного дома с применением сетевой солнечной электростанции // Альтернативная энергетика в регионах России: Материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5-7 декабря 2018г) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Зайнутдиновой Л.Х. и д-ра техн. наук, проф. Тягунова М.Г. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018 – С.50-54

3. Грибков С.В. Перспективы развития ветроэнергетики больших мощностей в мире и России // Альтернативная энергетика в регионах России: Материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5-7 декабря 2018г) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Зайнутдиновой Л.Х. и д-ра техн. наук, проф. Тягунова М.Г. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018 – С.16-29

4. Карлащук В.И. Элементы солнечных электростанций // Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный научно-технический журнал. 2014, №04, 31 с.

5. Ильичев В. Г., Зайнутдинов Р. А. Проблемы технической эксплуатации аккумуляторных батарей автономных фотоэлектрических установок // Электротехнические комплексы и системы: материалы международной научно-практической конференции. / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : РИК УГАТУ, 2019. – С. 267-271

6. Донцов О.А., Иванчура В.И., Краснобаев Ю.В. Контроллер солнечной батареи с экстремальным регулированием на основе нечеткой логики // Журнал сибирского федерального университета. Серия: техника и технологии. №6 (8), 2015 г., С. 786–794.

7. Пост С.С., Донцов О.А., Иванчура В.И., Краснобаев Ю.В. Имитационная модель контроллера солнечной батареи // Известия томского политехнического университета. №4 (325), 2014г., С. 111–120.

8. Зайнутдинова Л.Х., Ильичев В.Г. Влияние тока нагрузки на внутреннее сопротивление герметизированного свинцово-кислотного аккумулятора автономной ФЭУ // Отраслевой журнал С.О.К. (Сантехника. Отопление. Кондиционирование. Энергосбережение.) №4 (220), 2020г., С.79-81.

9. Ильичев В.Г. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ // Материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5-7 декабря 2018г) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Зайнутдиновой Л.Х. и д-ра техн. наук, проф. Тягунова М.Г. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018, С. 72–76.

10. Зайнутдинова Л.Х. НАПРАВЛЕНИЮ «АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА» В АСТРАХАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИСПОЛНИЛОСЬ 10 ЛЕТ (ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА) // Материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» (г. Астрахань, 5-7 декабря 2018г) / под науч. ред. д-ра пед. наук, проф. Зайнутдиновой Л.Х. и д-ра техн. наук, проф. Тягунова М.Г. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018, С. 29–32

В ходе работы над статьей использованы материалы, полученные при выполнении научного проекта по Гранту РФФИ: 18-38-10063 –проект организации молодежной научной конференции «Альтернативная энергетика в регионах России».

©, Ильичев В. Г., Зайнутдинова Л.Х., – 2020

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ЭНЕРГОРАЙОНАХ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

Илюшин Павел Владимирович, кандидат технических наук, Петербургский энергетический институт повышения квалификации, 196135, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Авиационная, д. 23, e-mail: ilyushin.pv@mail.ru

Аннотация

Обосновано, что подключение распределенной генерации (РГ) приводит к существенному изменению схемно-режимных условий и может вызвать некорректную работу устройств АЧР в островном режиме работы энергорайона. Выявлены особенности переходных процессов, подлежащих анализу при моделировании режимов, в рамках проекта присоединения объекта РГ к сетям энергорайона. Обоснованы рекомендации по выбору параметров разгрузки

энергорайона по величине и быстродействию при различных величинах дефицита активной мощности. Сформулированы рекомендации по выбору параметров настройки устройств АЧР в целях обеспечения энергобезопасности потребителей в островном режиме энергорайона.

Ключевые слова

Распределенная генерация, энергорайон, островной режим, дефицит активной мощности, автоматическая частотная разгрузка, лавина напряжения, энергобезопасность, быстродействие разгрузки.

APPLICATION AUTOMATIC FREQUENCY LOAD SHEDDING TO ENSURE THE ENERGY SECURITY OF CONSUMERS IN POWER DISTRICTS WITH DISTRIBUTED GENERATION

Pavel Ilyushin, PhD, Petersburg Power Engineering Institute of Professional Development, Aviatsionnaya str., 23, Saint-Petersburg, 196135, Russia.

Annotation

It is proved in paper that the interconnection of distributed generation (DG) leads to a significant changes in schemes and operating conditions and may cause incorrect operation of automatic frequency load shedding devices in island mode of the power district. Features of transient processes to be analyzed in simulating of electrical grid operation under development of DG interconnection project, are revealed. Recommendations on the calculation of values and speed of response parameters of automatic frequency load shedding of power district are substantiated for various values of lack of active power. Recommendations for automatic frequency load shedding devices settings selection in order to ensure the energy security of consumers in island mode of the power district, are formulated.

Keywords

Distributed generation, power district, island mode, lack of active power, automatic frequency load shedding, voltage collapse, energy security, speed of load shedding response.

Интерес к распределенной генерации в России значительный, так как ее строительство позволяет получать более дешевые энергоресурсы для снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности производимой продукции на внешнем и внутреннем рынках.

На объектах РГ часто применяются зарубежные газотурбинные (ГТУ), газопоршневые (ГПУ) и дизельные (ДГУ) генерирующие установки (ГУ). Такой выбор связан с их высоким качеством, лучшими показателями надежности и эффективности, большим ресурсом и межремонтным периодом, а также временем наработки между техническим обслуживанием [1, с. 10].

Ежегодно в России вводятся в эксплуатацию десятки новых объектов РГ, а крупные промышленные предприятия увеличивают долю выработки электроэнергии объектами РГ в балансе собственного электропотребления. В ряде случаев снижение затрат на выработку электрической и тепловой энергии происходит за счет эффективной утилизации вторичных энергоресурсов.

В ЕЭС России наблюдается тенденция к старению генерирующих мощностей на электростанциях и электросетевого оборудования в сетевых компаниях. Это ведет к росту вероятности возникновения аварий в энергосистемах, которые приводят либо к выделению энергорайонов в островной режим работы, либо делают работу электроприемников потребителей невозможной без отделения от энергосистемы. По статистике, более 50 раз в год различные энергорайоны, находящиеся в зоне централизованного электроснабжения, выделяются в островной режим.

Под островным режимом понимается такой режим работы энергорайона с одним или несколькими объектами РГ и нагрузкой, который допустим по всем условиям электроснабжения и электропотребления и возникает в результате отключения линии(-й) электропередачи (ЛЭП), связывающих энергорайон с энергосистемой в результате КЗ или без него [2, с. 14].

В энергорайонах для предотвращения недопустимого снижения частоты установлены устройства автоматической частотной разгрузки (АЧР) [3, с. 12]. В статье проведен анализ схемно-режимных ситуаций и выполнена оценка

эффективности находящихся в эксплуатации устройств АЧР, а также даны рекомендации по выбору параметров их настройки для обеспечения энергобезопасности потребителей в островном режиме.

Особенности переходных процессов в энергорайонах с РГ

Очевидно, что при выделении энергорайона в островной режим, когда ГУ не могут покрыть всю нагрузку, определяются совокупностью двух факторов: дефицитом активной мощности, что приводит к снижению частоты, и дефицитом реактивной мощности – к снижению напряжения. В зависимости от множества факторов, включая состав нагрузки, значительный дефицит активной мощности может спровоцировать лавину напряжения и если она охватит весь энергорайон, то сделает невозможным работу всех потребителей.

До внедрения объектов РГ в энергорайонах с промышленной и непромышленной нагрузкой были характерны следующие условия:

- разрыв связи энергорайона с энергосистемой быстро приводил к глубоким провалам напряжения и штатному функционированию устройств автоматического ввода резервного питания (АВР);

- отключение небольшой части генерации в энергосистеме или ее изолированной части сопровождалось снижением частоты при сохранении напряжения на допустимом уровне и штатной работе устройств АЧР.

Если энергорайон содержит РГ, то при отделении от энергосистемы может иметь место сколь угодно большой дефицит мощности. Поэтому, важно провести анализ качественных отличий переходных процессов от аналогичных, которые были до интеграции РГ в сети энергорайона [4, с. 23]. Эти отличия в основном связаны с тем, что ГУ объектов РГ имеют малые значения механических постоянных инерции T_J , что требует учета двух обстоятельств:

- скорость снижения частоты увеличивается, что может потребовать большего быстрого действия от устройств АЧР;

- при возникновении значительного дефицита активной мощности становится вероятным возникновение лавины напряжения.

Если напряжение проваливается глубоко и быстро, то возникает значительный сброс нагрузки, при котором баланс активной мощности может восстановиться, что приведет к нормализации частоты в энергорайоне. К такому протеканию переходных процессов типовые устройства АЧР не адаптированы. Кроме того, лавина частоты может проходить настолько быстро, что предотвратить ее с помощью устройств АЧР невозможно [5, с. 15].

Рассмотрим энергорайон с объектом РГ (рис. 1), где напряжение $U_{ш}$ не зависит от процессов в энергорайоне.

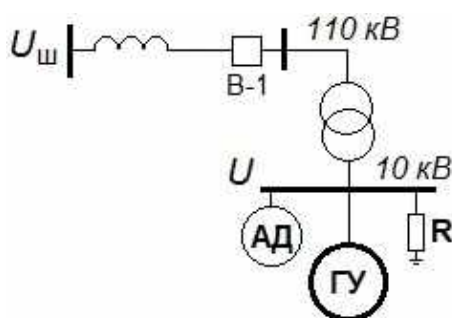


Рис. 1. Упрощенная расчетная схема энергорайона с объектом РГ

В схеме на рис. 1 в исходном режиме доля асинхронных двигателей (АД) в нагрузке варьируется и составляет $d = P_{АД} / P_{н\Sigma}$, %. Коэффициент мощности нагрузки принят равным 0,9. Генерация варьируется – суммарная номинальная мощность задается относительно величины суммарной нагрузки $P_{ном} / P_{н\Sigma}$, %; $T_J = 2$ с; загрузка ГУ в исходном режиме – номинальная, кратковременно располагаемая мощность – 110 %; возбуждение ГУ – независимое, параметры ГУ – как у газопоршневых ГУ GE-Jenbacher $P_{ном} = 2$ МВт. В исходном режиме $Q = 0,5 P_{ном}$. Исходное напряжение на шинах нагрузки – 10,2 кВ.

Расчеты показывают, что основными факторами, определяющими ход переходного процесса при выделении энергорайона с РГ в островной режим, являются величины начального дефицита активной мощности $D_P = 1 - P_{ном} / P_{н\Sigma}$, % и доля АД d , % в суммарной нагрузке. В этих координатах ход переходного процесса, пока не срабатывают устройства РЗ и ПА, распадается на четыре области **A**, **B**, **C**, **D** (рис. 2) [6, с. 27]. Характеристики переходных процессов во

времени для указанных областей представлены на рис. 3а, б, в, г.

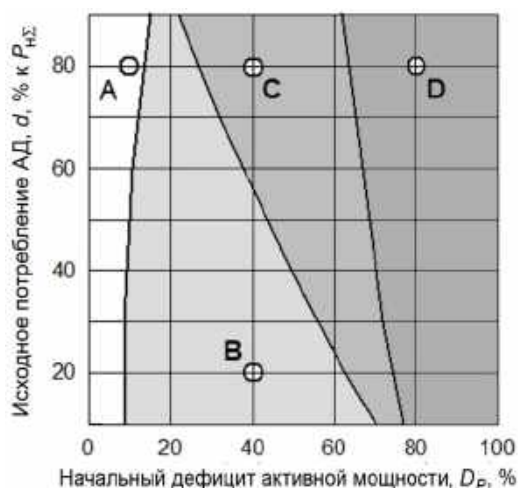


Рис. 2. Особенности переходных процессов при выделении энергорайона с объектом РГ на островной режим работы

В области **A**, как показано на рис. 3а можно увидеть благополучные переходные процессы: в установившихся режимах $U \geq 0,8U_{ном}$, $f \geq 49$ Гц, что обусловлено наличием кратковременных резервов у ГУ (перегрузка привода; форсировка возбуждения) и регулируемыми эффектами нагрузки, линейно зависящими от d (при $d = 0$ регулирующие эффекты нагрузки по напряжению и частоте $K_U \approx 2$, $K_f = 0$; если $d = 100\%$, то $K_U \approx 0$, $K_f \approx 1,8$).

Область **B** (рис. 3б), соответствует условиям, когда ГУ удерживает напряжение выше критического, АД продолжают нормально работать, но так как располагаемая мощность ГУ недостаточна, то частота в энергорайоне снижается; доля АД не велика и спровоцировать лавину напряжения они не могут. Данные схемно-режимные условия являются классическими и именно на них рассчитаны типовые устройства АЧР.

Область **C** (рис. 3в) аналогична области **B**, но доля АД больше, поэтому рост потребления ими реактивной мощности (по мере снижения частоты) приводит к значительному понижению напряжения.

Область **D** (рис. 3г) соответствует значительному начальному дефициту мощности и вызывает быструю лавину напряжения, АД останавливаются. Когда напряжение $\approx 10\%$ от $U_{ном}$ суммарная мощность нагрузки мала и действием

автоматических регуляторов частоты вращения (АРЧВ) ГУ удастся поднять частоту в энергорайоне до номинального значения [7, с. 23].

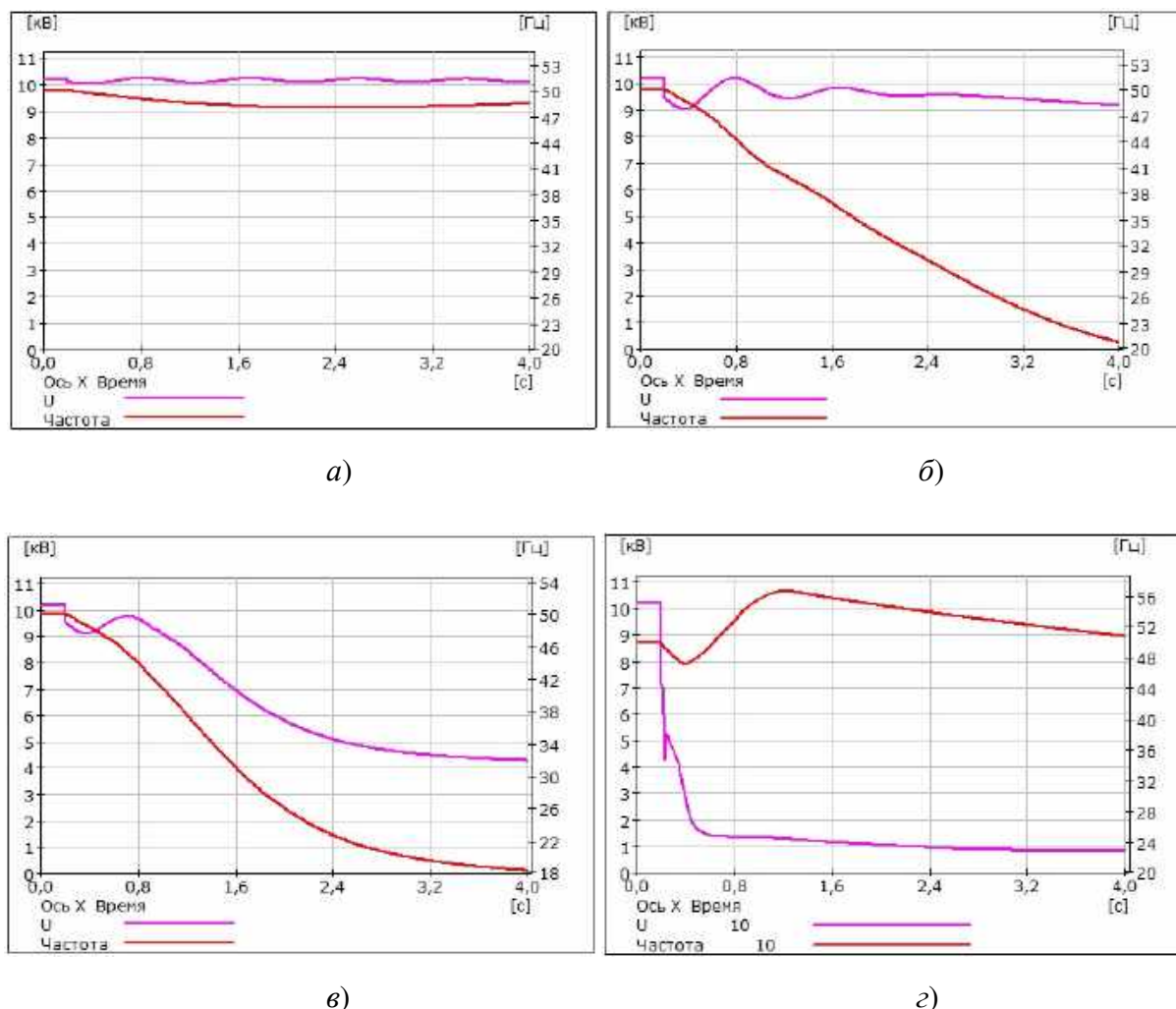


Рис. 3. Переходные процессы при различных величинах дефицитах мощности и доли АД в нагрузке: а – область А, $D_p = 10\%$, $d = 80\%$; б – область В, $D_p = 40\%$, $d = 20\%$; в – область С, $D_p = 40\%$, $d = 80\%$; г – область D, $D_p = 80\%$, $d = 80\%$.

Переходные процессы (рис. 3а, б, в, г) относятся к случаям, когда в начале процесса не происходит значительного провала напряжения. Если же выделение энергорайона в островной режим работы инициируется КЗ, то быстрое торможение АД увеличивает потребление реактивной мощности, что вызывает дальнейшее снижение напряжения по сравнению со случаем без КЗ. В результате снижается потребление активной мощности из-за отключения части электроприемников и частота в нем снижается в меньшей степени.

На рис. 4 показаны результаты расчетов двух переходных процессов в области **C**, отличающиеся тем, что выделение энергорайона в островной режим происходит в результате трехфазного КЗ длительностью 0,18 с (тонкие линии) и в результате отключения ЛЭП по другой причине без КЗ (толстые линии).

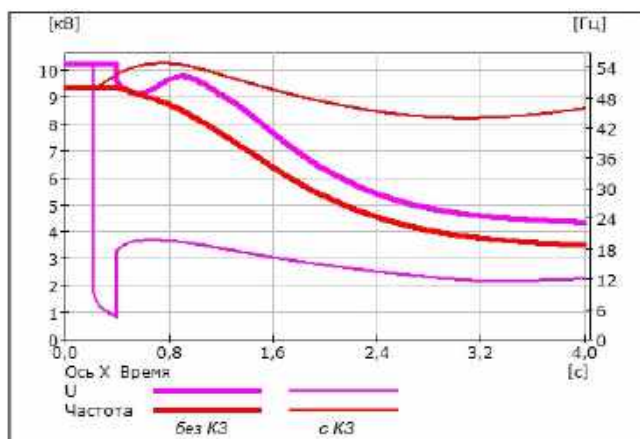


Рис. 4. Сопоставление двух переходных процессов ($D_p = 40\%$, $d = 80\%$) при выделении энергорайона без КЗ и при трехфазном КЗ

Эффект расширения области **D** возникает, если ГУ оснащены системой самовозбуждения, в которой максимально возможная кратность возбуждения уменьшается пропорционально снижению напряжения на выводах ГУ (рис. 5). При выделении энергорайона с объектом РГ без КЗ (толстые линии) процесс почти такой же, как при независимой системе возбуждения ГУ. В случае выделения в результате трехфазного КЗ напряжение через несколько секунд снижается почти до нуля и практически полный сброс нагрузки приводит к повышению частоты. Первый из рассматриваемых процессов (без КЗ) принадлежит области **C**, второй (с КЗ) – области **D** на рис. 2.

Можно сделать вывод, что в области **D**, размеры которой зависят от параметров энергорайона и начального возмущения, типовые устройства АЧР не могут служить основным средством нормализации параметров режима.

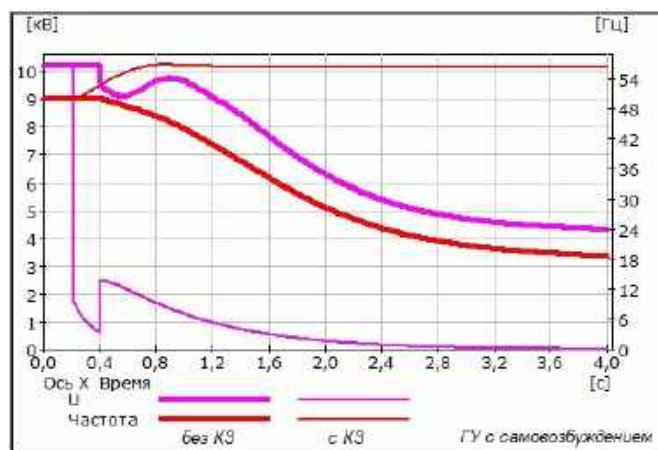


Рис. 5. Сопоставление двух переходных процессов ($D_p = 40 \%$, $d = 80 \%$) для ГУ с самовозбуждением при выделении энергорайона без КЗ и при трехфазном КЗ

Определение необходимых объемов и быстродействия разгрузки

Под временем разгрузки ($T_{ОН}$) понимается промежуток времени от фиксируемых отклонений параметров режима до момента отключения нагрузки (ОН) в виде заранее определенной части электроприемников потребителей. Если параметры режима быстро изменяются в худшую сторону, то чем позже реализуется разгрузка, тем больше должна быть ее величина.

Данная зависимость практически не проявляется в области **B**, а в области **C** проявляется в отдельных схемно-режимных условиях. Это иллюстрирует рис. 6, на котором показаны два процесса выделения энергорайона с РГ в островной режим работы, соответствующие границе области **B** ($D_p = 40 \%$, $d = 55 \%$, объем ОН = 32,5 %), при разном времени реализации разгрузки – $T_{ОН}$. В переходном процессе, показанном жирными линиями, $T_{ОН} = 0,15$ с, а в процессе, показанном тонкими линиями, $T_{ОН} = 3,0$ с. В обоих переходных процессах установившиеся режимы одинаковы: после разгрузки $U = 10,1$ кВ, $f = 49$ Гц.

В области **D**, где переходные процессы развиваются с возникновением лавины напряжения, дефицит мощности велик (более 60 %), а в нагрузке преобладают АД (более 60 %), быстродействие ОН оказывается решающей.

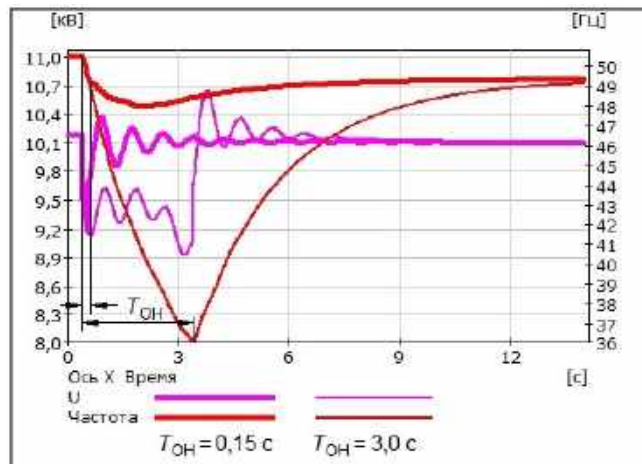


Рис. 6. Переходные процессы при выделении энергорайона в островной режим (область **B**) с объемом ОН = 32,5 % от суммарной нагрузки

На рис. 7 показано, как связаны между собой требования к времени реализации ОН, в выделяемом в островной режим энергорайоне, в трех областях (**B**, **C**, **D**), где необходимо срабатывание устройств АЧР.

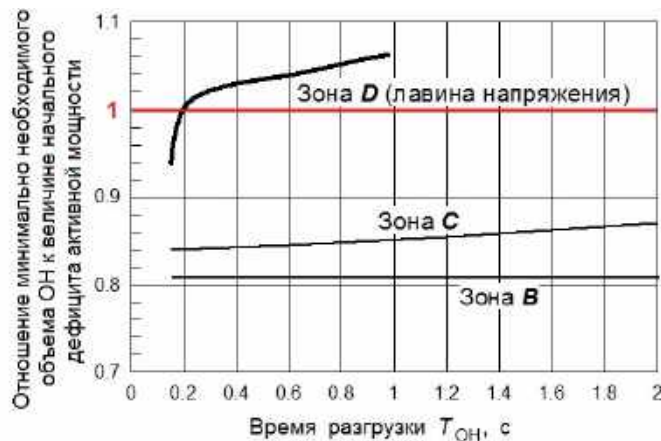


Рис. 7. Параметры ОН при возникновении дефицитов мощности

Из рис. 7 следует, что в случаях, когда лавина напряжения возможна, необходимо обеспечить максимально быструю разгрузку энергорайона, так как скорость, которую обеспечивает АЧР1, как правило, недостаточна [8, с. 25]. Применение дополнительной автоматической разгрузки (ДАР) целесообразно и оправдано. Объем разгрузки действием ДАР должен быть больше, чем величина предаварийного дефицита активной мощности на величину, которую необходимо обосновать расчетами, ориентировочно на 10 %.

Поэтому, при интеграции объекта РГ требуется проведение анализа эффективности работы АЧР в энергорайоне при его выделении в островной режим. По результатам анализа может потребоваться увеличение объемов ОН, заводимых под действие устройств АЧР, а также проведение корректировки их параметров настройки по частоте и времени срабатывания. Это позволят обеспечить достаточность объемов АЧР для нормализации параметров режима в островном режиме работы энергорайона, а также содействовать обеспечению энергобезопасности максимально бóльшей части потребителей.

Выводы

В реальных условиях энергорайоны с одним или несколькими объектами РГ, находящиеся в зоне централизованного электроснабжения, могут выделяться по различным причинам в островной режим работы.

Подключение объектов РГ к распределительным сетям или сетям внутреннего электроснабжения предприятий приводит к существенному изменению схемно-режимных условий и может вызвать некорректную работу устройств АЧР в островном режиме работы энергорайона.

Объем нагрузки, заведенный под действие устройств АЧР, может быть недостаточен для конкретного энергорайона при его выделении в островной режим работы для предотвращения недопустимого снижения частоты и обеспечения энергобезопасности потребителей.

В переходных процессах с угрозой возникновения лавины напряжения, когда дефицит активной мощности велик, а в нагрузке преобладают электродвигатели, время реализации разгрузки является решающим фактором. Быстродействия АЧР1 с равномерным распределением нагрузки по очередям в большинстве случаев недостаточно, целесообразно применение ДАР.

При интеграции объекта РГ целесообразно выполнение моделирования электрических режимов в островном режиме энергорайона для корректного выбора алгоритмов работы и параметров настройки устройств АЧР.

Список литературы

1. Илюшин П.В., Самойленко В.О. Анализ показателей надежности современных объектов распределенной генерации // Промышленная энергетика. 2019. № 1. С. 8-16.
2. Илюшин П.В., Куликов А.Л. Автоматика управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с распределенной генерацией: монография. – Нижний Новгород: НИУ РАНХиГС, 2019. – 364 с.
3. Рабинович Р.С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
4. Илюшин П.В. Анализ влияния распределённой генерации на алгоритмы работы и параметры настройки устройств автоматики энергосистем // Энергетик. 2018. № 7. С. 21-26.
5. Илюшин П.В., Суханов О.А. Структура систем противоаварийного управления распределительными сетями крупных городов // Электротехника. 2014. № 3. С. 14-19.
6. Илюшин П.В. Анализ обоснованности уставок устройств РЗА генерирующих установок с двигателями внутреннего сгорания на объектах распределенной генерации // Релейная защита и автоматизация. 2015. № 3. С. 24-29.
7. Илюшин П.В. Особенности функционирования устройств автоматической частотной разгрузки в энергорайонах с объектами распределенной генерации // Релейная защита и автоматизация. 2018. № 3 (32). С. 20-27.
8. Илюшин П.В. Требования к разгрузке при вынужденном отделении от сети электростанции с собственными нуждами и нагрузкой на напряжении 6-10 кВ // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2011. № 6. С. 23-27.

©, Илюшин П.В., – 2020

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФАКЕЛА В ТОПКЕ КОТЛОАГРЕГАТА
С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА ОТ
СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Лихтер Анатолий Михайлович, доктор технических наук, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: Likhter@bk.ru

Филинков Леонид Игоревич, аспирант, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: Leonid_filinkov@mail.ru

Джамбеков Равиль Гариполаевич, студент, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: ravil-200@mail.ru

Аннотация

IT-технологии находят все большее применение на предприятиях промышленности и энергетики. В статье представлены результаты применения библиотеки OpenCV при управлении режимами горения топлива в котлоагрегатах с целью снижения выбросов оксидов азота.

Ключевые слова

котлоагрегат, факел, оксиды азота, пороговая обработка изображений, OpenCV, RGB, HSV, Image Processing.

USING OF MACHINE LEARNING METHODS TO DETERMINE THE PARAMETERS OF THE TORCH IN THE BOILER UNIT IN ORDER TO REDUCE EMISSIONS OF NITROGEN OXIDES FROM STATIONARY SOURCES

Likhter Anatoly Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences, Astrakhan State University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishcheva st., 20a, Likhter@bk.ru

Filinkov Leonid Igorevich, graduate student, Astrakhan State University, 414056, Russia, Astrakhan, ul. Tatishcheva, 20a, e-mail: Leonid_filinkov@mail.ru

Dzhambekov Ravil Garipolaevich, student, Astrakhan State University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishcheva st., 20a, e-mail: ravil-200@mail.ru

Abstract

IT technologies are increasingly used in industry and energy. The article presents the results of using the OpenCV library to control the combustion of fuel in boilers in order to reduce nitrogen oxide emissions.

Keywords

boiler unit, torch, nitrogen oxides, threshold image processing, OpenCV, RGB, HSV, Image Processing.

Объем выбросов в атмосферу оксидов азота от котельных определяется, в основном, режимом горения в котлоагрегате, поэтому контроль режима горения на стационарных источниках – важная производственная задача. Режим горения неразрывно связан с параметрами факела (коэффициент избытка воздуха, угол раскрытия факела, величина зоны воспламенения) [1]. Перспективным направлением в мониторинге этих параметров считается такой современный метод, как машинное обучение, одним из которых является Image Processing (от англ. цифровая обработка изображений).

В данной статье предложены алгоритмы, реализующие цифровую обработку изображений пламени в режиме реального времени, что позволит применить их на стационарных источниках, сжигающих углеводородное

топливо, снизив их негативное экологическое воздействие на окружающую среду. Для получения фотографий факела вебкамера (в нашем случае – Raspberри Пи) располагается на смотровом лючке котлоагрегата на боковой к факелу стороне топки (рис.1).

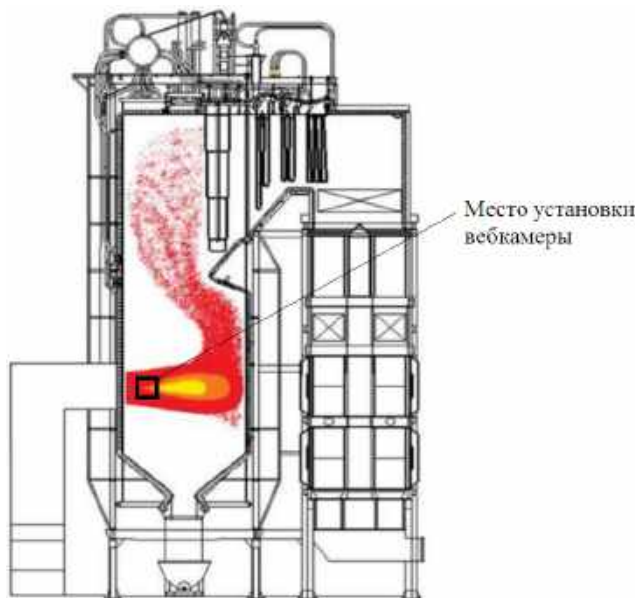


Рис. 1 Место установки вебкамеры

На рис. 2 представлен листинг программы на языке Python, с помощью которой вебкамера делает фотоснимки с заданной частотой (в конкретном примере – каждые 3 сек).

```
Вебкамера Raspberry Pi.py - C:/Users/леонид/AppData/Local/Programs/Python/Python38-32/Вебка...
File Edit Format Run Options Window Help
from picamera import *
from time import *
a=PiCamera()
for i in range(1,100000):
    a.start_preview()
    sleep(3)
    a.capture(f"/home/pi/Leonid_Filinkov/Flame_image_1,1.jpg")
a.stop_preview()
Ln:9 Col:0
```

Рис. 2. Листинг программы по созданию фотоснимков для вебкамеры Raspberry Pi

Пример одной из типичных фотографий факела, снятых с интервалом в 3 секунды, представлен на рис.3.



Рис. 3. Вид пламени из бокового смотрового лючка котла ТПЕ-430 Астраханской ТЭЦ-2

Для обработки полученных изображений факела была использована библиотека OpenCV. Алгоритм обработки изображений выглядел следующим образом:

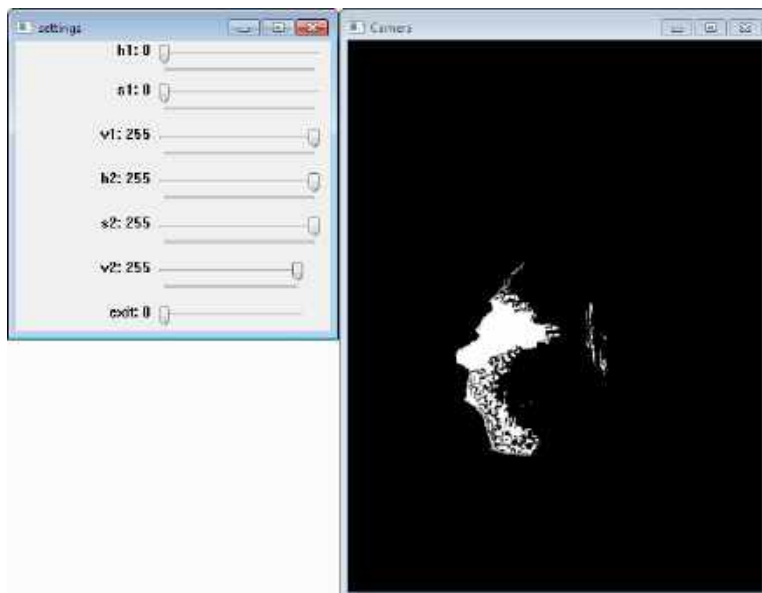
1. Для настройки изображения использовалось пороговое преобразование, которое выделяло точки с различной светимостью при сравнении текущих (локальных) значений $f(x, y, z)$, где x - цветовой тон, y - насыщенность и z – яркость, с пороговыми значениями параметров фильтра $V(x_{п}, y_{п}, z_{п})$. В результате, если задать некоторые пороговые значения трех параметров фильтра $V(x_{п}, y_{п}, z_{п})$, то точки разделяются по следующему критерию:

$$g(x, y, z) = \begin{cases} 1, & \text{при } f(x, y, z) \geq V(x_{п}, y_{п}, z_{п}), \\ 0, & \text{при } f(x, y, z) < V. \end{cases}$$

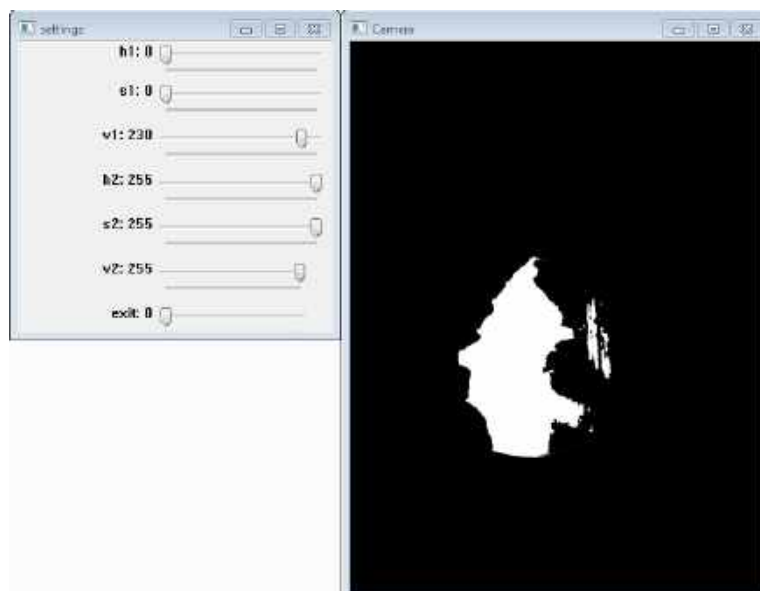
В результате, пиксели, значения которых после преобразования стали равны 1, были отнесены к точкам объекта, а остальные - к точкам фона.

2. Поиск пороговых значений трех параметров V может осуществляться посредством визуального просмотра гистограммы изображения, однако ввиду простоты картинки (наличие, в основном, двух цветов) нами был применен метод проб и ошибок.

На рисунке 4а, б приведены изображения двух картинок пламени, полученных после обработки одной и той же фотографии при различных пороговых значениях параметров $V(x_{п}, y_{п}, z_{п})$.



а)



б)

Рис. 4 а,б. Изображения фотографии факела при различных настройках фильтров V

3. Цветовое пространство фотографии, сделанное вебкамерой, представлено форматом RGB. В модели RGB (от англ. red – красный, green – зелёный, blue – голубой) все цвета получаются путём смешения трёх базовых (красного, зелёного и синего) цветов в различных пропорциях. Для цели обработки изображения нам более подходит модель HSV. Она получила название по первым буквам английских слов: цветовой тон (hue), насыщенность

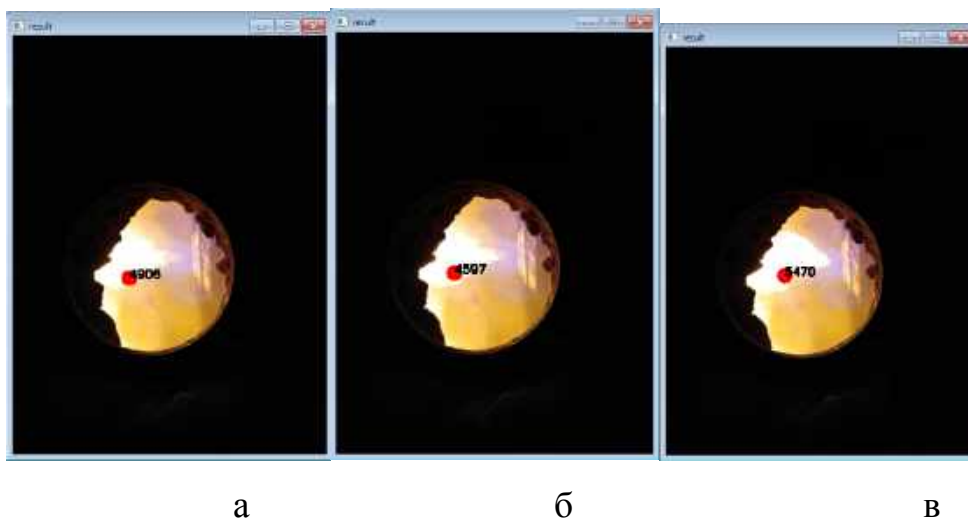


Рис. 6. К нахождению площади факела, а также центра светового пятна

5. Для удобства отображения информации зависимость площади факела от времени представлялась в виде гистограммы (рис. 7).

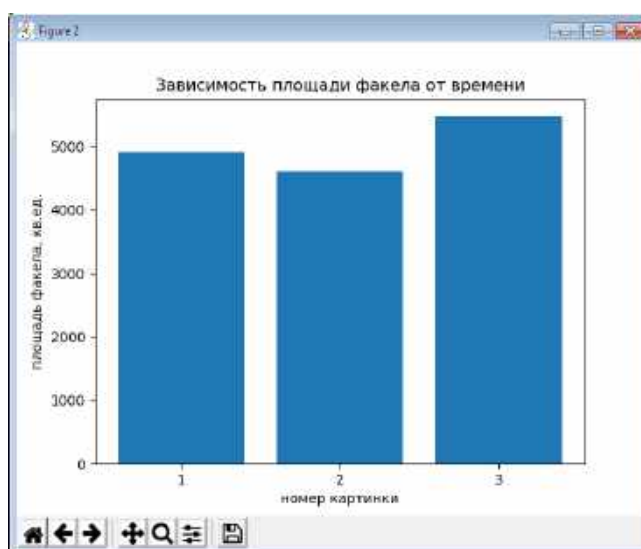


Рис. 7. Гистограмма изменения площади факела в зависимости от номера картинки

В таблице 1 приведены расчетные значения площадей и координат центра факела в соответствующие моменты времени.

Таблица 1

№ изображения	Площадь	Координаты
1	4906	148-308
2	4597	149-304
3	5470	154-298

Согласно исследованиям ученых, геометрические и оптические параметры факела связаны с выбросом оксидов азота NO_x [2], причем для каждого котлоагрегата в составе стационарных источников данные зависимости индивидуальны. С использованием известных программных продуктов OpenCV на языке Python, а также модифицированной цветовой модели представления изображения RGB в HSV были исследованы фотографии факела котлоагрегата ТПЕ-430 Астраханской ТЭЦ-2 и доказана возможность применения метода цифровой обработки Image Processing для снижения объемов выбросов оксидов азота при управлении процессом сгорания топлива.

Список литературы

1. С.Е. Беликов, И.М. Ибрагимов. Методология интеллектуального мониторинга пламени в горелках котельных установок // Энергосбережение и водоподготовка, 2005, №4 (36).

2. Pourhoseini, S.H., Asadi, R., An experimental study on thermal and radiative characteristics of natural gas flame in different equivalence ratios by chemiluminescence and IR photography methods, Journal of Natural Gas Science & Engineering (2017), doi: 10.1016/j.jngse.2017.02.016.

©, Лихтер А.М., Филинков Л.И., Джамбеков Р.Г., – 2020

**ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ
И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В
АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ**

Нефедова Людмила Вениаминовна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова. 119991, Россия, г. Москва, Ленинские Горы, д.1, e-mail: nefludmila@mail.ru

Соловьев Дмитрий Александрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, 36, e-mail: solovev@ocean.ru

Аннотация

Рассмотрены возможные климатические и природные изменения в Арктической Зоне (АЗ) России, обусловленные глобальными климатическими трансформациями. Проведен анализ положительных и отрицательных факторов их влияния на энергетический комплекс региона. Сформулированы необходимые меры для создания условий энергетической безопасности в АЗ РФ.

Ключевые слова

Арктическая Зона РФ, возобновляемые источники энергии, природно-климатические изменения, распределенная энергетика, энергетическая безопасность.

**NATURAL CLIMATE CHANGE AND ENERGY SECURITY
IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION**

Nefedova L.V. – PhD, senior researcher, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Leninskie gory, 1, e-mail: nefludmila@mail.ru

Solovyev D. A. – PhD, senior researcher, Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Moscow, Nakhimovsky Prospekt, 36 e-mail: solovev@ocean.ru

Abstract

Possible climatic and natural changes in the Arctic Zone (AZ) of Russia due to global climate transformations are considered. The analysis of positive and negative factors of their influence on the energy complex of the region is carried out. The necessary measures to create conditions for energy security in the AZ of the Russian Federation are formulated.

Keywords

Arctic Zone of the Russian Federation, renewable energy sources, climatic changes, distributed energy, energy security.

Глобальные климатические трансформации происходящие последние десятилетия находят свои проявления и в арктическом регионе. Рост температуры и увеличение количества осадков дают основание ряду исследователей прогнозировать глубокие изменения климатических и природных условий в Арктике [1-3]. По данным Росгидромета, за последние 40 лет среднегодовая температура в Арктической зоне на территории России увеличилась в среднем на 2°C, а зимы стали теплее на 3–4°C, в остальные сезоны температура возросла на 1–1,5°C. Только за последние 10 лет в Арктической зоне России рост среднегодовой температуры составил – до 0,8 °C [4]. Наиболее значимыми природными изменениями для состояния энергообеспечения в регионе, связанными с повышением температуры атмосферы, являются интенсификация процессов деградации в многолетней мерзлоты, изменение ветрового режима и режима осадков, повышение уровня океана, вызывающее смещения местоположения уреза морских вод, усиление абразивных процессов в береговой зоне, а также – смещение границ природных зон в северном направлении [5, 6].

С целью анализа обеспечения энергетической безопасности в Российской Арктике авторами был проведен анализ перспективного воздействия возможных климатических изменений на развитие энергокомплекса региона.

Воздействие климатических изменений. Для АЭС в АЗ РФ наибольшую угрозу, принимая во внимание их современную локализацию в Мурманской области и на Чукотке, представляет увеличение вероятности катастрофических штормов и ураганов, которые могут вызвать аварию с утечкой топлива [7]. Для развития гидроэнергетики, в том числе малой, потепление климата в АЗ РФ, которое приведет к повышению объемов стока и снижению коэффициента вариации стока, будет иметь положительный эффект. Увеличение стока малых рек и продолжительности периода без ледостава позволит развивать гидроэнергетику не только в Мурманской области, где в настоящее время расположены малые ГЭС, но и включать гидроэнергетику в энергокомплексы более восточных районов АЗ РФ. Частые повышения температуры воздуха в зимний период и увеличение числа случаев выпадения жидких осадков, в том числе переохлажденного дождя, приведут к росту рисков опасного льдообразования и аварий на ЛЭП (разрыв проводов и разрушение опор). Аварии ЛЭП в Арктической Зоне особенно опасны тем, что от энергоснабжения отключаются целые районы, и в том числе компрессорные станции на магистральных трубопроводах, многие из которых не имеют автономного энергоснабжения [7]. Требования повышения безопасности транспортировки электроэнергии, обусловленные возрастанием экстремальных значений атмосферных нагрузок, будут иметь следствием удорожание строительства и обслуживания ЛЭП.

Влияние природных изменений

Изменение сроков и процессов замерзания и вскрытия рек и водоемов приведет к сокращению путей и периода доставки топлива (мазут, солярка, уголь) в труднодоступные районы по зимним автомобильным трассам, проложенным по замерзшим руслам. Изменение климата вызывает увеличение температуры многолетнемерзлых грунтов (ММГ), уменьшение их прочностных

свойств и интенсификацию ряда деструктивных геокриологических процессов, таких как термокарст, солифлюкция, неравномерные просадки почвы. Это приведет к повышению рисков при эксплуатации зданий электростанций, котельных, систем теплоснабжения промышленных и коммунальных зданий вплоть до их разрушения вследствие подвижек грунта в зонах таяния вечной мерзлоты. Повышение уровня безопасности строительства объектов энергетической инфраструктуры на многолетне-мерзлотных грунтах (ММГ) при климатических изменениях связано с необходимостью повышения коэффициента запаса прочности (увеличение числа свай фундаментов или удлинение их части, погруженной в мерзлоту), что будет приводить к значительному удорожанию строительства крупных энергообъектов (АЭС, ТЭС, ГЭС) [8].

Для обеспечения энергобезопасности в Российской Арктике в районах децентрализованного энергоснабжения наиболее эффективным является развитие распределенной энергетики с заменой устаревших дизель-генераторов на дизель-генераторы современного типа и газотурбинные агрегаты, также создание установок на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Соответствие принципам обеспечения энергетической безопасности при использовании ВИЭ в Арктическом регионе требует неперенного наличия дублирующих энерго мощностей и систем накопителей энергии. Для арктических территорий необходимо разрабатывать многофакторные модели, включающие все возможные типы энергообъектов – с параметрами минимальных рисков выдачи гарантированной мощности и минимальных экологических рисков, как в штатном режиме комплекса, так и при аварийных ситуациях, учитывая при этом и стоимостной фактор [9]. При формировании системы распределенной энергетики в АЗРФ представляется целесообразным создание локальных сетей (MicroGrid) в местах компактного расселения и отдельных установок на углеводородном топливе и ВИЭ для изолированных потребителей. Интеллектуальные локальные сети будут обеспечивать улучшение гарантированного качества электроэнергии путем поддержания

постоянного напряжения и сокращения резких перепадов напряжения в сети. Использование MicroGrid как одного из элементов цифровой трансформации энергетики обеспечит ряд преимуществ: минимизация эксплуатации дизель-генераторов, экономия топлива, снижение выбросов CO₂, стабилизация сети с колебаниями мощности, продление срока жизни аккумуляторных батарей [10].

Таким образом, для обеспечения энергобезопасности в АЗ РФ в связи с климатическими изменениями необходимы следующие меры:

1. Совершенствование современных систем контроля динамики гидрометеорологических характеристик с расширением сети станций ГМС.

2. Создание эффективных локальных систем гидрометеорологического обеспечения и контроля геокриологической ситуации.

3. Разработка и внедрение инновационных технологий, технических норм и регламентов при строительстве сооружений энергетической инфраструктуры производства тепла и электроэнергии с учетом изменений климатических условий.

4. Регулярное проведение уточняющих оценок геокриологического риска в отношении имеющихся на территории Арктического региона объектов энергетической инфраструктуры. В случае высокой степени угроз разрушения - реконструкция или перенос энергообъектов из опасной зоны.

5. Формирование системы распределенной энергетики в АЗРФ с созданием локальных сетей (MicroGrid) в местах компактного расселения и отдельных установок на углеводородном топливе и установок на ВИЭ, адаптированных к экстремальным условиям Арктики для изолированных потребителей. Расширение использования оборудования на ВИЭ может стать эффективным средством решения многих локальных задач электроснабжения в АЗРФ и обеспечения региональной энергобезопасности.

Список литературы

1. Morison J, Aagaard K and Steele M Recent Environmental Changes in the Arctic: A Review //Arctic. — 2000. — V3(4). — pp 359-371.
2. Jungsberg L., Turunen E. et al. Atlas of population , society and economy in the Arctic. Nordregio, 2019. 80p.
3. Surkova G V and Krylov A A 2018 Changes in average and extreme wind speeds in the Arctic at the end of the 21st century //Arct. Antarct. — 2018. — v. 3. — pp. 26–36.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год — Москва: Росгидромет, 2018.
5. Катцов В. М., Порфирьев Б. Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики// Арктика экология и экономика. — 2012. — №2. — С. 66–79.
6. Порфирьев Б. Н., Терентьев Н. Е. Эколого-климатические риски социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации // Экологический вестник России. — 2016. — №1 — С.44–51.
7. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу (резюме доклада) Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова, 2011, С.7–59.
8. Анисимов О. А., Стрелецкий Д. А. Геокриологические риски при таянии многолетнемерзлых грунтов // Арктика XXI век. Естественные науки. — 2015. — №2. — С. 60–74.
9. Нефедова Л. В., Соловьев А. А. Новые вызовы и риски на пути развития распределенной энергогенерации в Арктическом регионе России //Энергетическая политика — 2018. — № 4. — С. 99–108.
10. Morgunova M.O., Solovyev D.A. Challenges to overcome: energy supply for remote consumers in the Russian Arctic // J. Phys. Conf. Ser. — 2017. — Т. 891. — № 1. — pp. 1–6.

Результаты исследований получены в рамках госзадания АААА-А16-116032810088-8 и при финансовой поддержке РФФИ (научный проект 18-05-60252).

©, Нефедова Л.В., Соловьев Д.А., – 2020

УДК 551.50+551.51+556

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА В ИЗУЧЕНИИ КЛИМАТА АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Соловьев Дмитрий Александрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, 36, e-mail: solovev@ocean.ru

Нефедова Людмила Вениаминовна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова. 119991, Россия, г. Москва, Ленинские Горы, д.1, e-mail: nefludmila@mail.ru

Соловьев Александр Алексеевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова. 119991, Россия, г. Москва, Ленинские Горы, д.1, e-mail: asolovev@geogr.msu.ru

Аннотация

Методом вейвлет-анализа исследованы климатические колебания Атлантической мультидекадной осцилляции, оказывающие значительное влияние на климат Арктического региона.

Ключевые слова

Арктика, вейвлет-анализ, природно-климатические изменения, Атлантическая мультидекадная осцилляция.

USE OF WAVELET ANALYSIS FOR STUDYING THE ARCTIC CLIMATE

Solovyev D. A. – PhD, senior researcher, Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Moscow, Nakhimovsky Prospekt, 36 e-mail: solovev@ocean.ru

Nefedova L.V. – PhD, senior researcher, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Leninskie gory, 1, e-mail: nefludmila@mail.ru

Solovyev A.A. – PhD, senior researcher, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Leninskie gory, 1, e-mail: asolovev@geogr.msu.ru

Abstract

The climate fluctuations of the Atlantic multi-decadal oscillation, indicating the most significant influence on the climate of the Arctic region, were studied by the method of wavelet analysis.

Keywords

Arctic, wavelet analysis, natural and climate changes, Atlantic multi-decadal oscillation.

Климатическая изменчивость Арктики в значительной степени определяется региональными и локальными механизмами, многие из которых могут играть определяющую роль. Наличие таких механизмов связано с очень большим количеством обратных связей, регулирующих климатические процессы в Арктике. По своей сути климатические колебания представляют собой объединение различных деталей в обобщенное полное описание атмосферы или океана, которое может в дальнейшем использоваться, для характеристики факторов, которые воздействуют на глобальную систему климата Арктического региона. В циркуляции Северной Атлантики (СА) хорошо выделяются естественные долгопериодные квазициклические колебания с типичным периодом 50-70 лет, которые получили название Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО) [1,2,6]. Временной ход индекса АМО

рассчитывается как аномалия температуры поверхности океана (ТПО), осредненной по акватории СА от экватора до 70° N. Индекс АМО представляет собой один из ключевых региональных механизмов, проявляющийся в ряде климатических характеристик системы океан–атмосфера и оказывающий воздействие на формирование долговременных климатических изменений в Арктике.

Для спектрального анализа временных рядов АМО использовались два метода: метод скользящих средних (сглаживания); метод вейвлет – анализа.

Для оценки состояния вод СА в различные фазы АМО использовались глобальные поля температуры и солёности по объективным реанализам.

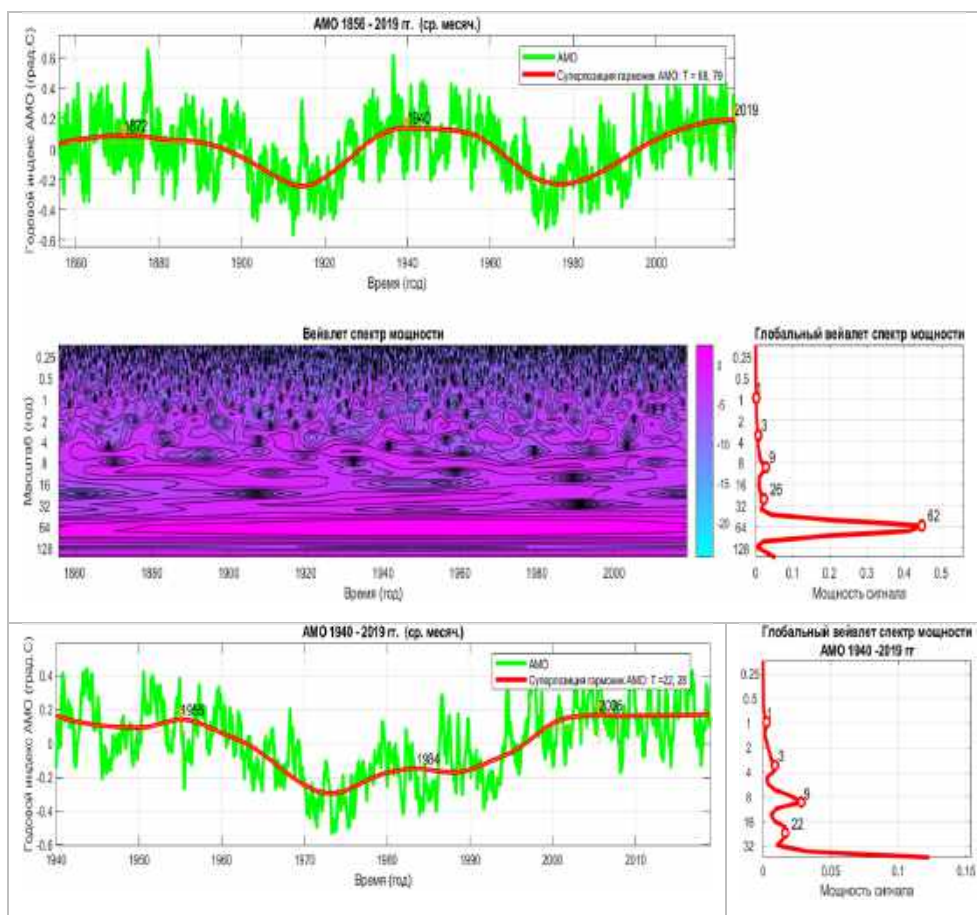


Рис. 1. Результаты спектрального анализа индекса АМО (1856-2019 гг.) и (1940 -2019 гг.)

Спектральный анализ индекса АМО (1856-2019) позволил оценить не только естественные долгопериодные квазициклические колебания с типичным периодом 50—70 лет, но более мелкие гармоники с характерными периодами T

= 1,3,9,26 лет. Оценка суперпозиции гармоник методом сглаживания ($s=0.1$) дает следующие результаты: $T = 6, 8, 10, 11, 18, 21$ лет. Наиболее часто повторяющаяся гармоника – 9 лет. Мультидекадные (здесь под декадой понимается 9- 10-ти летний период) изменения климата могут быть связаны с долгопериодными собственными изменениями в термохалинной циркуляции Северной Атлантики (область Атлантического океана от экватора до 70° с.ш.). Для изучения состояния вод и циркуляции Северной Атлантики в различные фазы индекса использовались данные наблюдений EN4 об исторических изменениях температуры и солёности во всем Мировом океане, подготовленными в MetOffice, Великобритания [7]. По этим данным были рассчитаны средние климатические состояния температуры и солёности для основных «теплых» периодов индекса (пики 1872, 1940, 2019), когда индекс больше 0.1°C и одного «холодного» периода (пики 1914, 1984), когда индекс АМО меньше -0.1°C (см. рис. 1). Построенные разностные композиты температуры и солёности в тёплый и холодный периоды индекса (например, 2019-1984) в верхнем 1-км слое Северной Атлантики показывают, что в этом слое отмечаются процессы потепления и осолонения (см. рис.2), а ниже 1-км слоя – похолодание и распреснение.

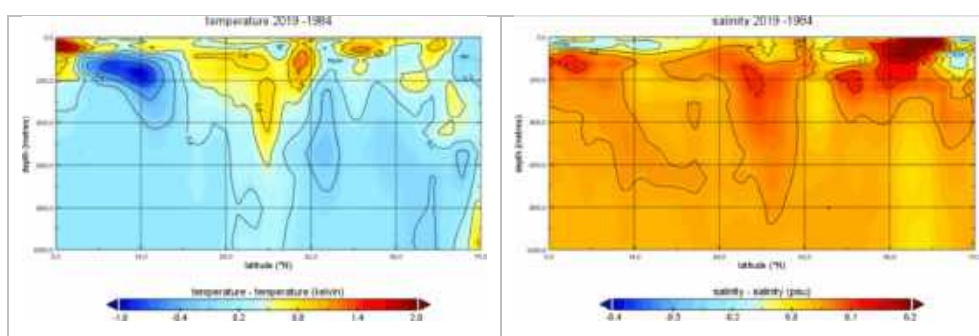


Рис. 2. Разностные композиты (2019-1984 гг.) температуры ($^\circ\text{C}$, сверху), солёности (‰ , снизу) в координатах широта-глубина (м)

Спектральный анализ индекса АМО (1856-2019) позволил оценить не только естественные долгопериодные квазициклические колебания с типичным периодом 50-70 лет, но более мелкие гармоники с характерными периодами $T =$

1,3,9,26 лет и выявил доминирующие мультидекадные (9- 10-ти летний период) составляющие гармоник.

Выполненные оценки показали, что климатические изменения, вызываемые собственными изменениями в термохалинной циркуляции Северной Атлантики, могут иметь существенное значение в формировании климата Арктического региона, которое сравнимо с современным долгопериодным трендом потепления климата Земли, в свою очередь вызванным внешними, в основном, антропогенными факторами. Термохалинная циркуляция в Северной Атлантике способствует переносу поверхностных вод с юга на север, которые на широте 60° с.ш. опускаются и на глубину и движутся далее обратно на юг. При этом верхний слой теплой воды отдаёт свое тепло атмосфере, оказывая воздействие на климат региона.

Актуальность работы определяется тем, что мониторинг, диагностика и физическое описание основных региональных механизмов климатической изменчивости (климатических циклов) в высоких широтах Северного полушария позволит минимизировать технологические и экологические риски, повысить эффективность и безопасность производственных процессов.

Список литературы

1. Gulev S.K., Latif M. The origins of a climate oscillation // Nature. 2015. Т. 521. С. 428–430.
2. Gladyshev S. V., Gladyshev V. S., Sokov A.V. et al. Average annual structure and transport of waters eastward of Greenland by the system of western boundary currents. 2017. Т. 473, № 1. С. 313–317.
3. Good S.A., Martin M.J., Rayner N.A. EN4: Quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates // J. Geophys. Res. Ocean. Wiley Online Library, 2013. Т. 118, № 12. С. 6704–6716.

4. Locarnini R.A., Mishonov A.V., Antonov J.I. et al. World ocean atlas 2013. Volume 1, Temperature. 2013.

5. Zweng M.M., Reagan, J.R., Antonov J.I. et al. World ocean atlas 2013. volume 2, Salinity. 2013.

6. Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия // М. Физматлит. 2013. Т. 271.

7. Met Office Hadley Centre observations datasets [Электронный ресурс] // <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/en4/download-en4-2-1.html>. 2020.

Результаты исследований получены в рамках госзадания АААА-А16-116032810088-8 и при финансовой поддержке РФФИ (научный проект 18-05-60252).

©, Соловьев Д.А., Нефедова Л.В., Соловьев А.А., – 2020

УДК 620.9; 620.92

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ЭНЕРГОУСТАНОВОК ВИЭ НА

ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОРАЙОНОВ

Тягунов Михаил Георгиевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: mtyagunov@mail.ru

Шевердиев Ражидин Пирвеледович, магистрант, e-mail: razhidin.sheverdiev.96@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены технические требования, предъявляемые установками на основе возобновляемых источников энергии к эксплуатационным характеристикам накопителей энергии по объемам запасаемой энергии, режимам

приема и выдачи мощности на разных интервалах времени с целью гарантированного обеспечения энергией потребителей изолированного энергорайона. Представлены математические модели режимов работы установок в составе гибридного энергокомплекса, учитывающие ресурсные, технические и технологические особенности их функционирования в децентрализованных системах энергоснабжения. На основе предложенной модели разработана 3Д модель гибридного энергокомплекса, позволяющая исследовать его рабочие режимы в реальных условиях эксплуатации. Предложенные методики могут применяться при решении проектных задач по обоснованию параметров систем децентрализованного энергоснабжения потребителей в изолированных и труднодоступных энергорайонах.

Ключевые слова

гибридный энергокомплекс, математическая модель, возобновляемые источники энергии, изолированные энергосистемы, ветроэнергетическая установка, фотоэлектрическая установка, гидроэнергетическая установка, распределенная энергетика, 3д модель, накопители энергии, водородная энергетика, суперконденсатор

INFLUENCE OF RES MODE POWER INSTALLATIONS ON THE ENERGY SAFETY OF ISOLATED ENERGY DISTRICTS

Tyagunov Mikhail Georgievich, D.Sc.Tech., Professor of the Department of Hydropower and Renewable Energy Sources at the National Research University MPEI, Moscow, 111250, 14 Krasnokazarmennaya St ,e-mail: mtyagunov@mail.ru

Sheverdiev Razhidin Pirveledovich, student of the National Research University MPEI, e-mail: razhidin.sheverdiev.96@mail.ru

Annotation

The article discusses the technical requirements imposed by installations based on renewable energy sources for the operational characteristics of energy storage in terms of the amount of stored energy, the modes of receiving and delivering power at

different time intervals in order to guarantee the supply of energy to consumers of an isolated energy district.

Mathematical models of the operating modes of plants as part of a hybrid energy complex are presented, taking into account the resource, technical and technological features of their functioning in decentralized energy supply systems. Based on the proposed model, a 3D model of a hybrid energy complex has been developed, which allows one to study its operating modes in real operating conditions. The proposed methods can be used in solving design problems to justify the parameters of decentralized energy supply systems for consumers in isolated and inaccessible energy areas.

Keywords

hybrid power complex, mathematical model, renewable energy sources, isolated power systems, wind power installation, photovoltaic installation, hydropower installation, distributed energy, 3D model, energy storage, hydrogen energy, supercapacitor

1. Введение

Существующие оценки использования энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в единой энергетической системе России, за исключением крупных ГЭС, показывают их малую конкурентоспособность по сравнению с крупными электростанциями на ископаемых видах энергоресурсов. С одной стороны, это связано с малой мощностью и высокой стоимостью производимой электроэнергии на наиболее распространенных солнечных (СЭС) и ветровых (ВЭС) электростанциях по сравнению с крупными электростанциями, работающими в ЕЭС России. С другой стороны, включение СЭС и ВЭС в ЕЭС России связано с необходимостью обеспечения гарантии энергоснабжения, несмотря на нестабильность прихода первичного ресурса этих станций [1, 3, 5, 7, 10].

Использование ВИЭ в системах распределенной генерации, прежде всего в изолированных и удаленных энергорайонах, которые составляют примерно 2/3 территории страны, привлекательно из-за высокой себестоимости(в некоторых

случаях до 70 руб./кВт·ч) энергии, вырабатываемой 900 дизельными электростанциями (ДЭС) с общей выработкой 2,54 млрд. кВт·ч в год, определяющейся высокой стоимостью доставки в эти районы топлива; высокого удельного расхода топлива (до 850 г/кВт·ч) на ДЭС; значительного ущерба окружающей среде выбросами продуктов сгорания дизельного топлива и засорения ее использованной тарой от дизтоплива [1, 3, 4].

Таким образом, уменьшение объема потребления дальнепривозного топлива в децентрализованных зонах является важной социальной, экономической и экологической задачей. Однако и потребителям изолированных районов нужно обеспечить гарантированное электроснабжение, чего можно достичь либо использованием гарантирующих источников энергии – тех же ДЭС – или включением в состав электростанций на основе ВИЭ накопителей энергии [6, 8, 16, 19, 20].

Исследование возможности использования накопителей различного типа ведется во всех странах, так или иначе развивающих энергетику ВИЭ и этой тематике посвящена большая библиография [например, 6, 13–15, 18]. Однако далеко не все исследования направлены на изучение и создание накопителей с вполне определенными свойствами, которые диктуются режимными особенностями различных типов энергетических установок на основе ВИЭ, особенно СЭС и ВЭС. Это является необходимым условием разработки эффективных систем накопления энергии для установок с ВИЭ, обеспечивающих повышение их надежности и технико-экономической эффективности.

2. Особенности режимов работы установок ВИЭ в изолированных энергорайонах

Основными недостатками ВИЭ являются малая плотность энергетического потока, и отсутствие гарантированной мощности некоторых установок ВИЭ, т.е. мощности, которая с гарантией 95 % и выше может быть доставлена потребителю [7]. Эти недостатки связаны с непостоянством во

времени таких источников энергии, как солнечное излучение, ветер, сток малых рек, тепло окружающей среды. Наиболее волатильными по выдаваемой мощности установками ВИЭ являются фотоэлектрические (ФЭУ) и ветроэнергетические установки (ВЭУ).

На рис. 1 приведены мгновенные значения солнечной радиации и мощности ФЭУ, снятые 14.07.2019 года в г. Новочебоксарск [2]. Анализ рисунка показывает, что значение солнечной радиации стохастически изменяется по времени и в широком диапазоне даже на коротких интервалах времени. Изменчивость прихода солнечной радиации связана с ее зависимостью от климатических и географических условий и, соответственно, приводит к нестабильности вырабатываемой ФЭУ электрической энергии.



Рис. 1. Мгновенные значения солнечной радиации и мощности ФЭУ

Нестабильность вырабатываемой ФЭУ электрической энергии связана с временной изменчивостью прихода солнечной радиации, рассеянностью, низкой плотностью и зависимостью от климатических и географических условий.

Самым непостоянным из всех ВИЭ видом энергии является ветер. Так как вырабатываемая ВЭУ мощность пропорциональна кубу скорости ветра, а скорость ветра стохастически изменяется во времени, то соответственно изменяется и мощность ВЭУ. Например, выходная мощности ВЭУ на острове

Попова, как показывает анализ реальных данных, в течение часа может колебаться от 0 до 48 % установленной мощности ВЭУ. Это значит, что в изолированных энергосистемах ВЭУ не могут обеспечить бесперебойное – с надежностью 95 % и выше – энергоснабжение потребителя [12].

Одним из способов создания у энергоустановок на основе ВИЭ гарантированной мощности, является их включение в гибридные энергокомплексы (ГЭК) совместно с источниками мощности гарантированного энергоснабжения, например, ДЭС и (или) накопителями энергии.

Проблемы статической устойчивости систем энергоснабжения с ВИЭ вызывают необходимость установления технических требований к эксплуатационным характеристикам систем накопления энергии по приему и выдаче мощности для разных интервалов времени. Технические требования, предъявляемые установками на основе ВИЭ к эксплуатационным характеристикам накопителей энергии по объемам запасаемой энергии, режимам приема и выдачи мощности на разных временных интервала определены ранее в работе [9].

3. Структура ГЭК

На рис. 2 представлена структурная схема предлагаемого ГЭК гарантированного энергоснабжения, которая состоит из разнотипных источников энергии, как традиционных, так и возобновляемых, и накопителей энергии: дизель–генераторная установка (ДГУ), ФЭУ, ВЭУ, гидроэнергетическая установка (ГЭУ), преобразователь энергии (ЭК), солнечная система теплоснабжения (ССТ), накопитель электрической энергии (НЭЭ), накопитель тепловой энергии (НТЭ) и потребители электрической (ПЭЭ) и тепловой энергии (ПТЭ) [12].

Ключевыми компонентами в схеме ГЭК являются ДГУ, выступающая в роли гарантированного источника мощности, и системы аккумуляции электрической и тепловой энергии. Преобразователь энергии (ЭК) в схеме ГЭК выступает одновременно как преобразователь и регулятор мощности ГЭК.

Задача определения оптимальной структуры ГЭК состоит в обосновании оптимального соотношения установленной мощности генерирующих установок с учетом реальных климатических условий эксплуатации, характеристик используемого оборудования, а также особенностей потребителя. Указанная задача требует решения вопросов согласования режимов работы разнородных источников энергии и потребителей энергии ГЭК в установившихся и переходных режимах.

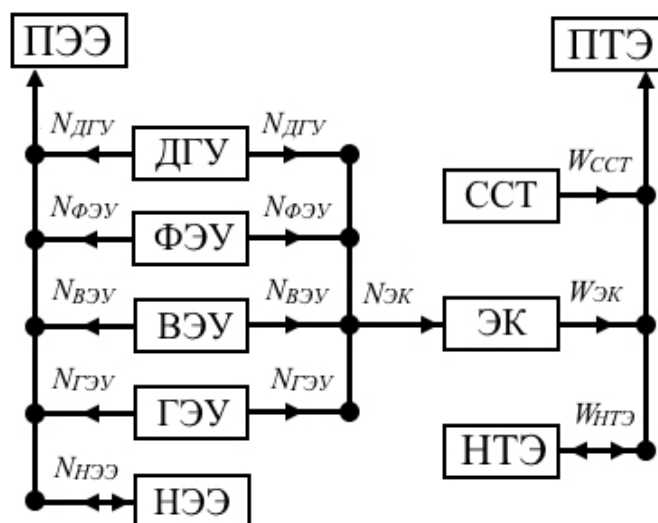


Рис. 2. Структурная схема ГЭК гарантированного энергоснабжения

4. Математическая модель режимов работы генерирующих установок в составе ГЭК

Рабочий режим установок в составе ГЭК в каждый момент времени определяется по следующим выражениям:

$$N_{ДГУ}(t) = N_{П}(t) + N_{ЭК}(t) - N_{ФЭУ}(t) - N_{ВЭУ}(t) - N_{ГЭУ}(t) - N_{НЭЭ}(t),$$

$$N_{ФЭУ}(t) = C_{FF}(t) \cdot n_{ФЭУ} \cdot R^{\beta}(t) \cdot \eta_{conv} \cdot \frac{\ln(10^6 \cdot R^{\beta}(t))}{T_{ФЭУ}(t)},$$

$$N_{ГЭУ}(t) = \begin{cases} 9.81 \cdot Q_{ГЭУ}(t) \cdot H \cdot \eta_{ГЭУ} \\ N_{П}(t) + N_{ЭК}(t) - N_{ФЭУ}(t) - N_{ВЭУ}(t) \end{cases},$$

$$N_{BЭВ}(t) = \begin{cases} N_{ном}^{BЭВ} \cdot \frac{V(t) - V_{\min}}{V_P - V_{\min}}, & \text{if } V_{\min} \leq V(t) \leq V_P \\ N_{ном}^{BЭВ}, & \text{if } V_P \leq V(t) \leq V_{\max} \\ 0, & \text{if } V(t) < V_{\min} \text{ or } V(t) > V_{\max} \end{cases},$$

$$N_{ЭК}(t) = \frac{W_{II}(t) - W_{CCT}(t) - W_{HTЭ}(t)}{k_{ЭК}(t)},$$

$$W_{CCT}(t) = A \cdot [R^\beta(t) \cdot (\tau \cdot \alpha) - U_L \cdot (T_{CP}(t) - T_{OKP.CP}(t))] \cdot \eta_{TO}(t),$$

Данная система уравнений дополняется моделями электрической и тепловой систем аккумулирования, ограничениями на величины электрических и тепловых потоков, таких как предельные величины энергоисточников ГЭК, их динамические характеристики, а также инерционными звеньями, которые учитывают инерционные процессы в некоторых энергоисточниках. В модели также учитываются технические требования, предъявляемые установками на основе ВИЭ к эксплуатационным характеристикам накопителей энергии по объемам запасаемой энергии, режимам приема и выдачи мощности на разных временных интервалах, определенные ранее в работе [9].

Таким образом, математическая модель режимов работы ГЭК представляет собой совокупность взаимосвязанных моделей режимов работы отдельных генерирующих установок, учитывающих режимные ограничения и критерии оптимизации.

В качестве критериев оптимизации принят минимум мощности ДГУ в каждый момент времени, или минимум расхода дизельного топлива при соблюдении баланса мощности ГЭК:

$$\begin{cases} N_{ДГУ}(t) + N_{ФЭВ}(t) + N_{BЭВ}(t) + N_{ГЭВ}(t) \pm N_{HЭЭ}(t) = N_{II}(t) + N_{ЭК}(t) \\ k_{ЭК}(t) \cdot N_{ЭК}(t) + W_{CCT}(t) \pm W_{HTЭ}(t) = W_{II}(t) \\ N_{ДГУ}(t) \rightarrow \min \end{cases},$$

5. 3Д модель ГЭК гарантированного энергоснабжения

На основе предложенной математической модели разработана 3Д модель ГЭК (см. рис. 2), которая представляет собой площадку ограниченной территории, на которой поблизости друг от друга и от потребителя располагаются генерирующие установки в составе: ДГУ, ВЭУ, ФЭУ, ССТ, гибридный накопитель электроэнергии (литий-ионные аккумуляторные батареи, водородная система аккумулирования и батареи суперконденсаторов), а также тепловой аккумулятор. Приложение написано на С++ с использованием библиотек с открытой лицензией. Общий вид экрана приложения представлен на рис.3.



Рис.3. Принтскрин экрана приложения 3Д модели ГЭК

В нижней части 3Д модели реализована библиотека моделей, посредством которой можно изменять состав генерирующих установок ГЭК, а также выбирать для них турбины и генераторы различного типа и конструкции.

Разработанная 3Д модель ГЭК позволяет исследовать его рабочие режимы в реальных условиях эксплуатации при разном составе генерирующих установок для любого дня года, любого заданного интервала времени и заданной территории. Результаты моделирования можно проследить как визуально, так и

в графическом виде. 3Д модель была тщательно протестирована серией расчетов, которые подтвердили ее работоспособность и адекватность.

6. Заключение

Рассмотрены технические требования, предъявляемые установками на основе возобновляемых источников энергии к эксплуатационным характеристикам накопителей энергии по объемам запасаемой энергии, режимам приема и выдачи мощности на разных интервалах времени с целью гарантированного обеспечения энергией потребителей в изолированных энергорайонах.

Разработана математическая модель ГЭК гарантированного энергоснабжения с аккумулярованием энергии, которая учитывает ресурсные, технические и технологические особенности функционирования разнотипных установок в его составе в децентрализованных системах энергоснабжения.

Предложены критерии определения оптимального соотношения установленных мощностей генерирующих установок ГЭК с учетом реальных климатических условий эксплуатации, характеристик используемого оборудования, а также особенностей потребителя.

На основе предложенных подходов разработана 3Д модель ГЭК для имитации его режимов работы при различных составе и условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации // По результатам опроса РОИВ // <https://ac.gov.ru/projects> (2020. 24 марта).
2. Новочебоксарск ХЕВЕЛ // http://ntc.nudl.net/show_nchb.php (2019. 12 октября).
3. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб.: Наука, 2013. 307 с.
4. Елистратов В.В. Технологические и технико-экономические особенности энергокомплексов на основе ВИЭ для сложных природно-

климатических условий // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы: Тр. 5-й Международной конф. Махачкала: ИП Овчинников (АЛЕФ), 2017. Т. 1. С. 42–47.

5. Макаров А.А., Григорьев Л.М., Митрова Т.А. Прогноз развития энергетики мира и России 2016. М.: ИНЭИ РАН, 2016. 196 с.

6. Обухов С.Г., Плотников И.А., Масолов В.Г. Анализ режимов работы накопителей энергии в автономных гибридных электростанциях с возобновляемыми источниками энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2018. № 13-15. С. 55–67.

7. Тягунов М.Г. Цифровизация и управление в распределенных энергетических системах с ВИЭ // в кн. Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития /под ред. Н.Д. Рогалева. М.: Издательство МЭИ, 2019. С. 187–203.

8. Тягунов М.Г., Викулов А.Н. Возобновляемая энергетика в распределенных энергосистемах // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2018. № 7. С. 76–77.

9. Тягунов М.Г., Шевердиев Р.П. Особенности режимов гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии для определения типа аккумуляторов энергии // Вестник МЭИ. 2020. № 4. [в печати].

10. Фортов В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире: Научное издание // В.Е. Фортов, О.С. Попель // Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. 168 с.

11. Шевердиев Р.П. Гибридный энергокомплекс гарантированного энергоснабжения с аккумулярованием энергии // Энергетика. Технологии будущего: Сборник трудов 3-й научно-технической конференции студентов М.: МЭИ, 2020. С. 77– 82.

12. Шевердиев Р.П. Гибридный энергокомплекс гарантированного энергоснабжения с водородным аккумулярованием энергии // Энергетика. Технологии будущего: Сборник тезисов докладов 2-й научно-технической конференции студентов М.: МЭИ, 2019. С. 18 –19.

13. Ani V. Design of a reliable hybrid (PV/Diesel) power system with energy storage in batteries for remote residential home // <https://doi.org/10.1155/2016/6278138> (2019. 21 октября).

14. Barton J.P., Infield D.G. Energy storage and its use with intermittent renewable energy // Transactions on energy conversion. 2004. Vol. 19. P. 441–448.

15. Bianchini A. Optimization of a PV-wind-diesel hybrid system for a remote stand-alone application // Energy Procedia. 2015. Vol. 81. P. 133–14.

16. Chauhan A., Saini R.P. A review on Integrated Renewable Energy System based power generation for stand-alone applications: Configurations, storage options, sizing methodologies and control // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. Vol. 38. P. 99–120.

17. Elbaset Mohamed A.A, Abdelwahab S.A.M., Ibrahim H.A. Performance Analysis of Photovoltaic Systems with Energy Storage Systems. Switzerland AG: Springer Nature. 2019. 153 p.

18. Gan L.K., Shek J.K.H., Mueller M.A. Hybrid wind-photovoltaic-diesel-battery system sizing tool development using empirical approach, life-cycle cost and performance analysis: A case study in // Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 106. P. 479–494.

19. Tyagunov M. Distributed energy system's is future of the world's power industry // Information Technology to Renewable Energy Processes and Systems: Proceeding of the 2-nd International Conference. Amman, Jordan: University of Petra, 2017. P. 113–117.

20. Shivarama K.K., Sathish K.K. A review on hybrid renewable energy systems
В ходе работы над статьей использованы материалы, полученные при выполнении научного проекта по Гранту РФФИ: 18-38-10063 – проект организации молодежной научной конференции «Альтернативная энергетика в регионах России».

©, Тягунов М.Г., Шевердиев Р.П., – 2020

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ, СОЦИАЛЬНЫХ, ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ПОЛИТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Тягунов Михаил Георгиевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: mtyagunov@mail.ru

Аннотация

Работа над созданием глобальной, континентальных и межконтинентальных энергосистем не противоречит принципам энергетической безопасности территорий. Но принцип построения таких систем должен быть несколько изменен. Транзитная сеть должна соединять энергоузлы, потребители высокой категории надежности энергоснабжения которых должны обеспечиваться собственной генерацией.

Ключевые слова

глобальная, континентальные и межконтинентальные энергосистемы, энергоузлы, надежность энергоснабжения, собственная генерация

INFLUENCE OF NATURAL, SOCIAL, ECONOMIC AND POLITICAL FACTORS ON STRUCTURE OF POWER SUPPLY SYSTEMS

Tyagunov Mikhail Georgiyevich, Doctor of Engineering, professor, Federal state-funded educational institution of the higher education "National research university "MEI", 111250, Russia, Moscow, Krasnokazarmennaya St., 14, e-mail: mtyagunov@mail.ru

Abstract

Work on creation global, continental and intercontinental power supply systems doesn't contradict the principles of energy security of territories. But the principle of

creation of such systems has to be a little changed. The transit network has to connect power units which consumers of high category of reliability of power supply have to be provided with own generation.

Keywords

global, continental and intercontinental power supply systems, power units, reliability of power supply, own generation

В последние годы все большую популярность приобретает идея создания глобальной энергетической системы, объединяющей территории, богатые энергетическими ресурсами, но удаленные от основных центров энергопотребления, и сами эти центры, которые располагаются на разных континентах и островных архипелагах. Для выполнения задач построения глобальной энергетической системы создана «Организация по развитию и кооперации глобального энергетического объединения» (GEIDCO), которая зарегистрирована в г. Пекине (КНР), является неправительственной международной НКО, образована на добровольной основе заинтересованными предприятиями, организациями и физическими лицами, приверженными идеям устойчивого развития. GEIDCO стремится распространять концепцию глобальной энергосистемы. Ожидается, что это поможет расширению сотрудничества между странами всех континентов Земли, поможет обеспечить доступ к электроэнергии в таких регионах, как Азия, Африка и Южная Америка, будет способствовать сокращению разрыва в уровне промышленного развития и благосостояния между регионами мира [1].

Ожидается, что основными эффектами от создания глобальных электроэнергетических систем будут: снижение стоимости электрической энергии, эмиссии углекислого газа, повышение надежности функционирования энергосистем. Эти эффекты достигаются за счет развития ВИЭ и передачи получаемой от ВИЭ мощности в центры нагрузки (расположенные в других странах и на других континентах) [2]. Основной технологией для создания объединений электроэнергетических систем должны стать гибридные

многотерминальные линии передачи постоянного тока (ППТ); должны получить развитие технологии накопления энергии и расширение применения накопителей как при создании глобальных, так и отдельных (локальных) электроэнергетических систем [2].

Идеологическим аналогом глобальной, континентальной, межконтинентальной и т.д. энергосистем является созданная 50 лет назад Единая энергетическая система СССР. При ее создании планировалось достижение аналогичных эффектов, а также ряда других, актуальных для СССР, эффектов.

«Единая энергосистема СССР представляет собой развивающийся по государственному плану комплекс электростанций и сетей, объединенных общим режимом и единым централизованным оперативным управлением... создает возможность наиболее рационального использования энергетических ресурсов и повышения экономичности и надежности электроснабжения народного хозяйства и населения страны.... Объединение энергосистем создает возможность значительного повышения надежности энергоснабжения..., эквивалентный экономии аварийного резерва в ЕЭС СССР в размере 4-5 млн. кВт... Суммарный выигрыш в установленной мощности электростанций ЕЭС СССР за счет совмещения графиков нагрузки энергосистем и аварийной взаимопомощи энергосистем достигает 10-15 млн. кВт» [3]. И это при суммарной установленной мощности генерации по всем энергосистемам ЕЭС СССР 249 млн. кВт, а также при том, что в ЕЭС СССР к этому времени работало около 90% всех электростанций страны [3].

Приведенная цитата ярко иллюстрирует условия, для которых планируемые эффекты могут быть достигнуты: государственный план развития электростанций и сетей, централизованное управление режимом всеми элементами энергосистемы, что было естественно для единой государственной собственности на средства производства, передачи, распределения и управления ЕЭС СССР, которая стала первой межконтинентальной параллельно работающей энергосистемой в мире.

Однако, происшедшие в России в 90-е годы XX века перемены, создали новые, не проектные для ЕЭС условия, хотя сама по себе ЕЭС России продолжает существовать, но единство прав собственности, единство планирования и управления были потеряны при акционировании элементов энергосистемы. Вместе с ними были потеряны и эффекты, о которых написано в приведенной выше цитате [3].

Мог ли кто-нибудь из советских ученых и инженеров 60-70 годов 20 века подумать, что в стране может произойти столь радикальная смена общественно-экономической формации? Поэтому проектирование и создание ЕЭС СССР осуществилось именно так, как написано в [3]. Это связано с тем, что все задачи планирования и развития решаются в естественном предположении о том, что все элементы энергосистемы будут работать в нормальном режиме, а возможные аномалии режима учитываются в средствах защиты от наступления аварий, которые наступают не часто, а могут и не наступить за жизненный цикл работы оборудования энергосистемы.

Современный период развития мира характеризуется огромным количеством изменений процессов, которые ранее считались стационарными и долговременными. Так, климатические изменения – глобальное потепление, наводнения, катастрофические ураганы, землетрясения и цунами, засуха и т.д.; политические катаклизмы – торговые войны, санкции разного рода; социальная нестабильность, локальные военные конфликты, терроризм, в том числе компьютерный; пандемия covid 19 и связанные с ней экономические последствия, и т.д.

Практически все эти изменения влекут за собой нарушение межгосударственных, межрегиональных и др. связей, а множественность причин этих изменений делает ситуацию «нормально нестабильной». Это означает, что при создании больших систем жизнеобеспечения, к которым относятся системы энергетики, необходимо учитывать это обстоятельство, причем как при определении типа и параметров энергетического оборудования и сооружений, так и при определении вида и происхождения систем управления ими.

Внимание к системам управления обусловлено тем, что импортируемые программно-технические комплексы АСУ электростанций, подстанций, сетей и управляемых потребителей энергосистем, с учётом закрытости как аппаратуры, так и фирменного программного обеспечения, не поддается проверке на наличие программных или аппаратных уязвимостей. Уязвимость может быть нацелена как на нарушение или блокировку работы средств АСУ с неизбежным отключением энергооборудования и последующей заменой системы управления, так и на сознательное повреждение технологического оборудования путём создания причин, вызывающих аварию.

Решение указанной проблемы следует искать несколькими путями:

- выбором безопасной структуры энергетической системы;
- переходом на более безопасную структуру АСУ ТП и систем передачи данных для регионального технологического управления;
- отказом от использования импортной техники и программного обеспечения АСУ объектов энергетики.

Для перевода АСУ энергетических объектов на отечественную элементную базу Решением совета директоров ПАО «РусГидро» (Протокол заседания № 275 от 09.08.2018). утвержден комплекс мер, направленных на плановое и поэтапное на период до 2025 года замещение закупки иностранной продукции закупкой эквивалентной по техническим характеристикам и потребительским свойствам российской продукции, используемой при осуществлении инвестиционных проектов и текущей деятельности [4].

Путь перехода к безопасной структуре энергетических систем отмечен в [5,6] и ряде других публикаций. Показано, что формирование балансов мощности и энергии по уровням гарантии энергоснабжения потребителей энергии каждого энергорайона, дает возможность уменьшить зависимость этих районов от внешних перетоков мощности, следовательно, уменьшить затраты на сооружение межсистемных линий электропередачи. Правда, при этом потребуется увеличить затраты на сооружение источников локальной генерации

и аккумуляции энергии, но для удаленных районов эти затраты по оценкам экспертов меньше, чем стоимость новых электрических сетей.

Таким образом, работа над созданием глобальной, континентальных и межконтинентальных энергосистем не противоречит принципам энергетической безопасности территорий, но принцип их построения должен быть несколько иным, чем обсуждается участниками GEIDCO. Транзитная сеть должна соединять энергоузлы, потребители высокой категории надежности энергоснабжения которых должны обеспечиваться собственной генерацией.

Аналогичное решение следует искать и при построении систем передачи данных систем корпоративного и диспетчерского управления. В значительной степени решением может быть построение таких систем по принципу блокчейна.

Список литературы

1. Лю Чженья. Глобальное энергетическое объединение // Пер. с кит. М.: Изд. дом МЭИ. М., 2016.

2. Рябин Т.В., Сорокин Д.В. Тенденции развития технологии глобальных электрических сетей (по итогам международной конференции «Технологии глобальных энергетических сетей») // Энергия единой сети № 2 (44) апрель–май 2019, с. 64-73.

3. Совалов С.А. Режимы единой энергосистемы. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

4. Решение совета директоров ПАО «РусГидро», протокол от 09 августа 2018 № 275 <http://www.rushydro.ru/corporate/board/minutes/2018/106637.html>

5. Перминов Э.М., Тягунов М.Г. К вопросу о структуре и управлении энергетикой будущего // Энергия единой сети, 2019, №5, с.40-55

6. Tyagunov M. Distributed energy system's is future of the world's power industry // Proceeding of the 2nd International Conference on the Applications of Information Technology to Renewable Energy Processes and Systems, Amman, Jordan, 6-7 December, 2017 (IT-DREPS 2017): University of Petra, p.113-117

В ходе работы над статьей использованы материалы, полученные при выполнении научного проекта по Гранту РФФИ: 18-38-10063 – проект организации молодежной научной конференции «Альтернативная энергетика в регионах России».

©, Тягунов М.Г., – 2020

УДК 628.812.34:620.9

ПРОГНОЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Урумбаева Ольга Баходировна, аспирант, Астраханский государственный технический университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: urumbaeva-olga@mail.ru.

Шиккульская Ольга Михайловна, доктор технических наук, профессор, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 18, e-mail: shikul@mail.ru.

Аннотация

Предложен способ преодоления структурно-технологического кризиса технологической энергетической отрасли посредством искусственного интеллекта.

Ключевые слова

структура потребления электроэнергии, структурно-технологический кризис, нейронная сеть.

FORECAST OF INTELLIGENT TECHNOLOGICAL TRANSITION OF ENERGY INDUSTRY

Abstract

The dynamic electricity consumption structure was considered. A method for overcoming the structural and technological crisis by means of artificial intelligence is proposed.

Keywords

structure of electricity consumption, structural and technological crisis, neural network.

On the edge of the post-industrial development stage, the main directions in the field of energy are quantitative and qualitative growth in the fields of generation and consumption of electricity, as well as further globalization and regionalization of energy [1].

Aging energetic infrastructure has a rigid hierarchy that does not allow to realize the required technological transition [2]. The energy industry does not cope with the challenges it faces without transition to a new intellectual technology base.

During prognosis of electricity consumption, it was observed that the structure of consumption will change fundamentally within next 30 years. There has been a decline in the share of industry consumption from 65 to 51%, with a sharp increase in the share of housing, communal and domestic services from 25 to 37% or from 235 to 935 billion kWh. in absolute values from 2020 to 2050 years [3].

Thus, within next years electricity suppliers would be forced to shift from large industrial consumers to small households. This transition would be a challenge for technological, management and marketing areas. New energy ideology and infrastructure is required to overcome the structural and technological crisis.

Experience in the development of information networks and its trend over the past decade shows that the main characteristics of the future energy infrastructure would be architecture network, intellectual development, active adaptation (self-

organization), industry integration, multi-agency management, scalability, interconnection with the global information space [4].

The primary task is the transition from analog control systems to digital ones with the construction of a unified energy information system in order to create smart networks. The next step is to increase the level of intelligence for energy information system. As a result, there will be a transition from smart to intelligence networks (IN).

One of the most promising ways to overcome the structural and technological crisis in energy is to build interconnected self-organizing intelligent systems which involves multi-agent management. Intelligent networks, unlike informational or "smart" ones involve elements of artificial intelligence, in this case such elements are neural networks (NN) [5].

IN should be seen as an evolutionary transition of the smart network. They differs mainly in the structure and dynamics of development: the main positions of the IN are the assessment and management of risks, as well as the coordination of interests of multiply subjects of the system, while the "smart" network resolves the tasks of dispatching and control in strict hierarchical structural conditions[6].

Using such intelligent systems, we would be able to connect available technologies and concepts altogether in order to create qualitatively new effects from cross-sectoral and energy-information synergies [8].

There are various methods of artificial intelligence: expert systems, reasoning by analogy, Bayesian trust networks, fuzzy systems, evolutionary computing, and neural networks. The main advantages of the application of artificial neural networks (ANN) in the electric power industry compared to other intelligent algorithms are [7]:

- The ability to perform fast classification and processing of information in real time;
- Nonlinear modeling and filtering of incoming data;
- Efficient operation at stochastic changes of operating parameters;
- scalability.

It is necessary to take into account the dynamics of the amount of input parameters during construction of neural network models in the sphere of energy supply. For example, the number of active (connected) users to the power system is not

constant [9]. At present, there are no NNs to successfully monitor the full dynamics of electricity consumption to the end user, taking into account leaks in power transmission lines and above the given parameters, so there is a need to develop a neural network based not on single neuron-neuron connections, but on the influence of a pair of neurons on the neuron of the lower (previous) layer. In this case, the NN becomes resistant to the constantly changing picture of input data (such as connection/disconnection of the next consumer, addition of new accounting parameters, energy consumption analysis, etc.).

Thus, on the basis of the prognosis of the upcoming change in the structure of energy consumption, the authors concluded on the need for a technological transition of the energy industry on the basis of a new intelligent technological base. Authors justified the need to build interconnected self-organizing intelligent systems and analyzed the tools for carrying out this task and justified the choice of using a neural network with a varying number of input and a fixed number of output parameters.

References

1. Bushuev, V. Electric Power Industry at Post-Form Stage//Energy Policy, 2010, № P.23.
2. Bashmakov, I.A. Costs and benefits of low-carbon economy and transformation of society in Russia. Prospects before and after 2050//Center for Energy Efficiency (CENEF), Moscow, March 2014.
3. Diakonov V. P., Kruglov V.V. Tools of artificial intelligence and bioinformatics. Series "Professional Library" M.: SOLON-PRESS, 2006. 456 page.
4. Fursanov, M.I. Optimal loss levels in distribution electrical networks. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS. Power. 2014. № 5. Pages 15-26.
5. Kolinicki, V. E. Reduction of electric power losses in electric networks//V. E. Kolinkin, M. A., E.V. Komkova, V.I. Pyatigor//Energy saving. - 2005. - № 2. - P. 2-6.

6. Medvedev V. S., Potemkin V.G. Neural Networks//Red. V.G. Potemkin. M.: dialogue-mephi, 2002. 496 pages.

7. Nan Feng, Shikuskaya O.M., Urumbayeva O.B. Methods review of alternative energy obtaining // Альтернативная энергетика в регионах России: Материалы молодежной научной конференции «АЭР-2018» г. Астрахань, декабрь 2018г, с. 224-227.

8. Nan Feng, Shikuskaya O.M., Urumbayeva O.B. The analysis of the human factor influence on the efficiency of power system management // Материалы XII Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов «Перспективы развития строительного комплекса: образование, наука, бизнес». г. Астрахань, октябрь 2018 г., с. 114-118.

9. Shikulskaya O.M., Shalayev T.A., Urumbayeva O.B. Analysis of the state and trends of development of smart grid technologies in Russia and abroad//Materials of the 63rd International Scientific Conference of the Astrakhan State Technical University dedicated to the 25th anniversary of the Astrakhan State Technical University. Astrakhan, 2019. Page 136.

©, Урумбаева О.Б., Шиккульская О.М., – 2020

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА В ТОПКАХ
КОТЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ЦЕЛЬЮ
СНИЖЕНИЯ ВРЕДНОСТИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ**

Филинков Леонид Игоревич, аспирант, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: Leonid_filinkov@mail.ru

Лихтер Анатолий Михайлович, доктор технических наук, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: Likhter@bk.ru

Аннотация

Компьютерные нейронные сети находят все большее применение в современных промышленных технологиях, благодаря такому их свойству, как возможность предсказания выходного параметра процесса без использования точной математической модели самого процесса. В связи с этим перспективной выглядит возможность применить нейросети для частичной или полной замены некоторых основных систем измерения технологических параметров котлоагрегата. В данной работе рассмотрен вариант измерения коэффициента избытка воздуха в топке котлоагрегата с помощью анализа цвета факела в видимом спектре. Показана перспективность метода, а также приведены основные технические решения и алгоритмы, позволяющие построить нейросети и сделать их частью системы автоматического регулирования котлоагрегата. Данная система позволит, в частности, снизить суммарную вредность продуктов сгорания котлоагрегатов.

Ключевые слова

нейросети, цвет, факел, котлоагрегат, коэффициент избытка воздуха, суммарная вредность продуктов сгорания

DETERMINATION OF COEFFICIENT OF EXCESS OF AIR IN FIRE CHAMBERS OF COPPERS ON THE BASIS OF TECHNOLOGY OF NEURAL NETWORKS FOR THE PURPOSE OF DECREASE IN HARM OF PRODUCTS OF COMBUSTION

Filinkov Leonid Igorevich, graduate student, Astrakhan state university, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev St., 20a, e-mail: Leonid_filinkov@mail.ru

Likhter Anatoly Mikhaylovich, Doctor of Engineering, Astrakhan state university, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev St., 20a, e-mail: Likhter@bk.ru

Abstract

Computer neural networks are increasingly used in modern industrial technologies, due to their property such as the ability to predict the output parameter of a process without using an exact mathematical model of the process itself. In this regard, the possibility of using a neural network for partial or complete replacement of some basic systems for measuring a boiler unit looks promising.

In this paper, we consider the option of measuring the coefficient of excess air in the furnace of a boiler unit by analyzing the color of the torch in the visible spectrum. The prospects of the method are shown, as well as the basic technical solutions and algorithms that allow you to build a neural network and make it part of the automatic control system of the boiler unit are presented. In particular this system will allow to reduce the total harmfulness of the products of combustion of boiler units.

Keywords

neuronets, color, torch, package boiler, coefficient of excess of air, total harm of products of combustion

Введение. Одним из основных технологических параметров процесса горения топлива является коэффициент избытка воздуха, равный отношению фактически подаваемого воздуха на горение к теоретически необходимому. На сегодняшний день для его расчета на многих электростанциях используется прибор оптимизции режимов горения «Оптима» (на мелких же котельных

контроля кислорода в уходящих газах вообще не предусмотрено). Прибор имеет в своем составе твердоэлектролитный датчик (лямбда-зонд), установленный непосредственно в газоходе котла после последних ступеней нагрева и оценивающий процентное содержание кислорода в дымовых газах. К недостаткам данной технологии можно отнести необходимость частой (еженедельной) калибровки прибора; быстрый выход датчика из строя (примерно каждые полгода); неудовлетворительную работу прибора в момент пуска котлоагрегата, когда в дымовых газах из-за их глубокого охлаждения выпадает конденсат и оседает на датчике.

Исследование процесса горения. Энергоэффективное горение также зависит от таких параметров, как степень турбулизации факела. Фундаментальные исследования причин и характеристик турбулентности, а также построение математической модели проведены коллективом ученых Астраханского государственного университета в [1]. Описание физико-химических процессов горения топлива является трудоемкой многопараметрической задачей. Существует много сложных математических моделей, описывающих теплообменные процессы в факеле. Чем точнее модель, тем она сложнее и соответственно требует больших вычислительных мощностей для оперативного контроля режима горения, что усложняет возможные попытки оперативного регулирования процесса горения с применением таких моделей.

Стоимость производимой электроэнергии во многом определяется количеством потребляемого топлива, затраченным на единицу произведенной энергии. Как известно, в России значительная часть электростанций работает на газовом топливе. Современный этап добычи газа характеризуется усложнением его добычи. Это в полной мере относится и к геолого-разведочным работам на крайнем севере, и к эксплуатации буровых установок на шельфе морей и океанов. Необходимо отметить, что одним из основных рисков при эксплуатации шельфовых буровых станций, платформ, является угроза опрокидывания (срыва) в результате цунами или «волн смерти». Это обуславливает актуальность

исследования процессов образования вихрей и волн в жидкости [1], которые могут послужить основой для выработки предупреждающих действий по минимизации рисков и предотвращению экологических катастроф, связанных с добычей газа на шельфе [2].

Предлагаемое решение. Одним из перспективных направлений в построении современных автоматизированных систем управления технологическими (далее - АСУ ТП) энергоустановками является способ обработки изображений с помощью нейросетей. В данной статье сделана попытка применить данный подход к измерению коэффициента избытка воздуха « α » (далее – « α »). При этом использовался тот факт, что цвет факела однозначно связан с коэффициентом избытка воздуха « α ».

Так как для оценки цветности факела необходимо специальное оборудование, в частности, вебкамера и персональный компьютер, первый этап сводится к закупке оборудования и монтажу. После этого можно перейти ко второму этапу, который заключается в создании БД снимков для использования в качестве обучающей нейросеть выборки.

Предлагаем для цели измерения коэффициента избытка воздуха применить современный способ обработки информации - с помощью нейросетей.

Так как для контроля цветности факела требуется специальное оборудование, в частности, вебкамера и персональный компьютер, первый этап сводится к закупке оборудования и монтажу системы. При монтаже системы предлагается направить вебкамеру непосредственно на открытый смотровой лючок котла и улавливать излучение от факела в видимом спектре. Для предотвращения присосов воздуха на смотровой люк необходимо установить стеклянную перегородку. Сигнал с вебкамеры направляется в персональный компьютер, расположенный на блочном щите управления (БЩУ). ПК принимает информацию с вебкамеры (цвет факела) и обрабатывает ее по специальному алгоритму с применением нейросети.

После этого можно перейти ко второму этапу, который заключается в создании базы данных фотоснимков (например, 1000 шт.), которые будут использоваться в качестве обучающей нейросеть выборки. Базу данных легко сформировать с помощью скрипта, который автоматически с заданным временным интервалом позволяет делать фотоснимок с вебкамеры. Ниже приведен соответствующий скрипт (на Python):

```
from picamera import *
from time import *
a=PiCamera()
for i in range(1,6):
    a.start_preview()
    sleep(3)
    a.capture(f"/home/pi/Leonid_Filinkov/Flame_image_1,1.jpg")
a.stop_preview()
```

Скрипт позволяет в установившемся режиме горения (например, с коэффициентом избытка 1,1) отснять 100 фото и присвоить им соответствующие названия. Затем необходимо увеличить коэффициент избытка на 0,05 и сделать другие 100 фото. В итоге база фотографий должна охватить все возможные в практике значения избытков воздуха. Для определения истинного значения избытка воздуха предлагается использовать газоанализатор.

После этого переходим к третьему этапу, который заключается в создании тестовой выборки изображений, призванной оценить корректность предсказаний нейросети. Создание тестовой выборки изображений происходит по аналогии с созданием обучающей выборки, но ПК заранее не будет знать соответствующий картинке избыток воздуха. Затем необходимо запустить тестирование нейросети на тестовой выборке. Результатом тестирования будет являться нахождение вероятности, с которой нейросеть предсказывает правильное значение коэффициента избытка воздуха. Если вероятность окажется более 95%, обучение завершается. Если вероятность окажется меньше, потребуется дополнительное обучение на большей выборке изображений, либо корректировка алгоритма

обучения. После успешного обучения нейросети в процессе эксплуатации котлоагрегата можно будет отказаться от использования существующих газоанализаторов.

Предлагаемая система измерения с применением нейросети не будет нуждаться в обслуживании, т.к. ее принцип действия – оптический, вся сложная электроника вынесена из зоны вибрации и высоких температур на блочный щит управления. Проблема перегрева видеокамеры решается за счет системы охлаждения видеокамеры, состоящей из фольгированного экрана и вентилятора, обдувающего видеокамеру.

Система позволит точно и надежно (без обслуживания и отказов в работе) определять содержание кислорода в продуктах сгорания котлоагрегатов. Таким образом, снизятся риски отказов оборудования химического контроля, повысится надежность регулирования процесса подачи воздуха в котел. В свою очередь, качественное регулирование позволит осуществить режим горения, называемый контролируемым химическим недожогом, характеризующийся низкой суммарной вредностью продуктов сгорания [3].

Имеющиеся альтернативные приборы и технологии.

1. На астраханских предприятиях энергетики наиболее распространен прибор оптимизации режимов горения "Оптима", который использует датчики электрохимического принципа действия, посылающие сигнал на вторичный прибор (блок обработки сигнала - БОС). Данные приборы измеряют содержание кислорода в дымовых газах, однако они часто выходят из строя. Стоимость прибора довольно высока и составляет 80 000 рублей. Срок эксплуатации прибора - 5 лет. Срок эксплуатации датчика (фактический) - 3 месяца.

2. Прибор "АГМ-501" также использует датчики электрохимического принципа действия. Данный прибор требует постоянного обслуживания, замены фильтрующих элементов, и т.п. Кроме того, в приборе присутствуют движущиеся элементы (побудитель расхода), часто выходящий из строя. Стоимость данных приборов также высока и составляет 130 000 руб.

3. Прибор "Testo - 320" также использует датчики электрохимического принципа действия, которые посылают сигнал на вторичный прибор. Данные приборы измеряют содержание кислорода в дымовых газах, однако они, в отличие от описанных выше, не являются стационарными, а являются портативными и поэтому не могут использоваться в непрерывном режиме работы. Стоимость данного прибора начинается от 90 000 рублей.

Как видно из анализа существующих газоанализаторов, они, во-первых, недешевы, во-вторых, ненадежны ввиду использования быстро выходящих из строя датчиков, а, в-третьих, не всегда предусмотрены для непрерывного режима работы.

Техническое оснащение предлагаемой системы. По итогам анализа технико-экономических показателей устройств создания и обработки изображений, в качестве аппаратного решения для реализации предлагаемой системы измерения предлагается использовать видеочкамуру для Raspberry Pi (стоимостью 300 руб.), а в качестве ПК предлагается использовать микрокомпьютер Raspberry Pi (стоимостью 5000 руб.).

Расчет экономии. В соответствии анализом режимных картой котлов, экономия природного газа от режимной наладки может составлять 2,5 кг.у.т./Гкал. При калорийности природного газа 8115 ккал/куб.м. и годовой выработке тепловой энергии котлоагрегатом в размере 150 000 Гкал, экономия составит:

$$\Delta B_r = 2,5 \text{ кг.у.т./Гкал} * 150\,000 \text{ Гкал} = 375\,000 \text{ кг.у.т.} = 375 \text{ т у.т.}$$

Вывод: Предложена структурная и аппаратная реализация системы автоматического регулирования котлоагрегата, позволяющая имплементировать современные методы машинного обучения с целью отказаться либо снизить потребность энергогенерирующих предприятий в дорогостоящих газоанализаторах; показана экономическая привлекательность предложенной системы.

Список литературы

1. Filatov, S., Levchenko, A., Likhter, A., Mezhov-Deglin, L. Quasi-adiabatic decay of vortex motion on the water surface. Materials Letters, 2019. Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ № 17-02-01090

2. Filatov, S.V., Khramov, D.A., Kravchenko, I.V., Likhter, A.M., Levchenko, A.A. Formation of Vortex Motion by Capillary Waves on the Surface of Water. Journal of Surface Investigation, 2018. Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ № 17-02-01090.

3. Л.И. Филинков, А.М. Лихтер. Анализ подходов к созданию системы поддержки принятия решений по снижению выбросов в воздух от котельных // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии, 2019 №3 (47).

В статье использованы результаты исследования, выполненного по теме «Экспериментальное изучение влияния вариаций волновой турбулентности на вихревые движения» в рамках проекта РФФИ № 17-02-01090

©, Филинков Л.И., Лихтер А.М., – 2020

УДК 621.31

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Шилин Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: shilin.jr@gmail.com

Кузнецова Надежда Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: artex23@yandex.ru

Аннотация

В статье проведено обоснование методики определения показателей надежности воздушных линий электропередач в условиях различных климатических факторов. Методика основана на дифференцированной оценке надежности от отдельных факторов, что позволяет более точно определять показатели надежности при ограниченном числе статистических данных.

Ключевые слова

показатели надежности, мониторинг воздушных линий, предельные теоремы теории вероятностей, аварийные режимы, теория определения мест повреждения, оптимизация координат установки датчиков аварийных режимов.

DESIGN OF ELECTRIC NETWORKS TAKING INTO ACCOUNT THE GEOINFORMATION FACTORS

Shilin Alexey Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University, 400005, Volgograd, etc. Lenin, 28, e-mail: shilin.jr@gmail.com

Kuznetsova Nadezhda Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University, 400005, Volgograd, etc. Lenin, 28, e-mail: artex23@yandex.ru

Abstract

The article substantiates the methodology for determining the reliability indicators of overhead power lines under various climatic factors. The methodology is based on a differentiated assessment of reliability from individual factors, which allows more accurate determination of reliability indicators with a limited number of statistical data.

Keywords

reliability indicators, monitoring of overhead lines, limit theorems of probability theory, emergency conditions, theory of determining the location of damage, optimization of installation coordinates of emergency mode sensors.

В настоящее время в области электроэнергетики активно ведутся работы по созданию интеллектуальных электрических сетей (SmartGrid). Интеллектуальная сеть (ИС) это сложная система, которая должна в автоматическом режиме выявлять аварийно-опасные участки сети, а затем изменять схему сети с целью предотвращения аварии. Интеллектуальная сеть должна обладать функциями самодиагностики и самовосстановления и включать в свой состав передовые сенсорные, коммуникационные и управляющие технологии. Поскольку ИС являются протяженными объектами с разными участками по климатическим и географическим условиям, то их особенностью является учет взаимодействия сложной электроэнергетической системы с внешней средой.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Из анализа работы электрических сетей следует, что самым ненадежным элементом сетей являются воздушные линии. Показатели надежности воздушных линий зависят от большого числа влияющих внешних факторов, особенно от гололедообразования и ветровых нагрузок. Показатели надежности электрических сетей определяются с помощью статистической обработки результатов регистрации аварий. Повысить точность анализа надежности воздушных линий можно двумя способами: увеличивая число выборок и уменьшая дисперсию. Поскольку число выборок, а именно число аварийных режимов ограничено, то дисперсию можно уменьшить, разбив процесс на отдельные составляющие по внешним факторам.

Очевидно, что дифференциация влияющих факторов позволит более точно и с меньшим количеством статистических данных определять показатели надежности и соответственно более обоснованно проводить мероприятия по повышению энергообеспечения. Тогда весь случайный процесс можно представить, как сумму случайных процессов. В тоже время многие факторы являются независимыми.

Из сравнительного анализа существующих методов следует, что для решения предложенной задачи целесообразно использовать метод, основанный

на использовании поправочных коэффициентов. При использовании этого метода интенсивности отказов первичных элементов умножаются на поправочный коэффициент, значение которого определены в зависимости от погодных условий и времени года. В качестве исходной информации целесообразно использовать карты климатических условий. Так, например, у энергетиков имеются карты ветровых нагрузок, гололедных нагрузок и гололедно-ветровых нагрузок, на которых различными цветами выделяются области с различными уровнями нагрузок.

Одна линия электропередачи может проходить через зоны с различными условиями. Поэтому при наложении карт с различными факторами на карту схемы линий электропередач линии разбиваются на участки, для которых определяются параметры показателей надежности [5]. Далее эти показатели выражаются через показатель надежности без учета влияния внешних факторов и поправочные коэффициенты. После этого каждая линия представляется в виде последовательного соединения участков с различными коэффициентами, зависящими от времени года и погодных условий. При таком методе используется общая топологическая схема сети, а влияние факторов учитывается соответствующими коэффициентами.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ

Для определения мест повреждения (ОМП) воздушных линий электропередачи в электроэнергетике используют приборы, принцип действия которых основан на локации зондирующего импульса по контролируемому участку линии и на измерении времени задержки отраженного от места аварии импульса t . Зондирующий импульс распространяется со скоростью V . Расстояние до места аварии определяется по формуле $l = v \times \frac{t}{2}$.

Реализованный в этих приборах метод имеет несколько названий: метод импульсной рефлектометрии, метод отраженных импульсов и локационный метод. Приборы, реализующие указанный метод, называются рефлектометрами.

При моделировании воздушных линий электропередач используется схема замещения, приведенная на рисунке 1.

К первичным параметрам единицы длины двухпроводной линии относятся: C_0 – поперечная емкость между прямыми и обратными проводами, L_0 – индуктивность петли, образованной прямыми и обратным проводами, R_0 – продольное активное сопротивление прямого и обратного проводов, G_0 – поперечная активная проводимость утечки изоляции между прямым и обратным проводами.

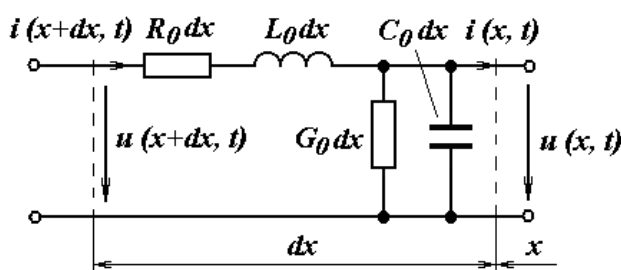


Рисунок 1 - Схема замещения элементарного участка линии; i , – мгновенное значение тока, u – мгновенное значение напряжения

Фазовая скорость определяется соответственно с помощью выражения [9]

$$v_\phi = \omega/\beta \quad , \quad (1)$$

где β коэффициент фазы длинной линии определяется по формуле [9,10]:

$$\beta(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega^2 L_0 C_0 - R_0 G_0 + \sqrt{(R_0^2 + \omega^2 L_0^2)(G_0^2 + \omega^2 C_0^2)}}. \quad (2)$$

Коэффициент затухания определяется с помощью формулы [9,14]:

$$\alpha(\omega) = \sqrt{\frac{1}{2} \left[G_0 R_0 - \omega^2 C_0 L_0 + \sqrt{(R_0^2 + \omega^2 L_0^2) \cdot (G_0^2 + \omega^2 C_0^2)} \right]} \quad (3)$$

Отклонения параметров линии R_0 , L_0 , C_0 , G_0 , обусловленные влиянием климатических факторов, вызывают отклонение коэффициента фазы и соответственно фазовой скорости и коэффициента затухания.

Зависимость активного сопротивления от температуры провода определяется [11,12]:

$$R_{0t} = R_{020} (1 + \alpha(t_{np} - 20^\circ)), \quad (4)$$

где R_{020} – табличное значение удельного сопротивления при температуре провода 20°C ; t_{np} – температура провода, $^\circ\text{C}$; α – температурный коэффициент электрического сопротивления, Ом/град.

Комплекс полного сопротивления провода определяется выражениями [11,12]:

$$Z_{np} = R_{np} + jX_L; \quad (5)$$

$$R_{np} = (R_{020} (1 + \alpha(t - 20^\circ)) + \pi^2 f \cdot 10^{-4}); \quad (6)$$

$$X_L = 29 f \lg \frac{0,178}{r_{np} \sqrt{f\gamma} \cdot 10^{-9}} \cdot 10^{-4}, \quad (7)$$

где f – частота сети; r_{np} – радиус провода; γ – удельная проводимость земли.

Величина относительной диэлектрической проницаемости газов зависит от температуры при постоянном давлении. Для сухого воздуха ТК ϵ_r в интервале температур от -60 до $+60$ $^\circ\text{C}$ можно считать постоянным и приблизительно равным $-2 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$. Однако дождь и снег оказывают значительное влияние на удельную емкость линии.

Поперечная проводимость G_0 обусловлена потерями активной мощности ΔP из-за несовершенства изоляции (утечки по поверхности изоляторов и в материале изолятора) и ионизации воздуха вокруг проводника вследствие коронного разряда [13].

Погонная проводимость определяется по общей формуле для шунта:

$$G_0 = \frac{\Delta P_{\text{кор}}}{U_{\text{ном}}^2} \cdot 10^{-3} \text{ (См/км)} \quad (8)$$

где $\Delta P_{\text{кор}}$ – потери активной мощности на корону, кВт;

$U_{\text{ном}}$ – напряжение линии, кВ.

В воздушных линиях всех напряжений потери через изоляторы невелики даже в районах с сильно загрязненным воздухом, поэтому их не учитывают.

Явление коронирования в ВЛ возникает только при превышении напряжённости электрического поля у поверхности провода, $\text{кВ}_{\text{макс}}/\text{см}$:

$$E = \frac{0,354 \cdot U}{r \cdot \lg \frac{d_{\text{ср}}}{r}} \quad (9)$$

Критическая величина около 17–19 кВ/см.

Условия для коронирования возникают в ВЛ 110 кВ и более высокого напряжения.

Отклонение коэффициентов фазы через отклонения параметров R_0 , L_0 , C_0 , G_0 выражаются соответственно.

$$\begin{aligned} \Delta\beta &\approx \frac{\partial}{\partial R_0} \Delta R_0 + \frac{\partial}{\partial L_0} \Delta L_0 + \frac{\partial}{\partial C_0} \Delta C_0 + \frac{\partial}{\partial G_0} \Delta G_0; \\ \Delta\beta &= \Delta\beta_R + \Delta\beta_L + \Delta\beta_C + \Delta\beta_G, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\Delta\beta$ – абсолютная погрешность коэффициента фазы. Отклонения первичных параметров линии определяются по приведенным выше выражениям.

Суммарная максимальная абсолютная погрешность коэффициента фазы определяется по формуле:

$$\Delta\beta_{\Sigma} = |\Delta\beta_{R1}| + |\Delta\beta_{G1}| + |\Delta\beta_{C1}| + |\Delta\beta_{L1}|. \quad (11)$$

Полученные функциональные зависимости влияния внешних факторов на параметры воздушной линии электропередачи являются основой для проектирования систем автоматической коррекции методических погрешностей в рефлектометрах и в релейной защите. Поскольку значение методической погрешности значительно превосходит значение инструментальной погрешности, то введение автоматической коррекции позволяет значительно повысить точность измерения расстояния до места аварии. Введение автоматической коррекции в устройствах релейной защиты позволит повысить достоверности работы защиты.

Список литературы

1. Половко, А.М. Основы теории надежности/ А.М. Половко, С.В. Гуров. – 2-е изд., перераб. И доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 704с.

2. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей/ Е.С. Вентцель. - 10-е изд., стер. - М.: «Академия», 2005. – 576 с.
3. Пугачев, В.С. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие/ В.С. Пугачев. – 2-е изд., исправл. и дополн. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 496 с.
4. Глазунов, Л. П. Основы теории надежности автоматических систем управления: учеб. пособие для вузов / Л. П. Глазунов, В. П. Грабовецкий, О. В. Щербаков. – Л. : Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.
5. Шилин, А.Н. Оперативная оценка надёжности в интеллектуальных электроэнергетических системах / Шилин А.Н., Доронина О.И. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2012. - № 11. - С. 58-61.
6. Конюхова, Е. А. Надежность электроснабжения промышленных предприятий / Е. А. Конюхова, Э. А. Киреева. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2001. – 92 с.
7. Мэзон, С. Электрические цепи, сигналы и системы: Пер. с англ. / С. Мэзон, Г. Циммерман. - М.: ИЛ, 1963. - 620 с.
8. Сигорский В.П., Математический аппарат инженера/ В.П. Сигорский. – 2-е изд., стереотип. – Киев: Техника, 1977. – 768 с.
9. Бессонов, А. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи / А. А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1978. – 528 с.
10. Характеристические параметры длинной линии [Электронный ресурс] // Радиолекторий. – Режим доступа: <http://www.radioforall.ru/2010-01-19-08-09-28/597-2010-01-20-09-05-28>
11. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. - Л. : Энергоатомиздат, 1985. - 248 с.
12. Аржанников, Е.А. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях: учеб. пособие / Е.А.Аржанников, А. М. Чухин. – Иваново : Ивановский гос.энергетич. ун-т, 1998. – 74 с.

13. Блинов И. В., Парус Е. В., Полищук Е. Ю. Мониторинг воздушных линий электропередачи с использованием индикаторов повреждений // Электроэнергетические системы и сети. – 2013. - №4. – С. 42 – 44.

В ходе работы над статьей использованы материалы, полученные при выполнении научного проекта по Гранту РФФИ: 18-47-34002 «Умная опора» воздушных линий активно-адаптивных электрических сетей».

©, Шилин А.А., Кузнецова Н.С., – 2020

УДК 620.91

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Юдаев Игорь Викторович, доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул.им. Ленина, 21, e-mail: etsh1965@mail.ru.

Даус Юлия Владимировна, кандидат технических наук, Азово-Черноморский инженерный институт, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, ул.им. Ленина, 21, e-mail: zirochka2505@gmail.com.

Аннотация

Интенсивное развитие солнечной энергетики сопровождается большим числом вопросов, и, в первую очередь, тех, которые связаны с экологической безопасностью такого рода способа трансформации солнечного излучения в электрическую энергию и безопасностью эксплуатации соответствующих генераторных установок. Анализ существующих разработок показывает, что если и имеется негативное влияние этой отрасли энергетики, то по сравнению с остальными оно минимально. Кроме того уже начинают эксплуатироваться

системы «агрофотовольтаики», которые на своем примере подтверждают возможность эффективного функционирования энергетической компоненты экономики сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова

солнечная энергетика; экологическая безопасность; агрофотовольтаика

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF IMPLEMENTATING AND OPERATING SOLAR GENERATION FACILITIES

Yudaev Igor Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, professor, Azov-Black Sea Engineering Institute, FSBEI HE "Don State Agrarian University", 347740, Russia, Rostov Region, Zernograd, Lenin st., 21, e-mail: etsh1965@mail.ru.

Daus Yulia Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences, Azov-Black Sea Engineering Institute, FSBEI HE "Don State Agrarian University", 347740, Russia, Rostov Region, Zernograd, Lenin st., 21, e-mail: zirochka2505@gmail.com.

Abstract

Intensive development of solar power is followed by a large number of questions, and, first of all, that which are connected with environmental safety of such way of transformation of sunlight in electric energy and safety of operation of the corresponding generating installations. The analysis of the existing developments shows that if there is a negative impact of this branch of power, then in comparison with the others it is minimum. Besides the agrofotovoltaik systems which on the example confirm a possibility of effective functioning power components of agricultural production economics already begin to be operated.

Key words

solar energy; environmental safety; agrophotovoltaics

Наиболее развиваемой в мире и в стране отраслью возобновляемой энергетики сегодня определяют солнечную энергетику во всех ее проявлениях при трансформации солнечного излучения в электрическую энергию – от

термодинамического цикла до фотоэлектрического преобразования [1, 2]. Не погружаясь в проблематику технической составляющей функционирования солнечных электростанций (СЭС) и экономической подоплеку производства «солнечного электричества» хотелось бы рассмотреть существующие и очень часто муссируемые в прессе вопросы экологического сопровождения строительства и эксплуатации этих станций.

СЭС, в которых преобразование энергии связано с концентрацией солнечного излучения, требуют отведения значительных земельных площадей, так на 1 МВт башенной СЭС термодинамического цикла для следящих гелиостатов необходима площадь около 0,035 км²; для фотовольтаических установок – 0,015-0,04 км², а при использовании солнечных концентраторов – 0,015-0,06 км². В целом территория, требуемая для размещения СЭС, на 1 МВт мощности, составляет по разным странам мира от 0,001 до 0,008 км² [3].

СЭС, работающая по термодинамическому циклу, размещенная в пустыне Мохаве (США), по оценке ученых-орнитологов, представляет серьезную опасность для птиц, пролетающих над ее территорией. Гигантские зеркала-концентраторы, а их размещено более 300000 на 1500 га, создают над собой высокотемпературные области, температура в которых иногда достигает 537°С, в которых пернатые сгорают дотла в течении нескольких секунд. Именно эти факты, заставили разработчика проекта начать корректировку своих планов по дальнейшей работе. Компания BrightSource не получила разрешения на открытие еще одной СЭС в Калифорнии, и поэтому они совместно с властями и чиновниками энергетической отрасли США проводят более глубокие исследования влияния такого производства на птиц [3].

В процессе эксплуатации СЭС воздействие на водные ресурсы со стороны фотопреобразовательных элементов минимально, так как вода используется лишь в процессе производства их компонентов. В тоже время принцип действия солнечных коллекторов предполагает использование воды в качестве теплоносителя, а в некоторых типах солнечных концентраторов расход воды, используемый для охлаждения системы, может достигать 2,5 тыс. л/МВт·ч.

Использованные, отработавшие свой срок фотоэлектрические модули традиционно относятся регуляторами к категории электронного мусора (e-waste). По оценке экспертов, в 2015 г. годовой мировой объём этого мусора составил 43,8 млн. метрических тонн, что равно лишь доли процента мирового объема электронных отходов. В то же время установленная мощность вводимых в эксплуатацию СЭС в мире растёт экспоненциально и поэтому через 10-15 лет проблема утилизации фотомодулей станет более чем серьезной проблемой.

В 2016 г. была опубликована работа «End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels», в которой подробно описываются технологии и представлены стратегии утилизации фотоэлектрических модулей. Так утверждается, что к 2030 г. в мире образуется (накопленным итогом) 1,7-8 млн. т. отходов фотовольтаики. Такое количество «солнечного электронного мусора» соответствует 3-16% сегодняшнего годового объема электронных отходов. В тоже время к 2050 г. объемы (накопленным итогом) фотоэлектрических модулей, отслуживших свой срок, увеличатся в разы – до 60-78 млн. т. Эксперты также считают, что годовой объем отходов отработанных солнечных панелей в 2050 г. (5 млн. т) будет соответствовать примерно 10% всего электронного мусора, образованного на земле в 2014 г. Стоит заметить, в работе прогнозируется, что глобальная установленная мощность солнечной энергетики достигнет к 2050 г. 4500 ГВт (против 400 ГВт сегодня) [4].

Сегодня многие производители предлагают услуги по утилизации фотоэлектрических модулей и создают специализированные предприятия по их переработке. Они действуют по принципу «расширенной ответственности производителя» (extended-producer-responsibility), который выходит за рамки стадий продажи и эксплуатации, и охватывает также период обращения с модулями после завершения их эксплуатации. Их переработка не лишена экономического смысла: модули состоят из стекла, алюминия, меди и полупроводниковых материалов, которые могут быть извлечены и использованы повторно. Модули из кристаллического кремния состоят (по массе) из стекла – 76%; полимерных материалов – 10%; алюминия – 8%; кремниевых

полупроводников – 5%; меди – 1%; серебра – менее 0,1% и др. металлов, включая олово и свинец. В тонкопленочных модулях доля стекла еще выше – 89% (CIGS) и 97% (CdTe). На сегодняшний день в Европе извлекается для повторного использования 65-70% (по массе) материалов, из которых состоят модули, что соответствует Директиве ЕС WEEE. Вопрос рентабельности их переработки не имеет однозначного ответа – так, например, при больших объемах отходов, минимум 20000 т в год, можно достигнуть безубыточности процессов переработки в рамках соответствующих предприятий [4].

Возможность использовать фотоэлектрические модули, работающие в гармонии с окружающей средой, лучше всего можно оценить, рассматривая перспективу их размещения на сельских территориях, не нанося ущерба экологии и не препятствуя системе ведения хозяйствования на земле. В рамках экспериментального проекта на Боденском озере (Германия) ученые из разных организаций решили экспериментально оценить пользу двойного использования почвенных площадей: сверху производится электроэнергия – снизу выращивается пшеница или картофель. Обеспечить продуктами питания большее количество людей и одновременно генерировать экологически чистую энергию – именно такова цель этого проекта. На пахотной площади размером в 2,5 га выращивают пшеницу, клевер, картофель и сельдерей. Часть посева растет под массивом фотоэлектрических модулей, а другая – обрабатывается без затенения конструкциями. Первые результаты показали: картофель под такими установками растет даже лучше, чем на свободной от тени площади, а вот пшеница – хуже. В течение нескольких лет исследователи будут наблюдать за разногласиями между двумя частями экспериментальной установки – в частности за изменениями в биологическом многообразии и уровне урожайности [5].

Для Германии это эксперимент, но подобные гибриды СЭС и фермерских полей уже эффективно эксплуатируются во Франции, Италии и прежде всего Японии [6], при этом опыт их использования показывает, что негативное влияние на эффективность сельского хозяйства отсутствует или минимально.

Список литературы

1. IRENA, Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation: paper). Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019, 73 p.
2. Юдаев И.В., Даус Ю.В. Солнечная электроэнергетика юга России: имеющийся потенциал, эксплуатируемые объекты, перспективы развития / И.В. Юдаев, Ю.В. Даус // Альтернативная энергетика в регионах России «АЭР-2018». Материалы молодежной научной конференции. Астрахань, 05-07.12.2018 г. – Астрахань: Астраханский ГТУ, 2018. – С. 45-49.
3. Юдаев И.В., Даус Ю.В., Гамага В.В. Возобновляемые источники энергии / И.В. Юдаев, Ю.В. Даус, В.В. Гамага. – С.-Пб.: Лань, 2020. – 328 с.
4. IRENA, Agency Photovoltaic Power Systems (IEA-PVPS): End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2016, 100 p.
5. Schindelea S. et. al. Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications / S. Schindelea et. al. // Applied Energy, 2020, 265, 114737, Pp. 1-19.
6. Sekiyama T, Nagashima A. Solar sharing for both food and clean energy production: performance of agrivoltaic systems for corn a typical shade-intolerant crop / T. Sekiyama, A. Nagashima // Environments, 2019; 6(6):65. <https://doi.org/10.3390/environments6060065>.

©, Юдаев И.В., Даус Ю.В., – 2020

Содержание

<i>Секция 1. Энергоэффективность и Энергосбережение</i>	11
Акмаева Р.И., Максимов И.В. Стратегии развития предприятий энергетики в посткризисный период.....	12
Безъязычный В.С., Костинский С.С., Троицкий А.И. Исследование энергоэффективности модуля «двухобмоточный трансформатор – нагрузка наружного освещения» методом условно постоянных коэффициентов.....	20
Доманов В.И., Билалова А.И. Повышение энергоэффективности электропривода транспортных механизмов	32
Зайнутдинова Л.Х., Казарвалиева А.С. Энергосбережение. Энергоэффективность. Этапы. Тенденции.....	37
Кирпичникова И.М., Махсумов И.Б., Сологубов А.Ю., Шестакова В.В. Особенности эксплуатации солнечных энергоустановок в различных климатических условиях	46
Козин А.А., Кирпичникова И.М. Анализ эффективности работы группы ветро-солнечных установок на базе вертикально-осевых ВЭУ	55
Кузнецов А.В., Ребровская Д.А., Петрова М.В. Совершенствование модели оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при КРМ в сети потребителя.....	65
Кузнецов А.В., Юренков Ю.П. Классификация токоограничивающих устройств в системах электроснабжения	70
Кулешова Г.С., Янченко С.А. Диагностика внутренних повреждений трансформатора на основе частотных характеристик без вывода из работы.....	75
Пташкина-Гирина О.С., Волкова О.С. Система управления микроклиматом теплиц в индивидуальных хозяйствах	81
Пташкина-Гирина О.С., Гусева О.А., Козырев Д.В. Моделирование процесса теплообмена в источнике низкопотенциальной геотермальной энергии при работе теплонасосной установки.....	86

Семенова Н.Г. Модели и методы принятия решения по энергоэффективному развитию систем электроснабжения	93
Соломин Е.В., Ковалёв А.А., Мирошниченко А.А., Алаззави О.Д.А. Моделирование аэродинамических потоков горизонтально-осевой ветроэнергетической установки для выявления углов отклонения в различных режимах	99
Соломин Е.В., Терехин А.А., Ковалёв А.А., Мартемьянова В.А., Рявкин Г.Н. Исследование рассогласования угла ориентации ротора горизонтально-осевой ветроэнергетической установки для создания алгоритма устранения ошибки.....	108
Темный Д.С., Цырук С.А., Шарафеддин К.Ф. Выбор сечения кабельных линий электропередачи по экономической плотности тока на объектах водоснабжения и водоотведения.....	117
Шилин А.Н., Шилин А.А., Муханнад Н.М. Преобразователь низкочастотных колебаний с электромагнитным подвесом	122
Шилин А.Н., Кузнецова Н.С., Коптелова И.А. Цифровое моделирование динамических процессов электротехнических устройств	132
 <i>Секция 2. Ценология. Методологические вопросы ценологии в фундаментальных и прикладных исследованиях.....</i>	
Гнатюк В.И. О ранговом гиперпараметрическом распределении техноценоза.....	145
Гурина Р.В., Морозова Е.В., Потапова М.В. Коронавирусная инфекция как проявление ценологического принципа самоорганизации живой материи.....	160
Гурина Р.В., Потапова М.В. Закон ценологического разнообразия в организации планетных систем.....	166
Кивчун О.Р. Прогнозирование электропотребления объектов регионального электросетевого комплекса на основе векторного рангового анализа.....	171

Клюев Р.В., Гаврина О.А. Мадаева М.З., Абаев Г.Я. Ранговый анализ высших гармонических составляющих по напряжению на предприятиях цветной металлургии	179
Кошарная Ю.В. Ценологическая оценка параметров электропотребления особых экономических зон	185
Луценко Д.В. Методика определения целевого рангового параметрического распределения в задаче снижения электропотребления	197
Матюнина Ю.В., Султаналиева Э.М., Малыш М.Е. Ценологический подход к моделированию графика нагрузки	204
Хорьков С.А. Паранепротиворечивая модель техноценоза.....	211
Шейнин А.А., Косенков О.Н. Критериально-алгоритмическая система закона энергетического баланса человеческого организма	221
<i>Секция 3. Экология и энергобезопасность</i>	239
Ажмухамедов И.М., Выборнова О.Н. Оценка рисков энергобезопасности на примере филиала ПАО «РОССЕТИ ЮГ» – «АСТРАХАНЬЭНЕРГО»	240
Безруких П.П., Карабанов С.М., Безруких П.П. (мл.) О роли возобновляемой энергетики в энергетической безопасности мира и России.....	245
Братышев С.Н., Ключарев А.Ю. Методы прогнозирования генерации фотоэлектрических станций.....	257
Бычков А.В. Солнечно-земные связи как источник возникновения квазипостоянных токов.....	262
Грибков С.В. Развитие ветроэнергетики в мире и России в период до 2020 года.....	267
Даус Ю.В., Десятниченко Д.А., Юдаев И.В. Фотоэлектрическая станция как элемент системы электроснабжения предприятия, перерабатывающего сельскохозяйственную продукцию	285
Зайнутдинова Л.Х., Хафизов Р.К., Абакаев И.И., Зайнутдинов Р.А. Исследование эксплуатационных характеристик фотоэлектрической станции солнечного катамарана.....	290

Ильичев В.Г., Зайнутдинова Л.Х. Алгоритм работы контроллера автономной фотоэлектрической станции.....	300
Илюшин П.В. Применение автоматической частотной разгрузки для обеспечения энергобезопасности потребителей в энергорайонах с распределенной генерацией.....	308
Лихтер А.М., Филинков Л.И., Джамбеков Р.Г. Применение методов машинного обучения для определения параметров факела в топке котлоагрегата с целью снижения выбросов оксидов азота от стационарных источников.....	320
Нефедова Л.В., Соловьев Д.А. Природно-климатические изменения и обеспечение энергетической безопасности в арктической зоне РФ.....	328
Соловьев Д.А., Нефедова Л.В., Соловьев А.А. Использование вейвлет-анализа в изучении климата арктического региона.....	334
Тягунов М.Г., Шевердиев Р.П. Влияние режима энергоустановок ВИЭ на энергобезопасность изолированных энергорайонов.....	339
Тягунов М.Г. Влияние природных, социальных, экономических и политических факторов на структуру энергосистем.....	351
Урумбаева О.Б., Шиккульская О.М. Прогноз интеллектуального технологического перехода энергетической отрасли.....	357
Филинков Л.И., Лихтер А.М. Определение коэффициента избытка воздуха в топках котлов на основе технологии нейронных сетей с целью снижения вредности продуктов сгорания.....	362
Шилин А.А., Кузнецова Н.С., Проектирование электрических сетей с учетом геоинформационных факторов.....	369
Юдаев И.В., Даус Ю.В. Экологические аспекты внедрения и эксплуатации объектов солнечной генерации.....	377

Материалы научной конференции
Энергоэффективность. Ценология.
Экология и Энергобезопасность

16-19 сентября 2020 года
г. Астрахань

Редакция авторская

Издатель: Сорокин Роман Васильевич
414040, Астрахань, пл. К. Маркса, 33, 5-й этаж

Подписано в печать 26.08.2020 г. Формат 60×90/16
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 24,25
Тираж 100 экз.

Отпечатано в Астраханской цифровой типографии
(ИП Сорокин Роман Васильевич)
414040, Астрахань, пл. К. Маркса, 33, 5-й этаж
Тел.: (8512) 54-00-11, e-mail: RomanSorokin@list.ru