

Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева  
(ИСЭМ) СО РАН



**МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ  
ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
БОЛЬШИХ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ**

Выпуск 70

Методические и практические проблемы надежности  
систем энергетики

Книга 1

Ответственный редактор:  
член-корреспондент РАН Воропай Н.И.

г. Иркутск

2019 г.

УДК 621.311.1  
М54

Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 70. Методические и практические проблемы надежности систем энергетики. В 2-х книгах. / Книга 1 / Отв. ред. Н.И. Воропай. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2019, 371 с.

ISSN 2413-8665

В сборнике рассматривается широкий круг вопросов, связанных с методическими и практическими проблемами надежности систем энергетики: актуальные проблемы надежности систем энергетики в условиях цифровизации экономики; цифровизация энергетики и трансформация задач надежности систем энергетики; методы и средства обеспечения надежности систем энергетики с учетом трансформации их свойств при использовании инновационных технологий; взаимосвязь проблем надежности энергоснабжения и качества электрической энергии и энергоресурсов; информационные технологии и их роль в решении задач надежности интеллектуальных систем энергетики; программное и информационное обеспечение задач надежности развивающихся систем энергетики; проблемы стандартизации надежности систем энергетики; надежность и режимная управляемость электрических систем с АЭС и ВИЭ.

Материалы сборника могут быть полезны для работников научно-исследовательских, проектных и эксплуатационных организаций, преподавателей, аспирантов и магистрантов вузов, занимающихся проблемами исследования и обеспечения надежности систем энергетики.

Редакционная коллегия:	академик АН РУз член-корр. РАН к.т.н. д.т.н. д.т.н. д.т.н. д.т.н. д.т.н.	К.Р. Аллаев, Н.И. Воропай, Г.Б. Гулиев, А.Л. Куликов, А.Н. Назарычев, Б.В. Папков, С.М. Сендеров, Ю.Я. Чукреев.
------------------------	---	--

Утверждено к печати Институтом систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН

Все статьи, включенные в сборник, прошли рецензирование и получили положительную оценку.

ISSN 2413-8665

© ИСЭМ СО РАН

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	7
<b>Рогалев Н.Д., Молодюк В.В., Исамухамедов Я.Ш. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ И ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ .....</b>	<b>8</b>
<b>Ершов М.С., Жалилов Р.Б., Ситдииков Р.А. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ .</b>	<b>18</b>
<b>Аллаев К.Р. ПЕРСПЕКТИВЫ ДИВЕРСИФИКАЦИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УЗБЕКИСТАНА ..</b>	<b>27</b>
<b>Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. ПЕРСПЕКТИВНОЕ РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ОЭС ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ С ВНЕДРЕНИЕМ УСТРОЙСТВ FACTS И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ .....</b>	<b>37</b>
<b>Беляев Н.А., Егоров А.Е., Коровкин Н.В., Чудный В.С. УЧЕТ КРИТЕРИЯ БАЛАНСОВОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ....</b>	<b>46</b>
<b>Чукреев Ю.Я., Чукреев М.Ю. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ УЧЕТА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЗАДАЧЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЛАНСОВОЙ НАДЕЖНОСТИ ЕЭС РОССИИ .....</b>	<b>54</b>
<b>Илюшин П.В., Березовский П.К., Филиппов С.П. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ГЕНЕРИРУЮЩИМ УСТАНОВКАМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ УЧАСТИЯ В РЕГУЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕНИЯ .....</b>	<b>64</b>
<b>Авезова Н.Р., Далмурадова Н.Н., Юлдашева Ш.А. АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ВОПРОСАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....</b>	<b>74</b>
<b>Сендеров С.М., Рабчук В.И. О СИСТЕМЕ ОСНОВОПОЛАГАЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ДОКТРИНЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РФ В ЧАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОГО ТОПЛИВО- И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ВНУТРИ СТРАНЫ .....</b>	<b>84</b>
<b>Аллаева Г.Ж. ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АО «УЗБЕКНЕФТЕГАЗ» В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ .....</b>	<b>94</b>

<b>Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Есемуратова Ш., Джуманиязова Н.</b> ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И РЕЖИМНОЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН .....	101
<b>Сытдыков О.Р., Мирзабаев А.М., Махкамов Т.А., Мирзабеков Ш.М.</b> ПАТТЕРНИЗАЦИЯ АСПЕКТОВ РАЗВИТИЯ МАЛОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УЗБЕКИСТАНЕ .....	111
<b>Хамидов Ш.В.</b> К МОДЕЛИРОВАНИЮ УСТРОЙСТВ FACTS И ИХ ПРИМЕНЕНИЮ НА МЕЖСИСТЕМНЫХ СВЯЗЯХ ОЭС ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ .....	119
<b>Ахметова И.Г., Лапин К.В., Ахметов Т.Р., Бальзамова Е.Ю.</b> ЦИФРОВИЗАЦИЯ УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ .....	125
<b>Насиров Т.Х., Непомнящий В.А., Радионова О.В.</b> АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИ НЕПОЛНОФАЗНЫХ РЕЖИМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ИХ РАСЧЕТА .....	135
<b>Бык Ф.Л., Мышкина Л.С.</b> АГРЕГАТОР – ЭЛЕМЕНТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ .....	144
<b>Камалов Т.С., Халиков С.С.</b> ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ КРУПНЫХ НАСОСОВ СИСТЕМ МАШИННОГО ОРОШЕНИЯ .....	153
<b>Сендеров С.М., Смирнова Е.М., Воробьев С.В.</b> АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТИ СИСТЕМ ТОПЛИВОСНАБЖЕНИЯ РЕГИОНОВ – ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА В УСЛОВИЯХ ПРЕКРАЩЕНИЯ РАБОТЫ ОСОБО ЗНАЧИМЫХ ОБЪЕКТОВ ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ .....	162
<b>Береснева Н.М., Пяткова Н.И.</b> ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УЯЗВИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУРАХ ЭНЕРГЕТИКИ .....	173
<b>Крупенёв Д.С., Ковалев Г.Ф., Лебедева Л.М.</b> ПОРЯДОК ВЫВОДА ИЗ РАБОТЫ ГЕНЕРИРУЮЩИХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ С ПОЗИЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЛАНСОВОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	181
<b>Мирзаабдуллаев А.О.</b> ИСТОЧНИКИ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ПРИ РЕМОНТЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ .....	189

<b>Подковальников С.В., Семёнов К.А., Хамисов О.В. ДОЛГОСРОЧНАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ГЕНЕРИРУЮЩИМИ МОЩНОСТЯМИ В РЫНОЧНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ .....</b>	<b>198</b>
<b>Шахмаев И.З., Максютлов А.А. ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ .....</b>	<b>207</b>
<b>Шевелева Г.И. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ .....</b>	<b>214</b>
<b>Алимходжаев Ш.К., Таниев М.Х. ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ .....</b>	<b>223</b>
<b>Колосок И.Н., Коркина Е.С., Тихонов А.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ УСТРОЙСТВ FACTS В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭЭС .....</b>	<b>228</b>
<b>Колосок И.Н., Гурина Л.А. ОЦЕНКА РИСКОВ УПРАВЛЕНИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ ЭЭС НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ .....</b>	<b>238</b>
<b>Жилкина Ю.В., Воденников Д.А. НА ПУТИ К ЦИФРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ (ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПАНИЯМИ ТЭК РОССИИ) .....</b>	<b>248</b>
<b>Пирматов Н.Б., Холбутаева А.К. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДА НА ПУСКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ .....</b>	<b>257</b>
<b>Осак А.Б., Панасецкий Д.А., Бузина Е.Я. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ И РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ С ПОЗИЦИИ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ ЭЭС С УЧЕТОМ УГРОЗ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ .....</b>	<b>263</b>
<b>Комилов А.Г. АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ...</b>	<b>273</b>
<b>Аксаева Е.С., Глазунова А.М. ВЛИЯНИЕ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА РЕЗУЛЬТАТ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭЭС .....</b>	<b>278</b>
<b>Авезова Н.Р., Матчанов Н.А., Далмурадова Н.Н. ВОЗВОЗВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА УЗБЕКИСТАНА: ВЫЗОВЫ И РЕШЕНИЯ .....</b>	<b>288</b>

УДК 621.3+338

## НА ПУТИ К ЦИФРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ (ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПАНИЯМИ ТЭК РОССИИ)

Жилкина Ю.В.\* , Воденников Д.А.

### Аннотация

Сегодня цифровизация все больше «захватывает» мировую экономику. Включение России в этот тренд – вопрос сохранения отечественными компаниями своих позиций на международной арене. В перспективе, создание собственных высокотехнологичных решений позволит нашей стране не только выиграть конкурентную гонку на традиционных рынках, но и выйти на новые рубежи и занять лидирующие позиции на глобальном рынке комплексных систем и сервисов интеллектуальной энергетики.

**Ключевые слова:** цифровая экономика, цифровая энергетика, цифровизация, инновации, интеллектуальные сети, трансформация.

### Введение

Инновационное развитие – драйвер повышения эффективности электроэнергетической отрасли, а также надежности, качества и экономичности энергоснабжения потребителей на базе современных технологий с превращением их в интеллектуальное ядро технологической инфраструктуры электроэнергетики.

Приоритетным направлением инновационного развития ПАО «ФСК ЕЭС» является внедрение цифровых технологий и платформ. В современных условиях, использование данных в цифровой форме являются ключевым фактором производства во всех сферах экономики, условием конкурентоспособности и экономического развития страны, обеспечения роста качества жизни людей. Переход на цифровой режим работы – ответ на внешние технологические вызовы и будущие структурные изменения в энергосистеме.

### Основные тенденции развития энергетического комплекса

Трансформация мировой энергетики осуществляется в рамках концепций «чистого» («зеленого», «низкоуглеродного») устойчивого развития путем внедрения новых технологий (включая цифровые). В числе основных тенденций сектора можно указать следующие:

- создание новой и модернизация действующей транспортной инфраструктуры (газопроводов, нефтепроводов, продуктопроводов высокой пропускной способности, проложенных в том числе в труднодоступных и удаленных регионах, морских и сухопутных терминалов для перевалки топлива, сетей нового поколения, других объектов);
- модернизация сегмента тепловой генерации (увеличение КПД кот-

---

\*ПАО «ФСК ЕЭС», г. Москва, Россия, e-mail: [zhilkina.yulia@gmail.com](mailto:zhilkina.yulia@gmail.com)

лов и турбин газовых и угольных ТЭС/ТЭЦ, снижение потребления топлива, когенерация, переключение угольных электростанций на газ и биомассу, изменения качественного состава используемого газа путем включения в его состав водорода, других веществ, способствующих снижению уровня вредных выбросов в окружающую среду, повышению теплотворной способности энергоносителя и другие способы);

- расширение ВИЭ-мощностей в электро- и теплоэнергетике (использующих энергию воды, ветра, солнца, тепла Земли, биомассы, бытовых и промышленных отходов);

- модернизация атомной отрасли путем внедрения технологий, позволяющих снизить производственные и эксплуатационные риски, создавать энергоблоки малой мощности (кроме отдельных стран, не развивающих это направление по социальным, экономическим и иным соображениям);

- внедрение энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий во всех отраслях энергетического хозяйства;

- строительство воздушных, кабельных и комбинированных линий дальней и сверхдальней передачи переменным и постоянным током;

- внедрение технологий улавливания и поглощения углекислого газа, серы, других вредных веществ, создание хранилищ углекислоты;

- создание активно-адаптивных сетей («smart», «умных») распределительных систем, объединяющих (1) промышленные объекты генерации различной мощности и типа (по виду энергоносителя и используемых технологий преобразования вещества/ресурса в энергию), (2) централизованные накопители энергии, (3) электрический транспорт, (4) бытовые энергоустановки, электрические системы;

- частичная децентрализация систем энергоснабжения.

Развитые государства контролируют ситуацию в мировой энергетике, направляют ход развития экономическими и другими способами: путем формирования общественного мнения, разработки стандартов, систем показателей, рекомендаций политикам, т.е. «подталкивают» общество к принятию конкретных решений. В 2018 году «Международный экономический форум» впервые представил рейтинг 114 государств, ранжированных с использованием индекса «Energy Transition Index» (см. таблицу 1), который по нескольким десяткам показателей оценивает уровень готовности национальной энергетике к интеграции в будущую безопасную, устойчивую, доступную и всеобщую энергетическую систему, создание которой также является одной из глобальных задач.

Таблица 1. Индекс «Energy Transition Index-2018» отдельных стран мира

Место в рейтинге	Страна	Индекс
1	Швеция	75,8
2	Норвегия	75,0
3	Швейцария	72,9
4	Финляндия	72,4
5	Дания	72,4
54	Армения	55,3
<b>70</b>	<b>Россия</b>	<b>50,9</b>
75	Казахстан	49,7
112	Киргизия	39,3

## Новые технологии и энергетика

Внедрение цифровых (а также космических и биотехнологий) в энергетический сектор началось более полувека назад и продолжает осуществляться в первоочередном порядке, вслед за отраслями военно-промышленного комплекса, неуклонно, на всех технологических этапах и «этажах» (в ходе разведки месторождений, при производстве, транспортировке, хранении, переработке, распределении энергии, утилизации отходов, в торговле энергоносителями) с целью оптимизации производства, повышения надежности, доступности безопасности энергоснабжения (см. таблицу 2).

Таблица 2. Использование цифровых технологий в мировой энергетике в 2018 г.

Вид деятельности	Вид работ/технология	Страна-лидер
Геологоразведка	Аэрокосмическая съемка поверхности Земли, построение виртуальных моделей недр и схем добычи (геолого-математическое моделирование)	США, Россия
Бурение скважин	Со значительным отходом от вертикали и высокой протяженности (около 15 км), самоходные, несамоходные, морские буровые платформы	США, Франция, Россия
Добыча жидких и газообразный углеводородов	Гидроразрыв пласта, технологии добычи в условиях Арктики, в Мировом океане на шельфе и значительных глубинах, подводные безлюдные комплексы добычи	США, Канада, Норвегия, Франция, Россия, Китай
Подготовка к транспортировке и транспортировка нефти и газа	Очистка, перевод в различные фазы, перевалка и транспортировка по суше и морю	Россия, США, Канада, Катар, Австралия, Китай
Переработка нефти и газа	Выпуск нано- и биополимеров, биотехнологических, антикоррозионных, кристаллических, огнестойких материалов, материалов для преобразования энергии, биосенсоров, фармацевтической продукции	США, Япония, Германия, Великобритания, Франция, Китай, Индия, Бразилия, Россия
Производство и переработка угля	Газификация, гибкие роботизированные системы на базе искусственного интеллекта, безлюдное производство, беспилотный транспорт (шахты, разрезы и др.), нано- и биотехнологии переработки угля и отходов	Великобритания, Япония, США, ФРГ, Чехия, Россия, ЮАР
Атомный сектор	Компьютерное проектирование и управление жизненным циклом продукции, системы безопасности, гибкие роботизированные системы на базе искусственного интеллекта, безлюдное производство	Россия, США, Франция, Великобритания, ФРГ
Электроэнергетика	Активно-адаптивные сети, передача электроэнергии постоянным током, передача переменным током на базе сверхпроводников	США, Евросоюз, Республика Корея, Китай, Индия, Россия
Добыча газогидратов	На суше, в Мировом океане	Китай, Япония, США, Канада
Возобновляемая энергетика	Солнечная, геотермальная энергетика, ветроэнергетика морская и наземная, биотопливные технологии	США, Бразилия, ФРГ, Дания, Норвегия, Испания, Исландия, Россия, Китай, Япония



Новые технологии позволяют повысить эффективность решения многоплановых задач устойчивого «чистого» развития, в том числе таких, как: (1) оптимизация потребления ресурсов, (2) снижение антропогенного влияния на окружающую среду, (3) увеличение эффективности отраслей ТЭК, (4) повышение предсказуемости спроса и предложения на энергию, (5) расширение охвата рыночными отношениями потребителей и производителей, снижение уровня «энергетической» бедности, (6) повышение уровня жизни населения, и даже (7) сокращение стоимости единицы энергии. Цифровые технологии преобразуют не только сферу производства, но и сектор транспортировки/распределения электроэнергии, развитие которого идет в направлении создания активно-адаптивных («smart», интеллектуальных) электроэнергетических сетей, призванных решить ключевые задачи устойчивого развития, в том числе:

- объединить в общую/единую энергетическую систему генерирующие объекты, которые отличаются по мощности и типу используемого энергоносителя, физически расположенные на коротких, дальних и сверхдальних дистанциях;

- обеспечить непрерывный контроль за состоянием оборудования, перетоками, накоплением и распределением электроэнергии;

- расширить рамки взаимодействия участников рынка (потребителей с поставщиками и между собой в различных комбинациях), реализовать принцип «направление в сеть избытков – получение энергии при нехватке».

В строительстве «интеллектуальных» сетей наибольшие успехи демонстрируют страны объединенной Европы, США, Япония, Китай, Республика Корея, Австралия. С технической точки зрения «умные» сети пока нельзя отнести к прорывным решениям, ввиду того обстоятельства, что их создание и развитие базируются на известных принципах и технологиях.

Иными словами, в современном сетевом комплексе идет процесс глубокой модернизации. Внедряется более эффективное, надежное и безопасное оборудование (зачастую - на новой элементной базе), при этом создаваемые сетевые структуры продолжают выполнять функцию «замыкающих» технологий для текущего технологического уклада. Политика всеобъемлющей цифровизации смыкается с глобальной политикой по противодействию климатическим изменениям, генезис которых наукой не определен. Основными выгодоприобретателями этих процессов являются крупные и сверхкрупные топливно-нефтяные компании, обладающие высоким научно-технологическим потенциалом, развитой производственной базой и торгово-сбытовой инфраструктурой.

### **Трактовка понятия «цифровизация»**

Центр развития цифровой энергетики настаивает на наличии в терминах «цифровая энергетика» и «цифровизация» своего, уникального

наполнения. В цифровой энергетике как части цифровой экономики главное понятие — «экономика». Следует отметить, что термины «цифровая энергетика» и «цифровизация» появились в контексте процессов формирования цифровой экономики, и имеет смысл рассматривать их только в этой связке. Из множества определений цифровой экономики следует, что особым ее предметом является экономическая деятельность, коммерческие трансакции и профессиональные взаимодействия, построенные на новых принципах за счет использования информационно-коммуникационных технологий. Следовательно, и сутью цифровой энергетике является пересборка и развитие совокупности производственных и экономических отношений в отрасли на основе цифровых подходов и средств. Итого, в словосочетании «цифровая экономика» (а значит и «цифровая энергетика») определяющим словом является «экономика», а прилагательное «цифровая» лишь указывает на средства достижения цели.

Понятие «цифровая экономика» лучше всех обозначил в 1995 г. ученый-информатик Николас Негропonte [1]. Он использовал следующую метафору для возможности представления сущности этого понятия: «Переход от движения атомов к движениям битов» и представил понятия веса, сырья и транспорта – недостатками прошлого, ставя им в противовес понятия отсутствие веса товаров, виртуальность.

По мнению Европейского сообщества (ЕС), цифровая экономика есть результат трансформационных эффектов новых технологий общего назначения в области информации и коммуникации [2]. Это повлияло на все секторы экономики и социальной деятельности, например, розничная торговля, транспорт, финансовые услуги, производство, образование, здравоохранение, средства массовой информации и т.д.

Цифровизацию в широком смысле можно рассматривать как тренд эффективного мирового развития только в том случае, если цифровая трансформация информации отвечает следующим требованиям: она охватывает производство, бизнес, науку, социальную сферу и обычную жизнь граждан; сопровождается лишь эффективным использованием ее результатов; ее результаты доступны пользователям преобразованной информации; ее результатами пользуются не только специалисты, но и рядовые граждане; пользователи цифровой информации имеют навыки работы с ней.

Цифровизация пришла на смену информатизации и компьютеризации, когда речь шла в основном об использовании вычислительной техники, компьютеров и информационных технологий для решения отдельных экономических задач. Большие возможности цифрового представления информации приводят к тому, что она (цифровизация) формирует уже целостные технологические среды «обитания» (экосистемы, платформы), в рамках которых пользователь может создавать для себя нужное ему дружественное окружение (технологическое, инструментальное, методическое, документальное, партнерское и т. п.) с тем, чтобы решать

уже целые классы задач. [3]

Суть цифровой электроэнергетики – создание информационно-телекоммуникационной инфраструктуры и аппаратно-программных средств, обеспечивающих технологическую возможность применения решений промышленного интернета, мероприятия по совершенствованию нормативно-правовой и нормативно-технической документации, меры по кадровому и информационному обеспечению [3, с. 29]. Основой цифровизации является автоматизация, в том числе внедрение интеллектуального учёта электроэнергии.

### Основные документы

07 мая 2018 г. Президентом РФ В.В. Путиным был подписан Указ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». В Указе предельно концентрированно определены приоритеты по цифровому преобразованию экономики страны, включая конкретно и отрасли энергетики.



Цифровая трансформация (цифровизация) в энергетике — это, прежде всего, создание новых бизнес-моделей, сервисов и рынков с опорой на возможности цифровой экономики. Цифровизация – это не только модный технологический процесс, но и крайне необходимый! «Цифра» в энергетике должна дать такой же качественный информационный скачок, какой в своё время дал приход IT-технологий. Появление компьютерных сетей в разы увеличило эффективность всех производственных процессов и вывело мир на новый уровень коммуникативности. Энергетика – одна из последних сфер, которые ещё не цифровизированы. Очевидно, что для подобной модернизации нужны немалые затраты. Однако она в свою очередь даст положительные эффекты: откроет возможности для применения нового оборудования и новых подходов, которые позволят предоставлять потребителям услуги по снабжению электроэнергией в более комфортном режиме. Интеллектуализация энергетики кардинально

изменит скорость, надёжность и стоимость работ – а это экономия как трудовых ресурсов, так и денежных средств.

#### *Задачи цифровой трансформации электроэнергетики*

Основная задача цифровой энергетики — уничтожение резко растущих издержек интеграции распределенной энергетики и рыночных транзакций. Цель цифровой трансформации – изменение логики процессов и переход компании на риск-ориентированное управление на основе внедрения цифровых технологий и анализа больших данных.

Задачи цифровой трансформации: (1) Адаптивность компании к новым задачам и вызовам; (2) Улучшение характеристик надежности электроснабжения потребителей; (3) Повышение эффективности компании; (4) Повышение доступности электросетевой инфраструктуры; (5) Развитие кадрового потенциала и новых компетенций; (6) Диверсификация бизнеса компании за счет дополнительных сервисов.

Основные принципы цифровой трансформации:

в рамках компании: - обеспечение наблюдаемости сетевых объектов и режимов их работы; - автоматизация управления технологическими и корпоративными процессами; - применение принципов автоматизированного риск-ориентированного управления; - построение цифровой CIM-модели по единому отраслевому стандарту и информационное взаимодействие со всеми контрагентами (сети, потребители и другие субъекты электроэнергетики); - интеграция и объединение различных ИТ-систем на иерархических уровнях; - интеграция сетевых информационных (технологических и корпоративных) систем;

в отношении регулируемых видов деятельности компании: - обеспечение снижения потерь электроэнергии; - оптимизация операционных и капитальных затрат; - сокращение сроков технологического присоединения; - повышение надежности электроснабжения потребителей; - повышение открытости и прозрачности деятельности компании; - сдерживание темпов роста тарифов;

в отношении контура взаимодействия с другими субъектами: - создание общедоступной, надежной, прозрачной и проверяемой системы интеллектуального коммерческого учета электроэнергии; - создание инфраструктуры для простого и эффективного взаимодействия с потребителями (управление нагрузкой, распределенная генерация, «просьюмеры»); - создание возможности для автоматизации контрактных отношений (smart-контракты) в части оказания услуг по передаче, технологическому присоединению и др.;

в отношении развития новых нерегулируемых услуг: - формирование принципиально новой инфраструктуры в целях доступного, эффективного и гибкого процесса обмена электроэнергией между всеми заинтересованными участниками рынка с минимальными транзакционными издержками.

В основе цифровой трансформации лежит совершенствование единой технической политики компании с учетом необходимых изменений технологических и корпоративных процессов, разработки новых отраслевых стандартов (СТО). Указанные изменения должны базироваться на он-

тологической модели деятельности, формирование которой позволит создать и реализовать указанные задачи с учетом требований сетецентрического подхода.

Реализация стоящих перед российской электроэнергетикой задач может быть эффективно осуществлена эволюционным путем с применением инновационных, прорывных технологий и решений, в том числе посредством полного перехода к цифровым сетям, цифровым подстанциям и цифровому управлению компанией. Кроме того, решение данных задач откроет возможности предоставления новых сервисов, таких как формирование тарифного меню, подключение малой распределенной генерации, создание инфраструктуры для электрозаправок и т.д. [5].

Цифровая трансформация позволит повысить энергетическую безопасность регионов страны путем создания новых инфраструктурных возможностей и обеспечить новый уровень качества жизни населения благодаря новым стандартам обслуживания.

В качестве наиболее вероятных системных эффектов от внедрения цифровых технологий ожидаются: повышение надежности электроснабжения и сокращение длительности перерывов в электроснабжении, возможность оптимизации энергопотребления на уровне конечных потребителей, повышение эффективности использования активов, сокращение потерь электроэнергии, доступность для возобновляемой распределенной энергетики. В табл. 3 указаны основные эффекты от реализации Концепции.

Таблица 3. Основные эффекты от реализации Концепции

Субъект	Эффекты
Государство	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Обеспечение энергонезависимости и инфраструктурной обеспеченности развития экономики.</li> <li>✓ Опережающая модернизация базовой инфраструктурной компании.</li> <li>✓ Радикальное повышение качества и доступности услуг по передаче и технологическому присоединению, развитие конкурентных рынков сопутствующих услуг.</li> <li>✓ Сдерживание роста тарифов.</li> </ul>
Компания	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Получение экономии в реализации инвестиционных программ, а, соответственно, возможность опережающего развития сетевой инфраструктуры при увеличении доходности бизнеса компании. Обеспечение готовности инфраструктуры к развитию новых вызовов, повышение параметров качества и надежности энергоснабжения потребителей, а также: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ увеличение скорости и качества принятия решений на всех уровнях управления компании;</li> <li>✓ снижение потерь за счет своевременного выявления бездоговорного и неучтенного потребления электроэнергии;</li> <li>✓ сокращение издержек на текущую эксплуатацию оборудования (ОРЕХ) – переход от планового ремонта к ремонту по состоянию;</li> <li>✓ оптимизация логистики поставки оборудования;</li> <li>✓ повышение уровня компетенции персонала.</li> </ul> </li> </ul>
Потребители	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Повышение качества и доступности услуг по передаче электроэнергии и технологическому присоединению.</li> <li>✓ Возможность участия в регулировании собственного потребления.</li> <li>✓ Сдерживание темпов роста тарифов.</li> </ul>

## Опыт внедрения элементов Цифровых подстанций в ПАО «ФСК ЕЭС» - ПС 500 кВ Тобол

В статичном режиме работы энергосистемы в устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) от оптических трансформаторов тока (ТТОЭ) и электронных трансформаторов напряжения (ДНЕЭ) поступает стабильная и точная информация о первичных токах и напряжениях, которая совпадает с информацией от традиционных ТТ и ТН. При внешних коротких замыканиях или при производстве коммутаций первичного оборудования зачастую наблюдается искажение формы синусоиды токов или напряжений.

На основании анализа работы цифровой системы ПС 500 кВ Тобол на сегодняшний день пока невозможно сделать вывод о получении устройствами РЗА стабильно надёжной и достоверной информации от новых ТТ и ТН. Тестирование и отладка работы ТТОЭ и ДНЕЭ и другого оборудования шины процесса в «полевых» условиях в рамках контроля рабочей группой дает возможность довести данное оборудование до готовности к массовому внедрению при получении положительных результатов.

Предполагаемые ключевые эффекты от цифровизации следующие:

- Снижение продолжительности перерывов электроснабжения и средней частоты технологических нарушений (SAIDI / SAIFI) на 5% к 2024 году;
- Повышение уровня технического состояния производственных фондов электроэнергетики для объектов на 5% к 2024 году без повышения затрат на поддержание технического состояния;
- Снижение на 20% аварийности на объектах электроэнергетики, связанной с техническим состоянием производственных фондов к 2024 году.

### Заключение

Цифровизация в энергетике необходима, так как она позволит обеспечить бесперебойность электроснабжения потребителей путем опережающего предотвращения аварийных ситуаций. Крайне важно в этой мировой технологической гонке не остаться в аутсайдерах. Поэтому сейчас надлежит определить ключевые направления, обеспечить должное финансирование проектов, сохранить возможность быть в технологических лидерах.

### Литература

1. Добрынин А.П., Черных К.Ю., Куприяновский В.П., Куприяновский П.В., Синягов С.А. Цифровая экономика - различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и другие) // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 2016, vol. 4, no. 1
2. OECD Digital Economy Outlook 2015, OECD 15 июля 2015 г. OECD Publishing [Электронный ресурс] URL: [https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-digital-economy-outlook-2015\\_9789264232440-en#page26](https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-digital-economy-outlook-2015_9789264232440-en#page26) дата обращения: 19.07.2019.
3. Жилкина Ю.В. Развитие электроэнергетики: вертикальная интеграция или дальнейшая либерализация отрасли? // Вестник КГЭУ, 2018, № 2 (38), с.106-114.
4. Ливинский П.А. Основой для будущих процессов трансформации в электроэнергетике станет цифровизация сетей // Сайт ПАО «Россети» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rosseti.ru/press/news/index.php?ELEMENT\\_ID=34079](https://www.rosseti.ru/press/news/index.php?ELEMENT_ID=34079) (дата обращения: 03.07.2019).
5. Цифровой переход к электроэнергетике России // Экспертно-аналитический доклад под ред. Княгинина В.Н., Д.В. Холкина. Москва: Изд-во Проектного центра развития инноваций Фонда «Центр стратегических разработок, 2017, с. 22-26.