



# Микрогенерация и микросети в сельской местности для эффективной трансформации электроэнергетики

Рецензия эксперта на статью получена 30.01.2025 [The expert review of the article was received on January 30, 2025]

## Национальный проект развития сельскохозяйственных территорий

С 2020 года в Российской Федерации проводится реализация государственной программы «Комплексное развитие сельских территорий на период 2020–2025 годов», которая ставит своей целью экономический рост и увеличение объемов производства сельскохозяйственной продукции с сопутствующим повышением эффективности производственных процессов, в том числе за счёт совершенствования инфраструктуры сельских территорий для создания комфортных условий работы и проживания сельского населения, а также развития рынка труда (увеличения кадрового потенциала) на этих территориях. Главной целью Программы является создание современного облика сельских территорий, обеспечение данных территорий инженерной и транспортной инфраструктурой, включая компактную жилищную застройку с созданием внутрипосёлковых электрических сетей, уличного освещения и благоустройства, а также привлечение квалифицированных кадров для работы в сельской местности для развития агропромышленного комплекса (АПК) в целом [1].

Программа предусматривает предоставление субсидий сельскому муниципальному образованию на строительство, реконструкцию, модернизацию и капитальный ремонт объектов жилой, социальной и культурной сферы (школьные образовательные и общеобразовательные организации, амбулаторно-поликлинические учреждения, социокультурные и многофункциональные центры, учреждения культурно-досугового типа, спортивные здания и сооружения), развитие энергообеспечения (блочно-модульных котельных, газопоршневых установок, газгольдеров, распределительных газовых и электрических сетей внутри муниципальных образований и сетей освещения населённых пунктов при обязательном использовании энергосберегающих технологий), развитие телекоммуникаций и средств передачи данных, обеспечивающих в том числе возможность подключения к глобальной сети Интернет.

В Программе также предусмотрена реализация в муниципальных районах инвестиционных проектов в сфере агропромышленного комплекса по реконструкции и модернизации объектов производства, переработки и реализации сельско-

УДК 621.31. Научная специальность 2.4.5.

## Развитие микрогенерации и микросетей в сельской местности для эффективной трансформации электроэнергетики на примере Краснодарского края

**С. И. Белов**, к.т.н., доцент, кафедра электроснабжения и теплоэнергетики, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА, г. Москва); **Н. Ф. Дрига**, технический директор, ООО «Солар-профит» (г. Краснодар); **Д. А. Коняев**, директор по развитию, ООО «Умная энергия» (г. Краснодар)

В работе проводится анализ развития микрогенерации и микросетей с использованием возобновляемых источников энергии в сельской местности России и за рубежом. Дается обзор конкретных проблем энергоснабжения потребителей в сельской местности, которые возможно решить и оптимизировать с применением микрогенерации и технологий микросетей и которые успешно решаются при сельской электрификации в развитых и развивающихся странах. Краснодарский край предлагается как пилотный регион для продвижения технологий микрогенерации и микросетей с использованием альтернативных источников энергии в сельской местности для дальнейшего распространения этого опыта в регионах России.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, микрогенерация, микросети, сельская электрификация.

UDC 621.31. Scientific specialty number: 2.4.5.

## Development of microgeneration and microgrids in rural areas for effective transformation of the electric power industry using the example of the Krasnodar Region

**S. I. Belov**, PhD, Associate Professor, the Department of Electricity Supply and Thermal Power Engineering, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow city); **N. F. Driga**, technical director, "Solarprofit", LLC (Krasnodar city); **D. A. Konyaev**, director of development, "Smart Energy", LLC (Krasnodar city)

The paper analyzes the development of microgeneration and microgrids using renewable energy sources in rural areas of Russia and abroad. An overview is given of the specific problems of energy supply to consumers in rural areas, which can be solved and optimized using microgeneration and microgrid technologies and which are successfully solved with rural electrification in developed and developing countries. The Krasnodar Region is proposed as a pilot region for the promotion of microgeneration and microgrid technologies using alternative energy sources in rural areas to further spread this experience in various regions of Russia.

**Key words:** renewable energy sources, microgeneration, micro grids, rural electrification.

хозяйственной продукции с трудовым участием местного населения. В рамках данной государственной программы жители сельской местности смогут получить льготные кредиты на благоустройство домовладений, а также приобретение и монтаж оборудования для обеспечения централизованного или автономного электроснабжения, отопления и газоснабжения. Проекты должны разрабатываться администрациями муниципальных образований (сельских поселений и территориальных общественных самоуправлений). Основным показателем проекта является привлечение внебюджетных источников (до 10 % от стоимости проекта) и наличие инвестиционных проектов с созданием новых рабочих мест.

В Программе отмечено, что в РФ на начало 2021 года насчитывалось более 153 тыс. сельских населённых пунктов, объединённых в более 1600 муниципальных районов, в которых проживает и работает более 25 % населения страны. В среднем на один муниципальный район приходится примерно десять сельских поселений, 84 сельских населённых пункта и 20,4 тыс. жителей, а на одно сельское поселение — около восьми сельских населённых пунктов и в среднем 2272 сельских жителя, при этом 86 % сельского населения проживает в небольших сельских поселениях с численностью до 10 тыс. человек.

В настоящее время без применения различных цифровых технологий развитие инфраструктуры на сельских территориях и повышение производительности различных секторов АПК уже невозможно. Сегодня цифровизация становится одним из эффективных драйверов развития любых процессов в различных секторах отечественной экономики, в том числе в агропромышленном секторе. Автоматизированные цифровые системы позволяют быстро анализировать поступающую информацию и эффективно управлять объектами производства сельскохозяйственной продукции, прогнозировать погодные условия и риски возникновения чрезвычайных ситуаций, обеспечивать надёжное и эффективное энергоснабжение сельских потребителей.

С помощью искусственного интеллекта и технологий Big Data появляется возможность получать объективные данные и уменьшать вероятность ошибок. Искусственный интеллект и «интернет вещей» (Internet of Things, IoT) позволяют оптимизировать процессы производства и контроля за состоянием сельскохозяйственных угодий и животных, например, контроля температуры и влажности в теплицах, птицеводческих и рыбохозяй-



ственных предприятиях, отслеживания перемещения и откорма скота, управления системами полива, наличия и расхода энергоресурсов и т.д. Кроме того, IoT позволяет собирать и анализировать большие объёмы данных, что помогает принимать более обоснованные решения в области сельского хозяйства. Мобильные приложения и онлайн-сервисы должны обеспечить доступ к необходимой информации практически в любое время и из любой точки мира, а технологии «блокчейн» должны обеспечить безопасность и прозрачность различных транзакций, особенно в случаях финансовых проводок. Поэтому в ноябре 2023 года в России была утверждена новая стратегия цифровой трансформации АПК и рыбохозяйственного комплекса до 2030 года.

### **Решение комплекса задач развития сельскохозяйственных территорий для обеспечения продовольственной безопасности России, технической и технологической независимости сельского хозяйства невозможно без внедрения современных технологий хозяйствования, использования новейших цифровых информационно-коммуникационных технологий**

Для дальнейшего развития сельскохозяйственной промышленности России и решения задач по развитию инфраструктуры на сельских территориях, а также в целях создания комфортных условий проживания и работы сельского населения (включая развитие кадрового потенциала) Министерство сельского хозяйства РФ подготовило новый

национальный проект «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности», где ранее заложенные целевые ориентиры «переупакованы» в общий федеральный проект по технической и технологической независимости сельского хозяйства и который планируется принять и запустить в 2025 году. Одними из основных целей национального проекта является обеспечение технологического суверенитета России, увеличение сельхозпроизводства на 25 % к 2030 году и улучшение качества условий жизни и работы жителей в сельской местности.

Решение огромного комплекса задач развития сельскохозяйственных территорий для обеспечения продовольственной безопасности России, технической и технологической независимости сельского хозяйства невозможно без внедрения современных технологий хозяйствования, использования новейших цифровых информационно-коммуникационных технологий и, главное, модернизации энергетической инфраструктуры в сельской местности в целях обеспечения достаточных объёмов энергоресурсов с необходимыми показателями надёжности, экономичности и качества энергоснабжения, соответствующими запросам современного технологического развития АПК.

### **Проблемы электроснабжения потребителей в сельской местности**

Сельское хозяйство имеет огромное значение в обеспечении населения страны качественными продуктами питания и сохранении природной среды. Основные зоны размещения сельского хозяйства в России — это чернозёмная европейская зона, Урал и юг Сибири. Одними из лидеров по производству сельхозпродукции являются Краснодарский край, Ростовская область и Ставропольский край.



Электроэнергия применяется во всех отраслях сельскохозяйственного производства, где её основными потребителями являются животноводческие фермы и комплексы, птицефабрики, зерноочистительные пункты, сеносушилки, мельницы, подсобные производства и гаражи, котельные, предприятия по обеспечению функционирования сельского хозяйства и переработке сельскохозяйственной продукции, а также проживающее в сельской местности население, обслуживающее сельскую инфраструктуру и местные производства. По типам хозяйств около 53 % предприятий приходится на организации АПК и около 47 % составляют частные сельскохозяйственные предприятия и фермерские хозяйства.

Практически все сельские потребители (включая население) в регионах с интенсивным сельским хозяйством получают электроэнергию централизованно от территориальных сетевых организаций (ТСО), расположенных в ценовых зонах оптового рынка электрической энергии и мощности (ОРЭМ), на котором конечный потребитель получает электроэнергию с ОРЭМ на розничном рынке электроэнергии и мощности (РРЭМ) на своём уровне — в сельской местности это, как правило, электрические сети с низким уровнем напряжения (НН) — 0,4 кВ.

В каждом регионе в зависимости от точки поставки формируется своя стоимость электроэнергии на ОРЭМ по свободным (нерегулируемым) ценам, которая транслируется конечному потребителю с учётом тарифа на транспортировку электроэнергии и инфраструктурных услуг.

Сельскохозяйственные потребители (включая население) обеспечиваются электроэнергией преимущественно на НН (0,4 кВ) по радиальной схеме (без резервирования) с глухими ответвлениями от протяжённых воздушных линий элек-

тропередачи (ВЛЭП) ТСО напряжением 6–10 кВ к тупиковым трансформаторным подстанциям 6(10)/0,4 кВ. Расположенные в пересечённой местности, построенные много десятилетий назад и практически выработавшие свой ресурс протяжённые сельские сети ВЛЭП 6–10 кВ являются основной причиной низкой надёжности электроснабжения конечного потребителя в сельской местности, что приводит к частым и продолжительным перерывам в электроснабжении и, в свою очередь, большому ущербу при производстве сельхозпродукции, при этом качество жизни сельского населения существенно снижается. Поэтому электроснабжение

**В большинстве своём сельскохозяйственные предприятия — малые предприятия, получающие электроэнергию на розничном рынке по выбранной самим потребителем ценовой категории согласно Правилам РРЭМ**

потребителей в сельской местности значительно отличается в худшую сторону по показателям надёжности и качества электроснабжения от городского электроснабжения.

Сельские сети в России не обеспечены современными средствами регулирования напряжения и реактивной мощности. В результате в сетях возникают большие потери электроэнергии и «провалы» напряжения, многие потребители в сельской местности, особенно удалённые потребители в конце цепочки поставки электроэнергии, получают её с показателями качества электроэнергии, далёкими от нормативных показателей, что ведёт к снижению производительности и сроков службы оборудования.

Реконструкция сельских сетей в соответствии с современными требованиями цифровой трансформации и инновационного развития электрических сетей (включая сети среднего и низкого напряжения) [2] с необходимостью охвата сетями ВЛЭП больших территорий с малыми плотностями нагрузок на практике является длительным процессом, предопределяет значительные затраты на современное цифровое переоборудование и не может гарантированно обеспечить необходимую надёжность энергоснабжения для ряда критически зависимых от энергоресурсов сельскохозяйственных потребителей, особенно в энергодефицитных регионах и при аномальных изменениях погодных условий.

Серьёзной проблемой для многих сельскохозяйственных предприятий в ряде регионов России является высокая стоимость на электроэнергию, которая постоянно растёт и не позволяет эффективно развиваться сельскому производству. Особенно это касается развитых сельскохозяйственных регионов в первой ценовой зоне европейской части страны. Например, в Краснодарском крае средневзвешенная стоимость электроэнергии для малых предприятий, получающих электроэнергию на низком уровне напряжения, в 2–2,5 раза превышает тариф для населения в сельской местности и достигает величины 12–15 руб/кВт·ч.

В большинстве своём сельскохозяйственные предприятия — это малые предприятия, получающие электроэнергию на розничном рынке по выбранной самим потребителем ценовой категории согласно Правилам РРЭМ, которая включает в себя рыночную стоимость электроэнергии и мощности на ОРЭМ, регулируемый государством котловой тариф транспортировки электроэнергии непосредственно до конечного потребителя, бытовую надбавку местной энергоснабжающей организации (ЭСО) или регионального гарантирующего поставщика (ГП) и инфраструктурные платежи.

Население и приравненные к населению потребители в сельской местности получают электроэнергию на РРЭМ от ГП по регулируемому государством одноставочному тарифу, который косвенно учитывает все расходы поставки электрической энергии населению с ОРЭМ, но принудительно сдерживается государством на социально допустимом уровне, а выпадающие при этом доходы ложатся на остальных участников рынка электроэнергии (так называемое «перекрёстное субсидирование»), в том числе на сельскохозяйственные предприятия.

Здесь необходимо отметить, что для предприятий, получающих электроэнергию от ГП или ЭСО на РРЭМ, и особенно для малых предприятий в сельской местности, где отсутствует квалифицированный электротехнический персонал, сложное формирование конечной стоимости электроэнергии с учётом регулирования котлового тарифа на передачу электроэнергии и перекрёстного субсидирования не может являться параметром для верификации и перспективного планирования развития производства с учётом расходов на энергоресурсы.

Домохозяйства в сельской местности, в отличие от малых предприятий, имеют определённый местным регулирующим органом одноставочный тариф на текущий год и могут самостоятельно выбрать дифференцированный по зонам суток та-



риф (день, ночь) или (пик, полупик, ночь) в зависимости от режима суточного потребления электроэнергии и наличия соответствующего прибора учёта.

Современные счётчики электрической энергии позволяют дистанционно контролировать суточное энергопотребление, выбирать режимы работы энергопотребляющего оборудования и соответствующий дифференцированный по зонам суток тариф для сокращения платежей за электроэнергию. Такой подход значительно облегчает переход на технологию «умный дом» для автоматического управления оборудованием.

Стоимость электроэнергии постоянно растёт, при этом значительная доля в конечной стоимости электрической энергии приходится на тариф на её транспортировку, который в ряде регионов страны достигает 60–70 % от конечной стоимости электроснабжения.

Высокая стоимость электрической энергии приводит к росту себестоимости производства сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации, затрудняет расширение производственной базы и заставляет искать пути сокращения расходов на энергоресурсы.

Существенного снижения стоимости электроэнергии можно добиться при использовании возможностей местных природных условий для генерации. Производство электроэнергии на месте потребления с помощью возобновляемых источников энергии (ВИЭ) позволяет конечному потребителю избавиться от расходов на транспортировку электроэнергии и инфраструктурной составляющей при централизованном электроснабжении, снизить потери в сетях и повысить надёжность энергоснабжения и качество электрической энергии для наиболее ответственных нагрузок.

Задачи максимального использования возможностей применения для электроснабжения сельских населённых пунктов с помощью нетрадиционных источников энергии (солнечных и ветроэнергетических установок, микро- и малых гидроэлектростанций, биогазовых установок и др.) ставились для развития сельских территорий уже давно. Однако на практике эти задачи почти не реализовывались в том числе из-за отсутствия законодательной базы развития малой генерации на розничном рынке, плохого взаимодействия министерств, регулирующих органов и местной администрации в различных регионах страны, а также низкой информированности участников РРЭМ о преимуществах развития нетрадиционных источников энергии для потребителей в сельской местности.

Такие источники, как ветровая и солнечная энергетика, стали самыми дешёвыми технологиями генерации по сравнению с традиционными технологиями, особенно небольшими дизель-генераторными установками (ДГУ), производящими электроэнергию на месте для повышения надёжности энергоснабжения в слабых электрических сетях.

Сельское хозяйство в России является важным видом экономической деятельности, при этом страна располагает огромным потенциалом солнечной энергетики и обширными территориями, благоприятными для строительства солнечных фотоэлектрических станций. В юго-западных и южных регионах РФ мощность энергии солнечной радиации может достигать 3,5–4,5 кВт·ч/м<sup>2</sup> в день в течение года, что составляет 1,2–1,5 МВт·ч в год и превышает ресурсный потенциал, например, такой страны как Германия, на 50 %.

Многочисленные сельские предприятия и фермерские хозяйства в России обладают большим потенциалом для освоения различных технологий использования ВИЭ. Российский розничный рынок возобновляемой энергетики без поддержки государства развивается медленно и является уделом энтузиастов и небольших компаний, занимающихся установками ВИЭ для населения и малых предприятий. Наиболее активные компании, такие как ООО «Соларпрофит», объединились в Ассоциацию специалистов возобновляемой энергетики «Зелёный киловатт» для продвижения современных технологий малой генерации на РРЭМ.

Ассоциация «Зелёный киловатт» подготовила два сборника, где приведены примеры и практики использования возобновляемой энергетики в различных проектах, включая фермерские хозяйства, и расширен список реализованных проектов с использованием нетрадиционных возобновляемых источников энергии для различных потребителей в разных климатических условиях и регионах страны.

Усилия руководителей компаний, входящих в Ассоциацию «Зелёный киловатт», особенно Н. Ф. Дриги, технического директора ООО «Соларпрофит», привели к разработке и принятию Федерального закона от 27 декабря 2019 года № 471-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “Об электроэнергетике” в части развития микрогенерации» и Постановления Правительства РФ от 2 марта 2021 года № 299 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации», позволяющих населению и малым предприятиям продавать излишки электрической энергии мощностью не более 15 кВт на низком уровне напряжения во внешнюю сеть.

Развитие малой распределённой генерации и увеличение объёмов установленной мощности с участием ВИЭ ведёт к трансформации рынка электроэнергии в России, повышению активности местных потребителей и созданию «умных» электросетей (smart grid). Этот процесс должен быть своевременно отрегулирован государством с учётом интересов всех участников РРЭМ.

Многие участники РРЭМ по разным причинам оказались плохо подготовленными к эффективному развитию рынка микрогенерации с участием ВИЭ на местах. Основными причинами являются ведомственные интересы, отсутствие квалификации сотрудников и постановки



широкой разъяснительной работы со стороны государственных органов об экономических и социальных преимуществах и важности принятого законодательства о микрогенерации в интересах страны и местной экономики.

Для местных ТСО развитие собственной генерации у потребителя приводит к сокращению доходов от объёмов транспортировки электроэнергии. Руководство и сотрудники ТСО привыкли к своему монопольному положению доставки электроэнергии потребителю при полном отсутствии другой альтернативы, установку двусторонних счётчиков на границе балансовой принадлежности с потребителем воспринимают как обузу и дополнительную организационную нагрузку, полностью забывая о том, что потребитель имеет право на надёжное и качественное электроснабжение, и именно это является главной задачей распределительных сетей.

### **Снижение стоимости систем генерации электроэнергии с использованием ВИЭ и сроков их окупаемости может в перспективе привлечь на этот рынок такую форму бизнеса, как энергосервисный контракт**

Установка собственной генерации у потребителя позволяет не только обеспечить надёжное и качественное электроснабжение наиболее ответственных электроустановок, но и высвободить объёмы мощности для присоединения новых потребителей, значительно повысить показатели надёжности электроснабжения ТСО, снизить потери электроэнергии в сетях и отложить значительные расходы на реконструкцию сетей ТСО.

К сожалению, сложившаяся за многие годы практика взаимоотношений конечных потребителей с ТСО не даёт добиться

возмещения убытков от длительных перерывов электроснабжения и компенсаций за выход из строя оборудования из-за некачественных показателей электроэнергии, что вынуждает потребителей искать пути повышения надёжности энергоснабжения и устанавливать распределённые источники генерации для резервирования работы наиболее ответственных потребителей.

Задачей местных ГП и независимых ЭСО является организация финансовых расчётов на РРЭМ с потребителем, как за объёмы поставки электроэнергии с ОРЭМ с учётом тарифа на транспортировку, инфраструктурных платежей и собственной бытовой надбавки, так и за объёмы покупки электроэнергии на РРЭМ, включая излишки выработанной составом местной микрогенерации электроэнергии. Увеличение объёмов реализации излишков собственной генерации потребителями на РРЭМ может стать для ЭСО дополнительным источником доходов при правильном подходе учёта и управления купли-продажи этих излишков.

Снижение стоимости систем генерации ВИЭ и сроков их окупаемости может в перспективе привлечь на этот рынок такую форму бизнеса, как энергосервисный контракт, где компания — производитель или установщик оборудования ВИЭ — может взять на себя исполнение работ и расходы по установке и оптимальному управлению генерацией и нагрузкой в целях оптимизации расходов на электроэнергию и быстрого возврата вложенных денежных средств.

Необходимо ещё раз отметить, что в Российской Федерации рынок микрогенерации с участием ВИЭ, в отличие от рынка ДПМ ВИЭ и регионального рынка квалифицированных объектов ВИЭ, развивается без государственных субсидий и государственной поддержки — по собственной инициативе малых предприятий и населения и за свой счёт.

Поэтому государство должно продвигать и содействовать продвижению рынка микрогенерации на всех уровнях, включая информационный и просветительский, особенно в регионах с дефицитом мощности и слабыми распределительными сетями.

Актуальным вопросам и первым итогам развития микрогенерации в Российской Федерации было посвящено расширенное заседание Секции по законодательному регулированию распределённой энергетики и возобновляемых источников энергии Экспертного совета при Комитете Государственной Думы ФС РФ по энергетике [5], где кроме представителей регулирующих органов, ТСО и энергосбытовых организаций, потребителей и научных организаций присутствовали руководители компаний — поставщиков услуг по монтажу и эксплуатации микрогенерации в Краснодарском крае: Н. Ф. Дрига (ООО «Соларпрофит»), Д. А. Коняев (ООО «Умная Энергия»), А. В. Попов (ООО «Солар Центр»).

На данном заседании Секции Комитета Государственной Думы ФС РФ по энергетике был отмечен устойчивый рост в Российской Федерации количества объектов микрогенерации и, соответственно, договоров купли-продажи электрической энергии, произведённой на объектах микрогенерации, заключённых с гарантирующими поставщиками.

Из факторов, которые мешают развитию микрогенерации, была отмечена недостаточная осведомлённость потребителей и ряда территориальных сетевых организаций об особенностях нормативно-правового регулирования при подключении и оформлении объектов микрогенерации к электрической сети, отсутствие региональных программ и комплекса мер по развитию малой генерации с участием ВИЭ и по поддержке местных маломасштабных инициатив в сфере ВИЭ (проектов энергетических кооперативов и распределённых сетей с высокой долей ВИЭ в интересах местных сообществ).

На последующем заседании Государственной Думы ФС РФ было предложено повысить порог выдачи избытка мощности в сеть от отдельных объектов микрогенерации с 15 до 150 кВт или до указанной в технических условиях на подключение присоединённой мощности энергопринимающих устройств потребителя, выделить микрогенерацию в отдельное направление развития энергетики и определить целевые показатели для микрогенерации к 2050 году, разработать дорожную карту и региональные программы по развитию микрогенерации на основе ВИЭ,

причём с расширением числа участников в пилотных проектах и использованием всего доступного мирового опыта для реализации пилотных проектов.

С увеличением в локальной местности объёмов электрической энергии, выработанной различными объектами микрогенерации с участием ВИЭ для обеспечения надёжного и качественного энергоснабжения потребителей, будут требоваться новые решения по управлению энергетической инфраструктурой распределённой генерации для оптимизации большого количества и объёмов распределённых источников с разными способами производства энергии, характерными для каждой конкретной местности.



В сельской местности имеется широкая возможность использования различных типов распределённых энергетических ресурсов с наиболее эффективными, в зависимости от природных условий в данной местности, возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечная и ветровая энергия, микро- и малая гидроэнергетика и биоэнергетика, когенерация и тригенерация, которые в зависимости от технологий местного сельскохозяйственного производства могут использоваться как по отдельности, так и в самых разных сочетаниях.

Дальнейшее интенсивное развитие интеграции малой генерации и микрогенерации с участием ВИЭ на стороне конечного потребителя, разработка различных способов хранения энергии, технологий «интеллектуального» управления нагрузкой и управления спросом благодаря своим преимуществам потребует в конечном

итоге постепенной трансформации сложившегося в России розничного рынка электроэнергии в направлении создания рынка локальных микросетей (microgrids), который давно используется и привлекает всё больше внимания во всём мире, как в странах с развитой электроэнергетической системой, так и непосредственно в развивающихся странах.

Интеллектуальная микросеть характеризуется двусторонним потоком электроэнергии и информации для создания автоматизированной сети с широким использованием распределённой генерации энергоснабжения и управляемой нагрузкой на локальном уровне. Микросеть объединяет в себя преимущества распре-

делённых коммуникаций и вычислений для предоставления информации в режиме реального времени и обеспечения практически мгновенного баланса спроса и предложения на уровне устройств генерации и потребления.

Существенное снижение стоимости генерации с помощью различных источников местных ВИЭ и растущее увеличение установленной мощности распределённой генерации у конечных потребителей на РРЭМ, развитие современных средств коммуникации и управления энергетическим оборудованием, а также принятие в Российской Федерации закона о микрогенерации создаёт в нашей стране серьёзные предпосылки для развития пилотных проектов объединения этих ресурсов в интеллектуальные микросети, при этом необходимо максимально использовать положительный зарубежный опыт развития микросетей.

## Краткий обзор развития микрогенерации и микросетей за рубежом

На прошедшем в сентябре 2024 года XIX Глобальном инновационном форуме по микросетям (Microgrid Global Innovation Forum 2024), посвящённом тематическим исследованиям и достижениям микросетей в Северной и Латинской Америке, Европе и Азиатско-Тихоокеанском регионе, было отмечено бурное развитие технологий микросетей. Во всём мире многие тысячи микросетей надёжно и эффективно работают в самых разнообразных областях, а глобальный рынок микросетей достиг в 2023 году \$76,9 млрд и продолжает активно развиваться. Особое внимание на этом форуме было уделено электрификации сельских районов, в основном в развивающихся странах Азии, Африки и Латинской Америки [6].



Интеллектуальные микросети обладают огромным потенциалом для обеспечения реальных и немедленных решений широкого спектра проблем по повышению надёжности и экономичности электроснабжения конечного потребителя, включая устойчивость к воздействию всё более неблагоприятного климата и ускорение внедрения экологически безопасных источников энергии. В ряде штатов США микросети уже давно обслуживают довольно значительный процент (1–10 %) общей мощности в периоды пикового энергопотребления штата и снижают стоимость электроэнергии для конечного потребителя. Министерство энергетики США (U.S. Department of Energy, DoE) выдвинуло концепцию, согласно которой к 2035 году микросети станут основным строительным блоком преобразованной энергосистемы, в которой 30–50 % электроэнергии будет вырабатываться за счёт распределённых ресурсов [7].

История развития микросетей за рубежом насчитывает уже более двух десятилетий. Бурному развитию технологий микросетей в огромной степени способствовала, помимо многочисленных научных исследований, многолетняя активная позиция по продвижению, внедрению и популяризации этих технологий ведущих международных организаций в области энергетики, таких как Научно-исследовательский институт энергетики США (EPRI), Национальная лаборатория возобновляемой энергетики (NREL) в США, Европейская технологическая платформа для электросетей будущего (SmartGrids SRA 2035), Консорциум по технологическим решениям для обеспечения надёжности электроснабжения (CERTS), Международное энергетическое агентство (IEA), Международное агентство по возобновляемым

источникам энергии (IRENA) и другие. Основными требованиями к микросетям являются доступные затраты на электроэнергию, высокая надёжность и качество электроснабжения.

Институт исследований электроэнергетики (Electric Power Research Institute, EPRI) в конце 1990-х годов расширил масштабы своих исследований, охватив такие темы, как технологии «интеллектуальных» сетей, ВИЭ и хранение энергии, продвигая передовые технологии в области создания микросетей, распределения и использования электроэнергии в локальной местности. Концепция интерактивных микросетей заключается в использовании возможностей существующих сетей низкого напряжения с распределённой генерацией отключать их при возникновении перебоев в подаче электроэнергии из централизованной сети, а затем подключать к электрической сети после её восстановления. Это позволяет укреплять систему электроснабжения и способность сообщества потребителей справляться с длительными перебоями в работе.

Определение термина «микросеть» (microgrid), предложенное EPRI, включает в себя следующие постулаты:

1. Это группа взаимосвязанных нагрузок, оборудования и устройств распределённой генерации (Distributed Energy Resource, DER), находящихся в пределах определённых физических границ.
2. Микросеть действует как единый управляемый объект по отношению к внешней сети.
3. Микросеть имеет возможность подключения и отсоединения от внешней сети, возможность работы как в сетевых, так и в островных моделях.

Вместе с термином «микросеть» был введён термин «умная сеть» (Smart Grid). Согласно EPRI, Smart Grid — это модернизация архитектуры системы электроснабжения, которая позволяет обеспечивать двустороннюю связь между сетью и практически всеми подключёнными к ней устройствами (вплоть до бытовых приборов) для контроля, защиты, управления и автоматической оптимизации работы её взаимосвязанных элементов.

Такая модернизация архитектуры энергосистемы должна повысить надёжность и качество электроснабжения, оптимизировать использование производственных мощностей и предотвратить строительство резервных электростанций (с пиковой нагрузкой), повысить пропускную способность и эффективность существующих электрических сетей, способствовать более широкому внедрению возобновляемых источников энергии и увеличить устойчивость к перебоям в работе.

Предложенная в 2003 году концепция микросетей Консорциума CERTS предполагает объединение нагрузок и микроисточников в локальном регионе, работающих как единая система и представленных для окружающей распределительной сети как единый самоуправляемый объект, то есть для внешней «основной» сети микросеть выглядит неотличимой от других законных потребителей и представляет собой единый управляемый блок, отвечающий местным требованиям надёжности и безопасности. Микросеть должна быть спроектирована таким образом, чтобы легко отключаться от сети в любой момент и повторно подключаться к ней после устранения неполадок [8].

Наиболее распространённая область применения микросетей — это промышленные микросети, университетские кампусы, военные микросети и сельскохозяйственные сообщества.

Начиная с 2003 года Международной электротехнической комиссией по стандартизации в области электрических, электронных и смежных технологий (IEC) было создано множество международных стандартов серии IEC 62257 по электрификации сельских районов с наиболее экономичным выбором гибридных микроэлектростанций и различным сочетанием источников ВИЭ, которые включают в себя распределительную систему (микросеть) и интерфейсное оборудование, связывающее индивидуальную электрическую установку каждого пользователя с микросетью. В информационном документе IEC [9] перечислены все стандарты серии IEC 62257, которые обеспечивают запланированный и апробированный подход к проектам электрификации сельских районов, а также приведены важные соответствующие стандарты и информация о различных технологиях, включая системы накопления энергии, солнечную и ветровую энергию, малые гидроэлектростанции, играющих значительную роль в электрификации сельских районов и создании сельских микросетей.

Необходимо отметить, что развитие децентрализованной генерации является одной из ключевых задач энергетической стратегии России до 2035 года, как составная часть ускоренного перехода к более эффективной, гибкой и устойчивой энергетике, в результате которого потребители приобретут новые права и возможности благодаря цифровой трансформации. Ведущими отечественными организациями в области развития электроэнергетики на основе систематизации зарубежного опыта в 2012 году была представлена концептуальная основа будущей трансформации электроэнергетики России, в том числе реализации технологий интеллектуальной микросети с участием ВИЭ с активным участием конечных потребителей [10].

В 2014 году была осуществлена попытка издания серии стандартов по электрификации сельских районов, но эта попытка закончилась изданием только двух стандартов: ГОСТ Р 56124.1–2014 «Общее введение для сельской электрификации» и ГОСТ Р 56124.2–2014 «Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии, предназначенные для сельской электрификации», которые являются небольшой частью разработанного Международной электротехнической комиссией комплекса национальных стандартов IEC 62257 по возобновляемой энергетике IEC/TS 62257-1:2003 и IEC/TS 62257-2:2004, переложенной на русский язык. С тех пор в России вышел только



один стандарт — ГОСТ Р 56124.9.6–2023 «Системы электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии для сельской электрификации. Часть 9–6. Фотоэлектрические системы. Оценка и выбор индивидуальных автономных систем», подготовленный ООО «ВИЭСХ-ВИЭ» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии документа IEC/TS 62257-9-6:2019.

**Развивающиеся новые энергетические технологии и услуги, всё большее внедрение распределённых возобновляемых источников энергии и распределённых систем хранения энергии, новые коммуникации и средства управления требуют соответствующего обновления имеющихся стандартов**

Разработка Институтом инженеров электротехники и электроники (IEEE) стандарта IEEE 1547 для обеспечения набора критериев и требований к объединению ресурсов распределённой генерации в электрическую сеть, который был выпущен в 2003 году, стала важным шагом на пути к согласованному набору правил безопасной интеграции распределённых энергетических ресурсов в сеть, а утверждение в 2011 году стандарта IEEE 1547.4 обеспечило доступность стандартизированных протоколов для безопасного разделения и повторного подключения микросетевых систем [11].

Развивающиеся новые энергетические технологии и услуги, всё большее внедрение распределённых возобновляемых источников энергии и распределённых систем хранения энергии, новые комму-

никации и средства управления требуют соответствующего обновления стандартов. В 2018 году стандарт IEEE 1547 был пересмотрен, и утверждён стандарт IEEE 1547–2018, который в том числе определяет распределённые энергетические ресурсы (DER) как сетевые активы [12].

Здесь необходимо отметить, что микросети во всём мире в основном развиваются по пути добровольного объединения организаций и лиц в конкретных областях и регионах на паевой основе для осуществления законной предпринимательской деятельности, функционируя на началах самофинансирования и самоуправления. Такое объединение является полноценным юридическим лицом в виде кооператива и исторически очень характерно для России, где ещё в эпоху Советского Союза системы централизованного электроснабжения создавались для обеспечения энергией совхозов, колхозов, небольших фермерских хозяйств и населения в сельской местности.

Микросети в России могут стать многообещающим средством организации и координации быстрого развёртывания и эксплуатации распределённых энергетических ресурсов в локальной местности, таких как возобновляемые источники энергии, системы накопления энергии, дизельные генераторы и управляемые нагрузки, а также комбинированное производство тепла и электроэнергии, а в некоторых случаях и холода — для работы холодильных помещений и систем кондиционирования воздуха. Такие технологии, как солнечные фотоэлектрические системы, ветряные турбины и генераторы на биомассе, могут использовать богатые природные ресурсы, имеющиеся в сельской местности, для устойчивого и экологически безопасного производства электрической энергии.

Международное энергетическое агентство (IEA) разрабатывает серию дорожных карт Smart Grids для некоторых наиболее важных технологий развития рынка микросетей. Эти дорожные карты обеспечивают прочную аналитическую основу, которая позволяет международному сообществу продвигаться вперёд в области микросетевых технологий. Каждая дорожная карта определяет путь развития конкретной технологии вплоть до 2050 года, а также определяет этапы в области технологий, финансирования, политики и участия общественности, которые необходимо достичь для реализации полного потенциала технологий [13].

Одна из задач IEA «Гибридные фотоэлектрические системы в мини-сетях» выделена в отдельное направление для расширения базы знаний о системах производства электроэнергии из нескольких источников, включая фотоэлектрические и связанные с ними распределительные сети (IEA-PVPS T11-01:2011). Основные цели этой задачи заключаются [14]:

- в повышении роли фотоэлектрических технологий как технически актуального и конкурентоспособного источника энергии в мини-сетях;
- определении концепций развития гибридных мини-энергосистем с фотоэлектрическими источниками энергии с учётом местных факторов;
- предоставлении рекомендаций по индивидуальным проектам (сочетание технологий, архитектурных решений, размеров, характеристик и т.д.) для достижения высокого уровня внедрения фотоэлектрических систем как средства повышения качества, надёжности и экономичности систем электрификации, таких как мини-электросети;
- в сборе и распространении передового опыта в области фотоэлектрических гибридных энергетических систем.

В 2023 году в рамках задач направления IEA-PVPS была сформирована инициативная группа по агрофотовольтаике в целях двойного использования земли для производства солнечной энергии и сельского хозяйства, включая выращивание сельскохозяйственных культур, животноводство, рыбоводство и тепличное хозяйство. Двойное использование земли также может обеспечить фермерам диверсифицированный источник дохода. В 2025 году должен быть выпущен первый отчёт группы по IEA-PVPS агрофотовольтаике за 2024 год.

В Программе МЭА по фотоэлектрическим энергетическим системам (IEA-PVPS) за 2013 год представлен обзор состояния микросистем и обозначены основные за-

дачи для электрификации сельских районов, освещены основные проблемы с точки зрения проектирования, технических аспектов и внедрения, а также приведены рекомендации, позволяющие принимать обоснованные решения при рассмотрении гибридных солнечных фотоэлектрических систем для удовлетворения потребностей, возникающих при электрификации сельских районов [15].

В 2007 году Европейская технологическая платформа (ETP) для электросетей будущего представила программу стратегических исследований (SRA) по Smart Grids в европейских странах. В документе были описаны темы исследований и приоритеты, необходимые для развития «интеллектуальных» электрических сетей и «интеллектуальных» микросистем с участием ВИЭ в Европейском союзе к 2035 году. Одними из областей исследований SRA были вопросы развития распределённой генерации и «интеллектуальной» розничной торговли с помощью потребительских информационно-коммуникационных технологий [16].



Дорожная карта развития микросетей и будущие сценарии спроса и предложения связаны с повышением эффективности во многих секторах энергетики и снижением воздействия на окружающую среду, а также с возможностью отсрочки инвестиций в инфраструктуру и повышения надёжности электроснабжения.

Микросети в сетях низкого напряжения уже сыграли во всём мире и в странах Евросоюза значительную роль в управлении растущими нагрузками на энергосети (непредсказуемость, перебои и т.д.), доказали свою способность обеспечить преимущества децентрализованных энергетических систем с точки зрения энергоэффективности использования энергии, экономичности и надёжности энергоснабжения, а также сокращения выбросов по

сравнению с классическими централизованными системами. Микрогенерация, интегрированная в виде микросетей, может сыграть ключевую роль в сокращении расходов, связанных с альтернативными стратегиями замены сетей, и осуществить эволюцию энергосистемы в долгосрочной перспективе [17].

Значительную роль в продвижении и пропаганде современных технологий надёжного и энергоэффективного энергоснабжения потребителей играет объединяющая 169 промышленно развитых и развивающихся стран Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA), которое осуществляет поддержку стран по всему миру при внедрении ВИЭ и создании микросетей.

IRENA ежегодно публикует отчёты по развитию возобновляемых источников энергии в мире. Среди многочисленных материалов агентства следует отметить работы, посвящённые развитию передовых технологий, бизнес-моделей, дизайну рынка и эксплуатации микросистем, обеспечивающих синергию между различными

инновациями для создания реальных решений в энергетике. В докладах IRENA рассматриваются вопросы управления локальных источников микрогенерации с участием ВИЭ, их интеграция в существующие распределительные сети, а также будущий инновационный ландшафт развития генерации с участием ВИЭ для повышения надёжности, экономичности и экологичности энергоснабжения конечного потребителя [18].

Структура микросети предполагает объединение нагрузок и микроисточников, работающих как единая система, для обеспечения пользователей как электроэнергией, так и теплом. Появление доступных потребителю распределённых источников энергии, таких как солнечные батареи на крышах, ветровые микро-

турбины, системы накопления энергии на аккумуляторах, электромобили с подключаемым модулем, «интеллектуальная» бытовая техника и т.д., превратило потребителей в активных участников системы электроснабжения. Большинство микроисточников должны быть оснащены силовой электроникой, чтобы обеспечить необходимую гибкость для обеспечения управляемой работы в качестве единой объединённой системы.

Важнейшая особенность микросети заключается в том, что она представлена окружающей распределительной сети как единый самоуправляемый объект, то есть для сети она выглядит неотличимой от других законных клиентов. Поддержание этого уровня зависит от гибкости передовой силовой электроники, которая управляет интерфейсом между микроисточниками и окружающей их энергосистемой.

Возобновляемые мини-сети, работающие в соединении с основной сетью, могут принести пользу всей энергосистеме в поддержании необходимых активной и реактивной мощностей, локальной стабилизации напряжения и частоты, а также обеспечения требуемых резервов в случае возникновения дефицитов мощности в системе [19].

Традиционные подходы к интеграции микрогенерации были сосредоточены на одном, двух или относительно небольшом числе микроисточников, связанных с системами электроснабжения. Микросеть представляет собой совершенно новый подход к интеграции произвольного множества распределённых источников энергии и должна быть спроектирована таким образом, чтобы легко отделяться от сети и повторно подключаться к ней после устранения неполадок.

Ключевым элементом функциональности микросетей является создание системы энергоменеджмента для оперативного управления различными генерациями и нагрузками. Формат микросети — это принципиально новый формат отношений между розничными производителями электроэнергии, который интересен тем, кто ищет пути снижения стоимости технологического присоединения и энергоэффективного снабжения сельскохозяйственных площадок, дополнительные возможности для повышения инвестиционной привлекательности регионов путём создания новых производственных кластеров, внедрения передовых технологий цифровизации и высвобождения сетевых ресурсов, что потребует от операторов микросетей усилить координацию с операторами систем передачи, поскольку информация поступает в обоих направлениях.

Различные организации и частные лица всё чаще внедряют и будут внедрять у себя технологии распределённого производства электроэнергии с помощью возобновляемых источников. Новые ВИЭ для производства электричества и создание интеллектуальных микросистем предъявляют новые требования к ИТ-системам, применяемым для мониторинга и управления ими, требуют создания новых схем биллинга, методов обслуживания клиентов и способов заключения договоров.

**Важнейшая особенность микросети заключается в том, что она представлена окружающей распределительной сети как единый самоуправляемый объект, то есть для «большой» сети она выглядит неотличимой от других законных в настоящее время клиентов**

Эти технологии также разработаны с учётом того факта, что электрооборудование с поддержкой интеграции в ИТ-инфраструктуру теперь способно улучшать работоспособность всех компонентов энергосистемы и обмениваться с ними данными. С внедрением этих устройств открывается широкий спектр новых возможностей, в том числе сбор более крупных объёмов данных, принятие решений на местном уровне и координация работы.

Местная энергосеть с множеством источников генерации превращается в микроэнергосистему, в которой потребители начинают играть роль и производителей электроэнергии. Новые способы взаимодействия с клиентами потребуют от энергетических компаний развивать новые направления бизнеса и выстраивать с ними новые взаимоотношения.



## Перспективы развития рынков микрогенерации и микросетей в России

Рынок микрогенерации с широким участием ВИЭ в РФ только начинает формироваться. По оценке Российского энергетического агентства (РЭА) Минэнерго России, в течение ближайших лет объёмы ввода микрогенерации на основе ВИЭ составят 15–30 МВт в год, а весь потенциал отечественного рынка микрогенерации на основе ВИЭ (без негативного воздействия на энергосистему) оценивается экспертами РЭА в примерно 15 ГВт. Эксперты РЭА полагают, что этот рынок, особенно с принятием «Закона о микрогенерации», ждёт несомненные перспективы быстрого развития [20].

Оценить текущий уровень развития рынка микрогенерации в Российской Федерации достаточно сложно, так как статистика объектов микрогенерации на государственном уровне не ведётся. Минэнерго России Распоряжением Правительства РФ от 24 марта 2022 года № 594-р было поручено вести ежегодный мониторинг объектов микрогенерации, функционирования на основе использования возобновляемых источников энергии и отпускающих вырабатываемую электрическую энергию в общую сеть. Для объектов микрогенерации, использующих ВИЭ для собственных нужд без выдачи электроэнергии в общую сеть, ежегодный мониторинг не предусмотрен.

Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ) в своих ежегодных отчётах представляет информацию по развитию проектов ВИЭ ДПМ с государственным финансовым обеспечением, поставляющих электроэнергию на ОРЭМ, а также ВИЭ-генерации на розничных рынках в рамках механизма поддержки объектов электроэнергии в различных регионах России. Рынку микрогенерации, который развивается практически стихийно и без государственной финансовой поддержки, в ежегодных отчётах АРВЭ внимание практически не уделяется.

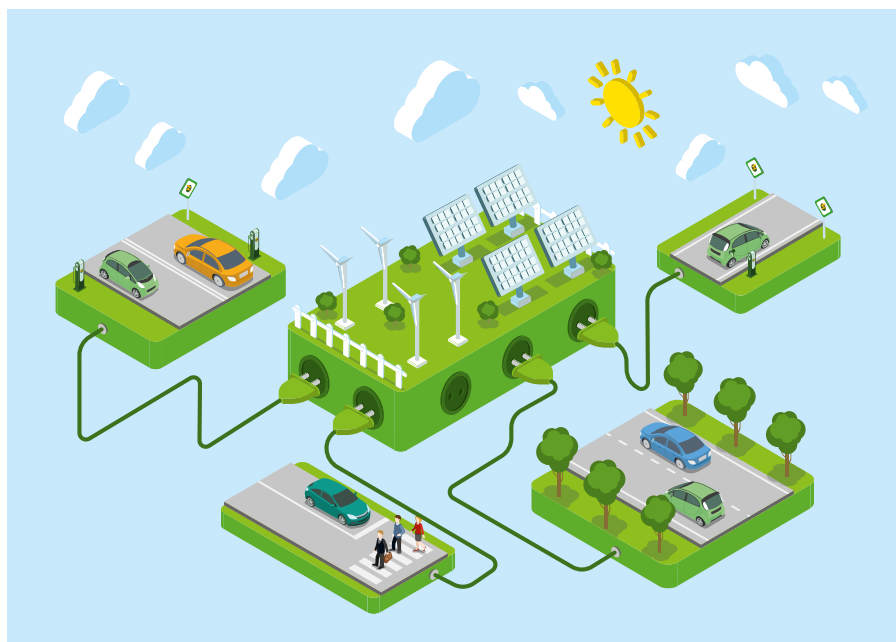
В одном из отчётов АРВЭ [21] был оценён потенциал рынка микрогенерации на базе ВИЭ: в 2020–2021 годах ежегодные объёмы ввода микрогенерации на основе ВИЭ в России составляли около 50 МВт, из которых основная часть была установлена на объектах юридических лиц, а на частных лиц приходился объём в диапазоне 10–15 МВт; даётся прогноз, что в течение ближайших пяти лет эти показатели увеличатся до 150–200 МВт в год, а оборот рынка достигнет порядка 10 млрд руб. Далее в отчёте приводится краткое описание этого рынка в России.

Участниками рынка микрогенерации являются домохозяйства, предприятия малого и среднего бизнеса, а также компании, специализирующиеся на производстве и установке объектов микрогенерации бытовым и промышленным потребителям.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели становятся наиболее заинтересованными в микрогенерации, поскольку стоимость централизованного энергоснабжения для категорий потребителей, не относящихся к населению, выше и при этом растёт более быстрыми темпами. В то же время стоимость оборудования и технологий для ВИЭ-генерации и систем накопления энергии снижается.

микро-ГЭС. Помимо этого, стоимость устройства солнечной электростанции ежегодно снижается, и её установка на текущий момент является наиболее предпочтительной для потенциальных владельцев объектов микрогенерации.

Следует отметить, что дальнейшее развитие объёмов распределённой микрогенерации и количества потребителей с разнообразными источниками с участием ВИЭ в определённой местности неизбежно будет ставить вопрос об объединении этих источников электроэнергии для оптимального управления генерацией и электропотреблением путём создания в этой местности «интеллектуальной» микросети, используя многолетний опыт



Микрогенерация в домохозяйствах также является перспективным направлением для сектора ВИЭ и может внести весомый вклад в прогнозируемый рост рынка при условии полноценного информирования населения о преимуществах данного инструмента. Наращивание мощности пойдёт за счёт широкого вовлечения граждан в приобретение объектов микрогенерации, в том числе благодаря сокращению стоимости таких решений.

Рынок микрогенерации в России преимущественно представлен солнечными фотоэлектрическими станциями на основе монокристаллических и гетероструктурных солнечных модулей. Это связано с тем, что в России уже имеется ряд компаний, занимающихся установками СЭС. При этом для установок данного вида отсутствуют серьёзные ограничения (по объёму, минимальной мощности, размещению, обслуживанию), характерные для других объектов, например, для ВЭС или

развития микрогенерации в зарубежных странах для применения этих разработок на отечественной почве.

Большинство компаний с серьёзным практическим опытом установки объектов микрогенерации потребителям (включая население) расположены в Краснодарском крае. По подсчётам аналитиков компании «Умная энергия» (Краснодар), мощность СЭС, построенных бизнесом за десять лет, достигла 64,8 МВт. Общая установленная мощность объектов микрогенерации, построенных физическими лицами, превысила 4 МВт. Объём инвестиций юридических лиц в солнечные установки превысил 4,5 млрд руб., при этом в зависимости от величины региональных тарифов на электроэнергию окупаемость оборудования для бизнеса в среднем составляет три-пять лет, а для частных лиц — семь-восемь лет. Лидером по установленной мощности СЭС в России стал Южный федеральный округ — 48,4 МВт.

Компания «Умная энергия» в настоящее время реализовала в сфере ВИЭ более 550 проектов с совокупной мощностью более 15 МВт. Большая часть проектов реализована в Южном федеральном округе, в основном в Краснодарском крае. Больше всего солнечных установок ввели в эксплуатацию владельцы коммерческой недвижимости и фермеры — 56,7 и 23 % от всех объектов, соответственно.

Эта ориентировочная оценка практически совпадает с оценкой Н.Ф. Дриги, технического директора ООО «Соларпрофит», который из собственной многолетней практики внедрения СЭС в Краснодарском крае даёт показатели ежегодного ввода около 10–15 МВт СЭС с потенциалом ввода до 100 МВт в год и более для тысяч малых предприятий, ИП, фермеров и частных домохозяйств.

Многие сельскохозяйственные предприятия находятся в поселениях, расположенных в местности, далёкой от плотной городской застройки. Собственное энергопотребление в период максимума дневной нагрузки может составлять сотни киловатт. Эти производства имеют все возможности максимально использовать имеющиеся природные ресурсы для производства энергии не только для собственных нужд, повышая эффективность производства сельскохозяйственной продукции, но и выдавать «зелёную» электроэнергию во внешнюю сеть в период дефицита мощности в энергосистеме в объёмах, превышающих определённых «Законом о микрогенерации» 15 кВт.

Как пример можно привести установку СЭС мощностью 93 кВт с годовым производством электроэнергии 120 тыс. кВт·ч на птицефабрике в станице Ильинская Краснодарского края. Затраты на проект составили около 6,3 млн руб., текущий тариф на электроэнергию в 2024 году — более 12 руб./кВт·ч, срок окупаемости с учётом роста тарифа — около четырёх лет. Месячная доля выработки электрической энергии СЭС в июле 2024 года составляла в общем электропотреблении 37,5%. Расчётная себестоимость электрической энергии, вырабатываемой на СЭС за нормированные 25 лет эксплуатации, составляет 3,3 руб./кВт·ч, что почти в четыре раза меньше средневзвешенной цены на электроэнергию, получаемую птицефабрикой при централизованном электроснабжении. После завершения срока окупаемости птицефабрика будет получать объёмы электроэнергии от СЭС практически по нулевой цене.

Установленная на птицефабрике СЭС имеет систему удалённого мониторинга, которая в режиме реального времени по-

Фото: ПАО «Россети Юг», rosseti-yug.ru



звояет контролировать энергопотребление предприятия, выработку солнечной энергии СЭС и мощность, приобретаемую на РРЭМ. Также необходимо отметить значительное повышение надёжности энергоснабжения и качества электроэнергии, отражающихся на эффективности производства, а также возможностей дальнейшего развития производства без получения дорогостоящих разрешений на дополнительную мощность от местной сетевой организации.

Птицефабрика, в отличие от многих других сельскохозяйственных производств, работает в круглосуточном режиме летом и в другие времена года, когда применение СЭС не так эффективно или, например, ночью генерация энергии от СЭС отсутствует совсем. В производственных помещениях птицефабрики для содержания птицы и выращивания цыплят необходимо круглосуточное поддержание необходимой температуры и влажности воздуха. Даже небольшой перерыв в электроснабжении грозит птицефабрике огромными убытками. Потому такие производства оснащаются резервными источниками генерации, такими как ДГУ, стоимость выработки электроэнергии которых существенно дороже, чем стоимость электроэнергии из сети — и тем более от ВИЭ.

Если рассматривать перспективы трансформации сельского поселения Ильинское в соответствии с запросами современного технологического развития АПК и программными задачами развития сельских территорий для обеспечения продовольственной безопасности России, внедрения современных технологий хозяйствования с использованием новейших цифровых информационно-коммуникационных технологий и модернизации энергетической инфраструктуры в сельской местности для комфортных условий работы и проживания сельского населения, а также развитие рынка труда (кадрового потен-

циала) на этих территориях необходимо обеспечить не только птицефабрику, но и всю инфраструктуру (включая население) станции Ильинское надёжным, экономичным, эффективным энергоснабжением.

В этом случае система электроснабжения муниципального сельского поселения превращается в микросистему, которая для внешней электросети рассматривается как один потребитель с единой точкой взаиморасчётов за полученную/отправленную энергию. Современные информационно-коммуникационные технологии позволяют оптимизировать баланс спроса нагрузки и возможностей генерации, оказывать различные услуги внешней энергосистеме, в том числе выдачу необходимых объёмов мощности в период дефицита мощности в энергосистеме.

Возникают вопросы оптимального выбора состава и мощности генерирующего оборудования с участием разнообразных источников ВИЭ в зависимости от режимов работы всех потребителей поселения и местных природных возможностей, а также от роста стоимости электроэнергии от централизованного энергоснабжения и параметров надёжности внешней электросети. Одновременно с выбором состава и мощности генерирующего оборудования необходимо спроектировать автоматизированную систему управления генерацией и потреблением с учётом прогноза и изменения погодных условий для повышения энергоэффективности и экономичности системы в целом.

**География Краснодарского края позволяет использовать все виды возобновляемых источников энергии: ветровую, солнечную, геотермальную, энергию биомассы, делая его идеальной площадкой для реализации проектов в сфере ВЭ**

Краснодарский край обладает богатыми природными ресурсами и развитой сельскохозяйственной промышленностью, является лидером по производству многих видов сельскохозяйственной продукции, главной житницей и гарантом продовольственной безопасности страны. В регионе развиваются различные аграрные проекты с высокой степенью автоматизации производств, для которых бесперебойное электроснабжение является основой эффективной деятельности. Надёжное энергоснабжение сельскохозяйственного производства, социальной и коммунальной сельской инфраструктуры не только способствует развитию АПК региона, но и создаёт комфортные условия для работы и жизни на селе.

Одними из основных факторов, которые сдерживают развитие аграрной отрасли в Краснодарском крае, являются низкая надёжность энергоснабжения, высокие цены на энергоресурсы и отсутствие квалифицированных кадров. Энергосистема Краснодарского края является одной из самых дефицитных среди энергосистем Южного федерального округа России. Электроснабжение региона только на 35 % обеспечивается собственными источниками, более 60 % электроэнергии поступает из соседних регионов, при этом из-за активного развития экономики и роста числа потребителей электрическая нагрузка на энергосистему края ежегодно увеличиваются.

География края позволяет использовать все виды возобновляемых источников энергии: ветровую, солнечную, геотермальную, энергию биомассы. Краснодарский край является идеальной площадкой для реализации проектов в сфере альтернативной энергетики. Однако сегодня доля «зелёной» энергии в общем балансе не достигает и 2 %.

Краснодарский край, который располагает самым многочисленным сектором среднего и малого агробизнеса (насчитывает около 13 тыс. фермерских и свыше 1 млн личных подсобных хозяйств), ежегодно входит в десятку самых инвестиционно привлекательных регионов России. Для поддержки этого сектора Министерством сельского хозяйства по государственной программе «Комплексное развитие сельских территорий» в 2023 году было предусмотрено около 3 млрд руб. В 2023 году участие в этой программе позволило реализовать около 120 проектов по развитию инженерной инфраструктуры в сельских муниципалитетах, благоустройству и строительству местных социальных объектов для улучшения качества жизни на селе.

В минувшем году сельскохозяйственная отрасль края получила значимую федеральную и краевую поддержку — на общую сумму в 13,1 млрд руб. (в 2022 году — 10,6 млрд руб.). Эти государственные средства пошли на развитие более чем 40 направлений АПК.

В Программе перспективного развития электроэнергетики Краснодарского края на 2023–2028 годы было отмечено, что в крае наблюдается существенный дефицит мощности, на 2024 год прогнозируется годовой прирост мощности величиной 141 МВт, а наибольший годовой прирост мощности — 198 МВт — прогнозируется на 2025 год. При этом летом 2024 года, в самые жаркие и солнечные дни, Краснодарский край испытал большие проблемы с электроснабжением и множественные отключения потребителей из-за дефицита мощности.

Для сокращения дефицита на перспективный период предусматривался прирост мощности на электростанциях Краснодарского края за счёт проведения мероприятий по модернизации существующего генерирующего оборудования в объёме 10 МВт. Ввод солнечных электростанций на розничном рынке не планировался, а на рынок микрогенерации никто не обращал внимания.

В обосновывающих материалах утверждённой губернатором Краснодарского края «Программы перспективного развития электроэнергетики на 2022–2026 годы» [22] в Приложении (табл. В.1) перечислено более 5000 заявок, поданных только за 2022 год, мощностью менее 670 кВА на технологическое подключение к сетям на 0,4 кВ. В большинстве своём это малые предприятия, индивидуальные предприниматели и домохозяйства, запрашивающие у центральных сетей подключение мощности 10–15 кВт.



Если 20–30% заявителей были бы соответствующим образом информированы о преимуществах локальной солнечной генерации и за собственный счёт, без участия государства, за несколько дней поставили у себя солнечную электростанцию для собственных нужд, то дефицит мощности в Краснодарском крае ежегодно сокращался бы ориентировочно на 10–25 МВт, а сами потребители уже были бы обеспечены надёжным электроснабжением и не тратили бы время на многомесячное ожидание на технологическое подключение к сетям.

Такие потребители способствовали бы снижению нагрузки на местные электрические сети в пиковые часы энергопотребления, которые происходят в дневные часы работы энергосистемы и когда солнечная активность максимальная, а в случае, когда хотя бы часть этих потребителей поставили бы у себя установки СЭС более высокой мощности с правом выдачи по «Закону о микрогенерации» излишков электроэнергии в сеть, дефицит мощности в крае можно было бы существенно сократить без особых бюджетных затрат. При этом значительно большего эффекта можно добиться путём развития распре-

делённой микрогенерации с использованием возобновляемых источников энергии в локальной сельской местности путём объединения источников генерации и управляемой нагрузки в умную сеть для выдачи необходимых объёмов энергии в сеть при возникновении дефицита мощности в энергосистеме [23, 24].

Развитие микрогенерации с участием ВИЭ в крае ведётся в основном хаотично, по инициативе множества самих потребителей с их различной юридической принадлежностью и структурой энергопотребления, при этом практически без политической, организационной, информационной и тем более финансовой поддержки со стороны краевых властей, Минэнерго и Минсельхоза России.

Между тем Краснодарский край является наиболее удобным регионом для развития таких эффективных решений, как микрогенерация и микросети, для повышения надёжности и экономичности энергоснабжения конечных потребителей, особенно в сельской местности.

В крае уже давно сформировалась большая группа компаний-энтузиастов по продвижению энергоэффективных технологий с использованием ВИЭ, которая успешно внедряет возобновляемую микрогенерацию как для населения, так и для малых предприятий, активно пропагандируя эти технологии на сайтах своих компаний с конкретными решениями и примерами, участвуя в различных семинарах, выставках и конференциях по продвижению микрогенерации в стране.

Здесь стоит отметить, что пока за рубежом в рамках задач IEA-PVPS формировалась инициативная группа по агрофотовольтаике в целях двойного использования земли для производства солнечной энергии в сельском хозяйстве, компанией ООО «Альтэнергия» уже спроектирован и построен уникальный «биодом», получающий энергию от различных альтернативных источников для круглогодичного выращивания фруктов, овощей и ягод.



Краснодарскому краю очень нужны дополнительные энергетические мощности, особенно в жаркие летние дни, когда нагрузка на энергосистему края значительно возрастает. Стоимость электроэнергии в Краснодарском крае для конечных потребителей при централизованном электроснабжении — одна из самых высоких в стране, что делает проекты микрогенерации с участием альтернативных источников энергии значительно быстрее окупаемыми, чем в других сельскохозяйственных регионах России. В Краснодарском крае в 2020 году инициативной группой из специалистов и экспертов по возобновляемой энергетике создано некоммерческое объединение учёных и представителей бизнеса «Зелёный киловатт», которое ежегодно проводит конференции и всячески содействует распространению материалов по расширению использования возобновляемой энергии во все сферы жизнедеятельности человека. Кубань богата природными ресурсами и высоким научным потенциалом для

## Краснодарский край является самым прогрессивным регионом РФ по практическому внедрению малой распределённой генерации для эффективного, надёжного и экономичного энергоснабжения потребителей, пилотной площадкой для дальнейшего развития сельскохозяйственной промышленности

развития возобновляемых источников энергии. В ноябре 2024 года на базе Кубанского государственного технологического университета (КубГУ) совместно с Комитетом по проблемам использования возобновляемых источников энергии РосСНИО была проведена XXI Международная научная конференция «Возобновляемая и малая энергетика — 2024. Энергосбережение», где в ходе конференции было заслушано в различном формате около 50 докладов ведущих учёных, представителей производства и бизнеса, а так-

же аспирантов и студентов вузов России по проблемам развития ВИЭ.

В Краснодарском крае имеется большое количество сельскохозяйственных предприятий в удалённой от крупных подстанций сельской местности, где надёжность и качество энергоснабжения этих предприятий и населения находятся ниже допустимых показателей, что не позволяет селу эффективно развиваться. Поэтому край является самым прогрессивным регионом по практическому внедрению малой распределённой генерации для эффективного, надёжного и экономичного энергоснабжения потребителей, фактически «пилотной площадкой» для дальнейшего развития сельскохозяйственной промышленности в РФ и решения задач по развитию инфраструктуры на сельских территориях в целях создания комфортных условий проживания и работы сельского населения, в том числе внедрения пилотных технологий микросетей и распространения этих технологий в других регионах России. ●

- Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Комплексное развитие сельских территорий»: Постановление Правительства РФ от 31.05.2019 №696 (с изм. и доп.).
- Технологический реестр по основным направлениям инновационного развития ПАО «Россети» / Утв. расп. ПАО «Россети» от 24.12.2018 №568р.
- Remap 2030. Renewable energy prospects for the Russian Federation [Обзор перспектив использования возобновляемых источников энергии в Российской Федерации на период до 2030 года] [Электр. текст]. IRENA. Апрель 2017. Абу-Даби, ОАЭ. Режим доступа: irena.org. Дата обращения: 13.12.2024.
- Природная энергия для работы и жизни: 150+ инженерных решений на основе возобновляемых источников энергии [Электр. текст]. Информационный альманах / В.Н. Афанасьев, С.В. Бондарь, Ф.И. Борисов [и др.]; под ред. Е.Г. Гашо; рец.: П.П. Безруких, В.А. Бутузов. НИУ «МЭИ»; Ассоциация специалистов ВИЭ «Зелёный киловатт». — СПб.: Научно-технологии, 2023. 292 с.
- Развитие микрогенерации в Российской Федерации: актуальные вопросы [Электр. текст]. Онлайн-заседание Комитета Государственной Думы ФС РФ по энергетике (16.09.2022). Режим доступа: komitet-energo.duma.gov.ru. Дата обращения: 15.12.2024.
- 19<sup>th</sup> edition of the Microgrid Global Innovation Forum [19-й Глобальный инновационный форум по микросетям]. Optimizing power resiliency and reliability, renewables integration, and cost efficiencies [Оптимизация отказоустойчивости и надёжности электроснабжения, интеграция возобновляемых источников энергии и повышение экономической эффективности] (24–25.09.2024. Сан-Франциско, Калифорния, США). Режим доступа: microgridinnovation.com. Дата обращения: 10.12.2024.
- State scorecard 2023 [О системе показателей состояния микросети на 2023 год] [Электр. текст]. Think microgrid. Режим доступа: thinkmicrogrid.org. Дата обращения: 18.12.2024.
- Integration of distributed energy resources. The CERTS microgrid concept. Consultant report [Концепция микросети CERTS. Интеграция распределённых энергетических ресурсов] [Электр. текст]. Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS); California Energy Commission. October 2003. Режим доступа: eta-publications.lbl.gov. Дата обращения: 15.12.2024.
- Rural electrification for universal electricity access: A briefing paper [Электрификация сельских районов МЭК для обеспечения всеобщего доступа к электроэнергии. Информационный документ] [Электр. текст]. International Electrotechnical Commission (IEC). Режим доступа: iec.ch. Дата обращения: 20.12.2024.
- Бердников Р.Н., Бушуев В.В., Васильев С.Н. [и др.] Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью. Редакция 5.0. — М.: ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», 2012. 235 с.
- Vartanian Ch., Ropp M. Introduction to IEEE 1547 standard for interconnecting distributed energy resources with electric power systems [Введение в стандарт IEEE 1547 для объединения распределённых энергетических ресурсов с системами электроснабжения] [Электр. текст]. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); Sandia National Lab. Режим доступа: energy.sandia.gov. Дата обращения: 25.12.2024.
- Guide to the IEEE 1547-2018 standard and its impacts on cooperatives [Руководство по стандарту IEEE 1547-2018 и его влияние на энергетические кооперативы] [Электр. текст]. National Rural Electric Cooperative Association (NRECA). March 2019. Режим доступа: nrel.gov. Дата обращения: 10.12.2024.
- Technology roadmap — Smart Grids [Технологическая дорожная карта МЭА в отношении интеллектуальных сетей] [Электр. текст]. International Energy Agency (IEA). 2011. Париж, Франция. Режим доступа: iea.org. Дата обращения: 16.12.2024.
- World-wide overview of design and simulation tools for hybrid PV systems. Report IEA-PVPS T11-01:2011 [Мировой обзор инструментов проектирования и моделирования гибридных фотоэлектрических систем. Отчёт о задаче IEA-PVPS T11-01:2011] [Электр. текст]. International Energy Agency (IEA). Photovoltaic Power Systems Program (PVPS). Январь 2011. Режим доступа: iea.org. Дата обращения: 12.12.2024.
- Rural electrification with PV Hybrid Systems. Overview and recommendations for further deployment. Report IEA-PVPS T9-13:2013 [Электрификация сельских районов с помощью гибридных фотоэлектрических систем. Обзор и рекомендации по дальнейшему внедрению. Отчёт о задаче IEA-PVPS T9-13:2013] [Электр. текст]. International Energy Agency (IEA): Photovoltaic Power Systems Program (PVPS). Июль 2013. Режим доступа: iea.org. Дата обращения: 14.12.2024.
- SmartGrids SRA 2035. Strategic research agenda update of the SmartGrids SRA 2007 for the needs by the year 2035 [Европейская технологическая платформа SmartGrids SRA 2035. Программа стратегических исследований SmartGrids SRA 2007, обновлённая с учётом потребностей к 2035 году] [Электр. текст]. European SmartGrids Platform; Bacher Energy, Ltd.; European Commission. March 2012. Режим доступа: Zzeroemission.eu. Дата обращения: 11.12.2024.
- Microgrid evolution roadmap in EU. Impact on the development of electricity infrastructure. Advanced architectures and control concepts for More Microgrids [Дорожная карта развития микросетей в ЕС. Моделирование эволюции микросетей и профилей замены сетевой инфраструктуры ЕС. Усовершенствованные архитектуры и концепции управления для большого количества микросетей] [Электр. текст]. More Microgrids Project; European Research Project Cluster “Integration of RES + DG”. Апрель 2009. Режим доступа: microgrids.eu. Дата обращения: 10.01.2025.
- Renewable mini-grids: Innovation landscape brief 2016 [Возобновляемые мини-сети. Обзор инновационного ландшафта 2016] [Электр. текст]. International Renewable Energy Agency (IRENA). Абу-Даби, ОАЭ, 2016.
- Renewable mini-grids: Innovation landscape brief 2019 [Возобновляемые мини-сети. Обзор инновационного ландшафта 2019] [Электр. текст]. IRENA. Абу-Даби, ОАЭ, 2019.
- Возобновляемая энергетика в России и в мире [Электр. текст]. РЭА Минэнерго России. 2022. Режим доступа: rosenargo.gov.ru. Дата обращения: 12.01.2025.
- Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития (2022 год — первое полугодие 2023 года): годовой обзор отрасли ВИЭ [Электр. текст]. Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ). 2023. Режим доступа: trega.ru. Дата обращения: 20.12.2024.
- Схема и Программа перспективного развития электроэнергетики Краснодарского края на 2022–2026 годы / Утв. расп. главы администрации (губернатора) Краснодарского края РФ от 27.04.2021 №113-р.
- Лещинская Т.Б., Семичевский П.И., Белов С.И. Электроснабжение населённого пункта: методика, рекомендации по курсовому и дипломному проектированию. — М.: Изд-во МГАУ, 2010. 148 с.
- Лещинская Т.Б., Белов С.И. Сборник задач по электроснабжению сельского хозяйства. Часть 2. — М.: Изд-во МГАУ, 1996. 57 с.

References — see page 80.

Development of microgeneration and microgrids in rural areas for effective transformation of the electric power industry using the example of the Krasnodar Region. Pp. 58–71.

**Sergey I. Belov**, PhD, Associate Professor, the Department of Electricity Supply and Thermal Power Engineering, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy; **Nikolay F. Driga**, technical director, “Solarprofit”, LLC (Krasnodar city); **Dmitry A. Konyaev**, director of development, “Smart Energy”, LLC (Krasnodar city)

1. *Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Rossijskoj Federatsii “Kompleksnoe razvitiye sel’skikh territorij” (s izm. i dop.)* [On approval of the “Integrated Development of Rural Areas” state program of the Russian Federation]. *Postanovlenie Pravitel’stva RF ot 31.05.2019 №696* [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 696 of May 31, 2019 (with amendments and additions)]. [In Russian]
2. *Tekhnologicheskij reestr po osnovnym napravlenijam innovatsionnogo razvitiya PAO “Rosseti”* [Technological register for the main areas of innovative development of “Rosseti”, PJSC]. *Utv. rasporjazheniem PAO “Rosseti” ot 24.12.2018 №568-r* [Approved by the order of “Rosseti”, PJSC, No. 568-r of December 24, 2018]. [In Russian]
3. Remap 2030. Renewable energy prospects for the Russian Federation. IRENA. April 2017. Abu Dhabi, UAE. Web-source: irena.org. Access date: December 13, 2024.
4. *Prirodnaja jenergiya dlja raboty i zhizni: 150+ inzhenernykh reshenij na osnove vozobnovljaemykh istochnikov jenerгии*. *Informatsionnyj al’mannah* [Natural energy for work and life: 150+ engineering solutions based on renewable energy sources. Information almanac]. V.N. Afanasyev, S.V. Bondar, E.I. Borisov [et al.]; edited by E.G. Gasho; reviewed by: P.P. Bezrukikh, V.A. Butuzov. NIU “MJeT” [Moscow Power Engineering Institute]; *Assotsiatsiya spetsialistov VIJe “Zelenyj kilovatt”* [“Green Kilowatt” Association of Renewable Energy Sources Specialists]. St. Petersburg. *Naukoemkie tekhnologii* [“High-tech technologies” Publishers]. 2023. 292 p. [In Russian]
5. *Razvitiye mikrogeneratsii v Rossijskoj Federatsii: aktualnye voprosy* [Development of microgeneration in the Russian Federation: current issues]. *Onlajn-zasedanie Komiteta Gosudarstvennoj Dumy FS RF po jenergetike (16.09.2022)* [Online meeting of the Committee of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation on Energy (September 16, 2022)]. Web-source: komitet-energo.duma.gov.ru. Access date: December 15, 2024. [In Russian]
6. 19<sup>th</sup> edition of the Microgrid Global Innovation Forum. Optimizing power resiliency and reliability, renewables integration, and cost efficiencies. September 24–25, 2024. San Francisco, California, USA. Web-source: microgridinnovation.com/2024. Access date: December 10, 2024.
7. State scorecard 2023. Think microgrid. Web-source: thinkmicrogrid.org. Access date: December 18, 2024.
8. Integration of distributed energy resources. The CERTS microgrid concept. Consultant report. Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS); California Energy Commission. October 2003. Web-source: eta-publications.lbl.gov. Access date: December 15, 2024.
9. Rural electrification for universal electricity access: A briefing paper. International Electrotechnical Commission (IEC). Web-source: iec.ch. Access date: December 20, 2024.
10. R.N. Berdnikov, V.V. Bushuev, S.N. Vasiliev [et al.] *Kontseptsija intellektual’noj jelektrorjenergeticheskoy sistemy s aktivno-adaptivnoj set’ju*. *Redaktsiya 5.0* [The concept of an intelligent electric power system with an active-adaptive network. Revision 5.0]. Moscow. OAO “NTC FSK EJeS” [“Unified Energy System” Scientific and Technical Center of the Federal Grid Company (“STC FGC UES”, OJSC)]. 2012. 235 p. [In Russian]
11. Ch. Vartanian, M. Ropp. Introduction to IEEE 1547 standard for interconnecting distributed energy resources with electric power systems. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); Sandia National Lab. Web-source: energy.sandia.gov. Access date: December 25, 2024.
12. Guide to the IEEE 1547-2018 standard and its impacts on cooperatives. National Rural Electric Cooperative Association (NRECA). March 2019. Web-source: nrel.gov. Access date: December 10, 2024.
13. Technology roadmap — Smart Grids. International Energy Agency (IEA). 2011. Paris, France. Web-source: iea.org. Access date: December 16, 2024.
14. World-wide overview of design and simulation tools for hybrid PV systems. Report IEA-PVPS T11-01:2011. IEA: Photovoltaic Power Systems Program (PVPS). January 2011. Web-source: iea.org. Access date: December 12, 2024.
15. Rural electrification with PV hybrid systems. Overview and recommendations for further deployment. Report IEA-PVPS T9-13:2013. IEA: PVPS. July 2013. Web-source: iea.org. Access date: December 14, 2024.
16. European Technology Platform SmartGrids SRA 2035. Strategic research agenda update of the SmartGrids SRA 2007 for the needs by the year 2035. European SmartGrids Platform; Bacher Energy, Ltd.; European Commission. March 2012. Web-source: 2zeroemission.eu. Access date: December 11, 2024.
17. Microgrid evolution roadmap in EU. Impact on the development of electricity infrastructure. Advanced architectures and control concepts for More Microgrids. More Microgrids Project; European Research Project Cluster “Integration of RES + DG”. April 2009. Web-source: microgrids.eu. Access date: 10.01.2025.
18. Renewable mini-grids: Innovation landscape brief 2016. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi, UAE. 2016.
19. Renewable mini-grids: Innovation landscape brief 2019. IRENA. Abu Dhabi, UAE. 2019.
20. *Vozobnovljaemaja jenergetika v Rossii i v mire* [Renewable energy in Russia and in the world]. *RJeA Minjenergo Rossii* [Russian Energy Agency (REA) of the Ministry of Energy of Russia]. 2022. Web-source: rosenergo.gov.ru. Access date: January 12, 2025. [In Russian]
21. *Rynok vozobnovljaemoj jenergetiki Rossii: tekushchij status i perspektivy razvitiya (2022 god — pervoe polugodie 2023 goda): godovoj obzor otrasli VIJe* [The Russian renewable energy market: current status and development prospects (2022 — first half of 2023): Annual review of the renewable energy industry]. *Assotsiatsiya razvitiya vozobnovljaemoj jenergetiki (ARVJe)* [Renewable Energy Development Association (REDA)]. 2023. Web-source: rreda.ru. Access date: December 20, 2024. [In Russian]
22. *Shema i Programma perspektivnogo razvitiya jelektrorjenergetiki Krasnodarskogo kraja na 2022–2026 gody* [Scheme and program for the prospective development of the electric power industry of the Krasnodar Region for 2022–2026]. *Utv. rasporjazheniem glavy administratsii (gubernatora) Krasnodarskogo kraja RF ot 27.04.2021 №113-r* [Approved by the Order of the Head of Administration (Governor) of the Krasnodar Region of the Russian Federation No. 113-r of April 27, 2021]. [In Russian]
23. T.B. Leshchinskaya, P.I. Semichevsky, S.I. Belov. *Jelektrosnabzhenie naselennogo punkta: Metodich. rekomend. po kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu* [Electricity supply of a settlement. Methodological recommendations for course and diploma design]. Moscow. *Izd-vo MGAU* [Publishing House of Russian State Agricultural University]. 2010. 148 p. [In Russian]
24. T.B. Leshchinskaya, S.I. Belov. *Sbornik zadach po jelektrosnabzheniju sel’skogo khozjajstva. Ch. II* [Collection of problems on power supply of agriculture. Part II]. Moscow. *Izd-vo MGAU* [Publishing House of Russian State Agricultural University]. 1996. 57 p. [In Russian]