

Вопросы технологического присоединения объектов микро- генерации на основе ВИЭ в России и Германии

Рецензия эксперта на статью получена
16.04.2025 [The expert review of the article
was received on April 16, 2025]

На текущий момент одним из основополагающих направлений в развитии электроэнергетики, как во всём мире, так и в России, является распределённая генерация. Распределённая генерация энергии подразумевает производство электрической энергии потребителем для собственных целей и с возможностью выдачи электроэнергии в распределительную сеть на различных уровнях напряжений. Такие потребители являются «активными потребителями» или «просьюмерами» (от англ. *prosumer*, то есть *producer + consumer*, «производитель-потребитель»).

Главным стимулом для развития распределённой генерации стало масштабное использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как энергии солнца и ветра, энергии вод, приливов, волн водных объектов, геотермальная энергия, низкопотенциальная тепловая энергия, биомасса (включая специально выращенные для получения энергии растения), а также биогаз и газ, выделяемый отходами на мусорных свалках [1].

Возобновляемые источники энергии характеризуются переменным характером графика генерации. Данная особенность создаёт сложности в обеспечении бесперебойного электроснабжения потребителей. Для повышения надёжности энергосистем на основе ВИЭ применяются не только системы накопления электроэнергии (СНЭ), но и другие решения: диверсификация генерирующих мощностей, оптимизация управления спросом, «интеллектуальные» системы с активно-адаптивным управлением, а также интеграция с резервными мощностями или межсетевыми соединениями. Наибольшее распространение получили именно СНЭ, однако даже с учётом ежегодного

Для повышения надёжности энергосистем на основе ВИЭ применяются системы накопления электроэнергии, диверсификация генерирующих мощностей, оптимизация управления спросом, «интеллектуальные» системы с активно-адаптивным управлением и резервирование

снижения их стоимости высокая капиталоемкость по-прежнему ограничивает массовое использование в проектах ВИЭ.

Общий объём введённых мощностей ВИЭ в РФ, по данным Ассоциации развития возобновляемой энергетики (АРВЭ) на июнь 2024 года [2], составляет 6,18 ГВт:

- солнечные электростанции 2,21 ГВт;
- ветровые электростанции 2,57 ГВт;
- малые гидроэлектростанции 1,29 ГВт;
- геотермальные (ГеоЭС) 0,08 ГВт.

Рассмотрим в первую очередь энергокомплексы на основе энергии солнца, как наиболее доступного и распространённого источника возобновляемой энергии, используемого в России. В РФ солнечные электростанции осуществляют свою работу в нескольких категориях:

- оптовый рынок электрической энергии и мощности (свыше 25 МВт установленной мощности);
- розничный рынок электрической энергии и мощности (до 25 МВт установленной мощности);
- микрогенерация (до 15 кВт выдаваемой мощности в сеть);
- энергокомплексы ВИЭ, функционирующие для покрытия собственного потребления промышленных объектов;
- автономные энергокомплексы на изолированных территориях.

УДК 620.92. Научная специальность: 2.4.5.

Вопросы технологического присоединения объектов микрогенерации на основе ВИЭ в России и мире

Татьяна Александровна Шестопалова, к.т.н., директор Института гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии (ИГВИЭ) Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **Дмитрий Сергеевич Буркин**, аспирант, кафедра гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, НИУ «МЭИ»; **Валерий Владимирович Ковалёв**, заместитель начальника Департамента энергосбережения и повышения энергетической эффективности ПАО «Россети Кубань» (г. Краснодар)

Статья посвящена исследованию технических и организационных аспектов функционирования объектов микрогенерации в электрических сетях. Цель работы — анализ зарубежного опыта и разработка рекомендаций по внедрению микрогенерации в России. Методология основана на сравнительном анализе технических требований и нормативных документов, что позволило оценить перспективы развития микрогенерации и необходимость совершенствования нормативной базы. Результаты исследования демонстрируют потенциал развития микрогенерации в электро-сетевом комплексе РФ при условии координации всех участников рынка.

Ключевые слова: микрогенерация, возобновляемые источники энергии, технологическое присоединение.

UDC 620.92. Scientific specialty number: 2.4.5.

Issues of technological connection of microgeneration facilities based on renewable energy sources in Russia and the world

Tatiana A. Shestopalova, PhD (Engineering), director of the Institute of Hydropower and Renewable Energy Sources (IHPRES) of the National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **Dmitry S. Burykin**, PhD student, the Department of Hydropower and Renewable Energy Sources, NRU "MPEI"; **Valery V. Kovalev**, Deputy Head of the Department of Energy Conservation and Improvement energy efficiency of "Rosseti Kuban", PJSC (Krasnodar)

The article is devoted to the study of technical and organizational aspects of the functioning of microgeneration facilities in electric networks. The purpose of the work is to analyze foreign experience and develop recommendations for the implementation of microgeneration in Russia. The methodology is based on a comparative analysis of technical requirements and regulatory documents, which made it possible to assess the prospects for the development of microgeneration and the need to improve the regulatory framework. The results of the study demonstrate the potential for the development of microgeneration in the Russian electric grid complex, subject to the coordination of all market participants.

Key words: microgeneration, renewable energy sources, technological connection.

Отсутствие учёта электростанций ВИЭ, введённых домохозяйствами и малым бизнесом, не позволяет точно оценить данные объёмы. По оценке АРВЭ [2], на начало 2024 года общая установленная мощность объектов микрогенерации составила 4,7 МВт. Суммарная мощность электростанций на основе ВИЭ для покрытия собственного потребления оценивается в объёме 0,3% или 6,63 МВт в количественном измерении.

По оценкам Минэнерго России, достижимый потенциал рынка солнечной микрогенерации в РФ может составить до 15 ГВт, что обусловлено увеличением цен на электроэнергию и снижением стоимости фотоэлектрических установок. При этом прогнозируемые ежегодные объёмы ввода мощностей микрогенерации в ближайшие пять лет составят от 150 до 200 МВт [3].

Правовое регулирование технологического присоединения объектов микрогенерации в России и мире

Микрогенерация получила законодательный закреплённый статус после внесения изменений в №35-ФЗ «Об электроэнергетике» [1] в части развития микрогенерации.

Согласно ст. 3 данного закона [1], объект микрогенерации обладает следующими характеристиками:

- объект микрогенерации принадлежит по праву собственности или на ином законном основании потребителю;
- технологическое присоединение объекта выполнено на уровне напряжения до 1000 В;
- объект микрогенерации функционирует на основе ВИЭ;
- произведённая электроэнергия используется в целях удовлетворения собственных бытовых и (или) производственных нужд;
- возможна продажа электроэнергии на розничном рынке электроэнергии и мощности;
- объём выдачи электрической энергии в сеть не превышает величину максимальной присоединённой мощности энергопринимающих устройств указанного потребителя и составляет не более 15 кВт;
- запрещено использование объекта микрогенерации для эксплуатации многоквартирных домов;
- моделью микрогенерации могут воспользоваться как физические, так и юридические лица.

Отдельно отметим, что технологическое присоединение объектов микрогенерации должно предусматривать обеспечение технического ограничения выдачи электрической энергии в сеть с максималь-



■ Солнечная электростанция 5 кВт на полигоне УДПО «Энергетический институт повышения квалификации» ПАО «Кубаньэнерго» (город Краснодар) и испытания опытного образца контроллера присоединения объектов микрогенерации на том же полигоне (на врезке сверху)

ной мощностью, не превышающей величину максимальной мощности принимающих устройств потребителя электроэнергии и составляющей не более 15 кВт [1].

Следующим нормативным актом, который позволил осуществить технологическое присоединение объектов микрогенерации к электросетевым объектам, стало Постановление Правительства РФ №299 [4]. Внесённые изменения определили порядок технологического присоединения объектов микрогенерации, включая:

- стоимость технологического присоединения;
- порядок подачи и состав заявки на осуществление технологического присоединения;
- порядок заключения договора с энергосбытовой организацией и расчёта стоимости электрической энергии, произведённой объектом микрогенерации;
- требования к техническим средствам ограничения мощности, дистанционного управления и контроля качества электроэнергии, производимой объектом микрогенерации.

Требования к техническим средствам ограничения мощности, дистанционного управления и контроля качества электроэнергии, производимой объектом микрогенерации, являются основополагающими с точки зрения формирования технических условий на осуществление технологического присоединения объектов микрогенерации

Последний пункт является основополагающим с точки зрения формирования технических условий на осуществление технологического присоединения объектов микрогенерации.

Отсутствие у сетевых компаний практического опыта работы с активными потребителями создало ряд проблемных вопросов в части формирования технических условий, таких как:

- обеспечение надёжности функционирования распределительного комплекса;
- влияние объектов микрогенерации на качество электрической энергии;
- обеспечение безопасности персонала при проведении эксплуатационных работ в электроустановках, к которым выполнено присоединение объектов микрогенерации;
- обеспечение ограничения выдачи электрической энергии в сеть в объёме, не превышающем 15 кВт;
- обеспечение технической возможности дистанционного отключения объекта микрогенерации.

В настоящее время сетевые компании используют типовые технические условия, разработанные в соответствии с требованиями Постановления Правительства РФ №299 [4], что позволило осуществлять технологическое присоединение объектов микрогенерации в установленные законодательством сроки.

Приведём в пример Краснодарский край, где развитие микрогенерации началось раньше других регионов РФ по причинам благоприятных географических условий и высоких тарифов на электроэнергию.

На текущий момент в двух крупнейших электросетевых компаниях региона — ПАО «Россети Кубань» и АО «Электросети Кубани» — исполнены 99 и 103 договоров, соответственно, на осуществление технологического присоединения объектов микрогенерации.

Однако приведённое количество договоров существенно ниже количества фактически установленных солнечных электростанций, предназначенных для снижения собственного энергопотребления и не имеющих возможности выдавать излишки генерации в сеть.

Главным фактором, препятствующим повсеместному технологическому присоединению объектов генерации на основе ВИЭ, является высокая стоимость технологического присоединения, равная стоимости технологического присоединения энергопринимающих электроустановок потребителей.

Вместе с финансовым барьером открытым вопросом для сетевых компаний остаётся выполнение требований Постановления Правительства РФ №861 [5]:

- обеспечение технического ограничения выдачи электрической энергии в сеть с максимальной мощностью, не превышающей величину максимальной мощности энергопринимающих устройств потребителя электрической энергии и составляющей не более 15 кВт;
- установка устройств регулирования напряжения для обеспечения надёжности и качества электрической энергии;
- требования по обеспечению возможности дистанционного отключения объектов микрогенерации с обеспечением видимого разрыва или другого способа гарантированного отключения источника генерации от объектов распределительного комплекса при проведении плановых или аварийных работ.

Рассмотрим данные проблемные вопросы по отдельности:

1. Ограничение мощности. Установленная мощность объекта микрогенерации не регламентируется законодательно и может превышать 15 кВт. В случае наличия у потребителя энергопринимающих установок более 15 кВт токоограничивающим элементом является автоматический выключатель на стороне 0,4 кВ, номинальный ток которого соответствует разрешённой присоединённой мощности. Принцип работы сетевого инвертора позволяет в первую очередь обеспечивать внутреннее потребление объекта и в случае его превышения выдавать излишки в сеть. Например, если юридическое или физическое лицо имеет технологическое присоединение электроустановок мощно-

Современные инверторы имеют возможность программно ограничивать выдачу электроэнергии в сеть при наличии измерения внутреннего потребления. В случае собственного потребления, полностью обеспеченного СЭС, инвертор ограничит излишек выдаваемой мощности в объёме 15 кВт

стью 100 кВт и солнечную электростанцию мощностью 100 кВт, то в случае работы солнечной электростанции на 100 % и потребления ниже 85 кВт выдаваемая мощность превысит разрешённый предел в 15 кВт. Сетевой инвертор солнечной электростанции зачастую подключается к шинам 0,4 кВ в точках максимального потребления и имеет номинальный ток автоматического выключателя, равный мощности инвертора. Установить отдельную линию на выдачу электроэнергии в сеть, ограниченную 15 кВт, технически не представляется возможным с точки зрения функциональных возможностей инвертора.

Современные инверторы имеют возможность программно ограничивать выдачу электроэнергии в сеть при наличии измерения внутреннего потребления. В случае собственного потребления, полностью обеспеченного солнечной электростанцией, инвертор ограничит излишек выдаваемой мощности в объёме 15 кВт.

Использование данной функции инвертором не подразумевается в действующих нормативных актах.

2. Устройство регулирования напряжения. Качество электроэнергии в РФ в настоящий момент регламентируется ГОСТ 32144–2013 [6]. Современные инверторы обеспечивают требуемые параметры электроэнергии, но проверка их на соответствие посредством сертификации или контроля в режиме реального времени средствами телеизмерения не проводится.

3. Дистанционное отключение. В настоящее время дистанционное отключение объекта микрогенерации возможно при наличии соответствующего прибора учёта. В таком случае будет произведено ограничение как выдачи электроэнергии в сеть, так и потребления, что противоречит Постановлению Правительства РФ №442 [7], где некорректная работа объекта микрогенерации не является основанием для введения каких-либо ограничений потребления.

В странах Европы и США такие возможности предусмотрены в технических требованиях к объектам распределённой

генерации, функционирующих параллельно с распределительной электрической сетью.

Подключение фотовольтаических станций и других генераторов к сетям низкого напряжения в Германии регламентируется стандартом VDE-AR-N 4105 [8], разработанным Союзом немецких инженеров-электриков (Verband Deutscher Elektrotechniker, VDE). Документ определяет требования, необходимые для безопасного и стабильного подключения генераторов к сетям низкого напряжения.

Перечислим основные положения стандарта VDE-AR-N 4105:

1. Генерирующие установки должны быть подключены таким образом, чтобы изменения среднеквадратичного значения напряжения в точке общего подключения не превышали 5 % от номинального значения напряжения для низковольтных электросетей.
2. Синхронизация генерирующих установок с локальной электрической сетью должна выполняться полностью автоматически, без использования ручного замыкателя между двумя системами. Генераторы должны обеспечивать плавное подключение к сети.
3. Для установок с мощностью до 30 кВт обязательным является ограничение активной мощности до 70 % от номинала либо возможность удалённого управления мощностью сетевой компанией. Для установок мощностью свыше 30 кВт обязательно наличие системы удалённого управления мощностью.
4. Генераторы должны обеспечивать подачу реактивной мощности в соответствии с установленными стандартами для поддержки стабильности сети. Это может реализовываться через соответствующую характеристическую кривую реактивной мощности в зависимости от напряжения.
5. Генерирующие установки должны быть оснащены механизмами для предотвращения несанкционированной работы в режиме изолированной работы. Это может быть достигнуто как активными, так и пассивными методами, такими как метод частотного смещения или мониторинг трёхфазного напряжения.
6. Все генераторы должны быть оборудованы системой сетевой и системной защиты, которая автоматически отключает генератор в случае выхода параметров сети за допустимые пределы. Защита должна включать защиту от повышения и понижения напряжения, частоты, а также при выявлении режима изоляции сети.
7. Генераторы мощностью более 30 кВт должны быть оборудованы системой, позволяющей сетевой компании дистанцион-

но регулировать активную мощность установки, обеспечивая безопасное управление и предотвращение перегрузок в сети.

8. Генераторы должны корректировать свою активную мощность в зависимости от частоты сети, снижая или увеличивая мощность при изменении частоты для обеспечения сетевой стабильности.

9. Подключение генераторов к сети допускается только при условии соблюдения установленных стандартов синхронизации и уровня напряжения, которое должно находиться в пределах от 85 до 110 % номинального значения, а частота — в пределах 47,5–50,1 Гц в течение не менее 60 секунд перед подключением.

Вышеперечисленные требования направлены на обеспечение безопасного и надёжного функционирования объектов распределённой генерации в составе распределительного комплекса.

Отечественные перспективные научные разработки

Вопросы параллельной работы объектов микрогенерации и распределительной электрической сети стали основой реализованных в ДЗО ПАО «Россети» НИОКР.

В рамках осуществления программы НИОКР группой компаний ПАО «Россети Центр» зарегистрирован патент на программу для ЭВМ «Программный комплекс электросетевого контроллера для присоединения объектов микрогенерации к распределительной электрической сети 0,4 кВ». Программа предназначена для обеспечения устойчивой и безопасной работы участка распределительной электрической сети 0,4 кВ, насыщенного объектами микрогенерации, как в рабочих, так и в предаварийных режимах работы, посредством прямого измерения параметров участка электрической сети, управляемого электросетевого комплекса, сбора информации с удалённых устройств, определения режимов и параметров функциональных отклонений и вычисления корректирующих воздействий для последующего формирования и выдачи команд управления объектами микрогенерации. Область применения программы: распределительные электрические сети напряжением 0,4 кВ электроэнергетических систем, в том числе изолированных электроэнергетических систем, в составе которых функционируют объекты микрогенерации.

На базе ПАО «Россети Кубань» с привлечением промышленного партнёра ООО «Систел» реализован НИОКР и получен патент на полезную модель «Контроллер присоединения объектов микрогенерации к распределительной сети» [9].

К основным особенностям данного контроллера относятся:

1. Возможность независимого контроля потребляемой и генерируемой мощности, а также независимой коммутации (отключения / включения) нагрузки / генерации в зависимости от заложенного алгоритма реагирования на возникающие ситуации.

2. Возможность управления внешним коммутационным аппаратом с верхнего уровня автоматизированной системы диспетчерского управления для исключения несанкционированной подачи электроэнергии от объекта микрогенерации на элементы распределительной сети при выполнении плановых, ремонтных и аварийно-восстановительных работ на электросетевом оборудовании.

3. Двухнаправленный учёт объёма потреблённой и выданной в сеть электрической энергии.

4. Автоматическое отключение объекта микрогенерации от распределительной сети в случае выхода значений показателей качества произведённой объектом микрогенерации электроэнергии из допустимых значений.

5. Передачу данных на верхний уровень автоматизированной системы диспетчерского управления и приём команд по каналам связи с использованием открытых протоколов.

6. Возможность по команде с верхнего уровня автоматизированной системы учёта электроэнергии отключать потребителя в случае наличия задолженности за потреблённую электроэнергию.

Разработанный контроллер прошёл опытно-промышленную эксплуатацию на нескольких объектах микрогенерации в Краснодарском крае.

В настоящее время промышленное внедрение результатов описанных выше НИОКР отсутствует. Технологическое присоединение объектов микрогенерации осуществляется без дополнительного оборудования мониторинга и контроля их работы и без предъявления технических требований к настройкам защит и режимов работы имеющегося инверторного оборудования.

Выводы

Очевидно, что с учётом роста тарифов сетевой электроэнергии и стремительного снижения капитальных затрат на строительство солнечных электростанций объекты распределённой генерации до 200 кВт, подключённые по уровню напряжения 0,4 кВ, являются экономически привлекательным объектом инвестиций для малого и среднего бизнеса.

Сетевые компании в ближайшее время не столкнутся с проблемами надёжности электроснабжения в сетях 0,4 кВ по причине повсеместного использования солнечных электростанций. Однако такие регионы, как Ростовская область и Краснодарский край, в первую очередь должны наладить работу с объектами микрогенерации.

Как видно из накопленного опыта зарубежных энергосистем, необходима активная совместная работа в техническом регулировании работы объектов микрогенерации всех участников рынка — собственников объектов микрогенерации и производителей инверторного оборудования (с целью сертификации их продукции), а также электросетевых компаний, обеспечивающих надёжность и безопасность функционирования распределительного энергокомплекса. ●

1. Об электроэнергетике: Федеральный закон от 26.03.2003 №35-ФЗ (ред. от 25.02.2025).
2. Ежеквартальный информационный обзор рынка возобновляемых источников энергии в России. II квартал 2024 года [Электр. ресурс]. АРВЭ. Режим доступа: greda.ru. Дата обрац.: 16.03.2025.
3. Смертина П. Солнце наших крыш [Электр. текст]. «Коммерсантъ» от 02.04.2021. Режим доступа: kommersant.ru. Дата обрац.: 16.03.2025.
4. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации: Постановление Правительства РФ от 02.03.2021 №299.
5. Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам коммерческого оператора оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объ-

6. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (ред. от 25.10.2023) / Дата введ.: 01.07.2014.
7. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии (ред. от 17.04.2025): Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 №442.
8. VDE-AR-N 4105. Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz [Подключение и параллельная работа генерирующих установок в низковольтной сети]. Publ.: 01.11.2018.
9. Патент РФ №216062. МПК G01R 21/133. Контроллер присоединения объектов микрогенерации к распределительной сети / А.С. Рыкованов. №2021110945. Патентообл.: ООО «Промышленные приборы». Заявл.: 19.04.2021; опубл.: 16.01.2023.

References — see page 80.

Issues of technological connection of microgeneration facilities based on renewable energy sources in Russia and the world. Pp. 76–79.

Tatiana A. Shestopalova, PhD (Engineering), director of the Institute of Hydropower and Renewable Energy Sources (IHPRES) of the National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **Dmitry S. Burykin**, PhD student, the Department of Hydropower and Renewable Energy Sources, NRU "MPEI"; **Valery V. Kovalev**, Deputy Head of the Department of Energy Conservation and Improvement energy efficiency of "Rosseti Kuban", PJSC (Krasnodar)

1. *Ob elektroenergetike* [On the electric power industry]. *Federal'nyj zakon ot 26.03.2003 №35-FZ (red. om 25.02.2025)* [Federal Law No. 35-FL of March 26, 2003 (as amended on February 25, 2025)]. [In Russian]
2. *Ezhekvartal'nyj informatsionnyj obzor rynka vozobnovlyаемых istochnikov energii v Rossii. II kvartal 2024 goda* [Quarterly Information Review of the Renewable Energy Market in Russia. Q2 2024]. ARVE [Russia Renewable Energy Development Association (RREDA)]. Web-source: rreda.ru. Access date: March 16, 2025. [In Russian]
3. P. Smertina. *Solntse nashikh krysh* [The sun of our roofs]. "Kommersant" of April 2, 2021. Web-source: kommersant.ru. Access date: March 16, 2025. [In Russian]
4. *O vnesenii izmenenij v nekotorye akty Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii v chasti opredeleniya osobennostej pravovogo regulirovaniya otnoshenij po funktsionirovaniyu ob'ektov mikrogeneratsii* [On amendments to certain acts of the Government of the Russian Federation regarding defining the specifics of legal regulation of relations regarding the operation of microgeneration facilities]. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 02.03.2021 №299* [The Resolution of the Government of the Russia Federation No. 299 of March 2, 2021]. [In Russian]
5. *Ob utverzhenii Pravil nediskriminatsionnogo dostupa k uslugam po peredache elektricheskoy energii i okazaniya etikh uslug, Pravil nediskriminatsionnogo dostupa k uslugam po operativno-dispatcherskomu upravleniyu v elektroenergetike i okazaniya etikh uslug, Pravil nediskriminatsionnogo dostupa k uslugam kommercheskogo operatora optovogo rynka i okazaniya etikh uslug i Pravil tekhnologicheskogo prisoedineniya energoprimayushchikh ustroystv potrebitel'ev elektricheskoy energii, ob'ektov po proizvodstvu elektricheskoy energii, a takzhe ob'ektov elektrosetevogo khozyajstva, prinaldezhashchikh setevym organizatsiyam i inym litsam, k elektricheskim setyam (red. ot 27.12.2024)* [On approval of the Rules for non-discriminatory access to and provision of electric power transmission services, the Rules for non-discriminatory access to and provision of operational dispatch control services in the electric power industry, the Rules for non-discriminatory access to and provision of services of a commercial wholesale market operator, and the Rules for the technological connection of power receiving devices of electric power consumers, electric power generation facilities, as well as electric grid facilities owned by grid organizations and other persons, to electric grids (as amended on 27.12.2024)]. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 27.12.2004 №861* [The Resolution of the Government of the Russia Federation No. 861 of December 27, 2004]. [In Russian]
6. *GOST 32144–2013* [The State Industry Standard of Russia No. 32144–2013]. *Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya (red. ot 25.10.2023)* [Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Electric power quality standards in general-purpose power supply systems (as amended on October 25, 2023)]. Date of impl.: July 1, 2014. [In Russian]
7. *O funktsionirovanii roznichnykh rynkov elektricheskoy energii, polnom i (ili) chastichnom ogranichenii rezhima potrebleniya elektricheskoy energii (red. ot 17.04.2025)* [On the functioning of retail electricity markets, complete and/or partial restrictions on electricity consumption (as amended on April 17, 2025)]. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 04.05.2012 №442* [Decree of the Government of the Russian Federation No. 442 of May 4, 2012]. [In Russian]
8. VDE-AR-N 4105. Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz. Publ.: 01.11.2018. [In German]
9. The patent No. 216062 (RU). IPC G01R 21/133. *Kontroller prisoedineniya ob'ektov mikrogeneratsii k raspredelitel'noj seti* [The controller for connecting microgeneration facilities to the distribution network]. A.S. Rykovanov. No. 2021110945. Patent holder: OOO "Promyshlennyye pribory" ["Industrial Instruments", LLC]. Decl.: April 19, 2021; publ.: January 16, 2023. [In Russian]