

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ РАДИОЦЕНТРА С РЕЗКОПЕРЕМЕННЫМ ХАРАКТЕРОМ НАГРУЗКИ

В работе на примере радицентра рассмотрен вопрос организации электротехнической системы с распределенной генерацией потребителя, обладающего резкопеременным характером нагрузки. Создание электротехнических комплексов на основе распределенной генерации энергии является перспективным направлением развития энергетики. Одной из проблем, которая может быть решена при помощи распределенной генерации, является сглаживание профиля мощности нагрузки потребителя. Цель исследовательской работы заключается в изучении особенностей организации электротехнической системы с распределенной генерацией радицентра, обладающего резкопеременным характером нагрузки. При построении структурных схем системы электроснабжения радицентра использованы основы электроснабжения промышленных предприятий. Рекомендации по техническим параметрам энергоустановок интегрированы на основе результатов исследований в области распределенной генерации энергии и связанных с ней и системами радиосвязи нормативных документов. По результатам исследовательской работы отмечены технические характеристики энергоустановок, на которые следует обращать внимание при проектировании электротехнической системы с распределенной генерацией радицентра. Предложены варианты структурной схемы электротехнической системы с распределенной генерацией радицентра и соответствующих схем выдачи мощности.

Ключевые слова: распределенная генерация, возобновляемый источник энергии, сетевой инвертор, радицентр, акустический шум, динамическая устойчивость.

Введение. Распределенная генерация (РГ) — принцип развития распределительных сетей и сетей внутреннего электроснабжения предприятий с растущей нагрузкой, при котором генерирующие установки малой и средней мощности (не более 25 МВт) размещаются в узлах электропотребления [1, 2].

РГ является перспективным направлением развития мировой и отечественной электроэнергетики [3].

В первую очередь, это связано с возможностью уменьшить технические потери при передаче электроэнергии, а именно условно-постоянные и нагрузочные (переменные) потери [4].

Условно-постоянные потери включают потери в трансформаторах, в изоляции силовых кабелей, в ограничителях перенапряжений и других элементах электрической сети. При РГ уменьшается количество трансформаций электроэнергии и элементов электрической сети. Нагрузочные потери пропорциональны активному сопротивлению линии электропередачи. При РГ значительно уменьшается расстояние между источником питания и нагрузкой, что влечет за собой уменьшение активного сопротивления линии и нагрузочных потерь.

Появление энергоэффективных, коммерчески доступных и экологически чистых во-

зобновляемых источников энергии (ВИЭ) также способствует распространению РГ. Так с 2003 г. по 2018 г. доля ВИЭ в выработке электроэнергии в мире возросла в 5 раз [5].

Постановление Правительства РФ № 449 от 28.05.2013 г. «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» служит дополнительным стимулом для развития электротехнических систем (ЭТС) с РГ. Согласно [6], на 2019 г. суммарная установленная мощность генерирующих установок ЭТС с РГ в РФ составляла не менее 8 % от общего объема выработки электроэнергии, и наблюдается тенденции дальнейшего развития РГ.

Радиоцентр является переменной нагрузкой, мощность которой зависит от расписания сеансов связи. Если радиоцентр имеет только один радиопередатчик, то характер его нагрузки резкопеременный. В момент начала сеанса передачи электропотребление радиоцентра увеличивается в 5–7 раз [7]. При использовании централизованной системы электроснабжения пропускная способность трансформаторной подстанции, а также других элементов распределительной сети соответствует максимальному электропотреблению радиоцентра в режиме передачи радиосигнала. Окончание режима передачи радиоцентра соответствует значительному уменьшению мощности нагрузки радиоцентра. Пониженное энергопотребление радиоцентра большую часть суточного графика работы радиоцентра говорит о неэффективности использования элементов сети с повышенной пропускной способностью. Скачкообразное увеличение потребности радиоцентром мощности в момент начала сеанса связи может явиться причиной дополнительных выплат электроснабжающей организации или невозможностью перехода на более выгодный тариф. Также можно предположить, что резкопеременный характер нагрузки радиоцентра увеличивает вероятность возникновения асинхронных режимов работы электростанций централизованной системы электроснабжения.

Таким образом, при централизованном электроснабжении резкопеременный характер нагрузки радиоцентра является экономически неэффективным как со стороны генерации, так и со стороны потребления.

В исследовательской работе предлагается рассмотреть возможность сглаживания пикового потребления, обладающего резкопеременным характером нагрузки радиоцентра во время сеанса связи при помощи РГ. Целью исследовательской работы является изучение особенностей организации ЭТС с РГ радиоцентра, обладающего резкопеременным характером нагрузки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть технологические особенности установок РГ, которые следует учитывать при организации ЭТС с РГ радиоцентра;
- разработать алгоритм работы и структурную схему ЭТС с РГ радиоцентра с использованием установок РГ;

— разработать схемы выдачи мощности объектом РГ.

Технологические особенности генерирующих установок для организации ЭТС с РГ радиоцентров. Современные технологии РГ включают генерирующие установки (ГУ) на основе ВИЭ, а также дизель-генераторные установки (ДГУ), газопоршневые установки (ГПУ), газотурбинные установки (ГТУ).

При выборе ГУ для организации ЭТС с РГ радиоцентра следует учитывать уровень акустического шума, уровень радиопомех, возможности когенерации или тригенерации, механические и динамические характеристики, технологический минимум энергоустановки, показатели качества электроэнергии системы.

Показатели качества электроэнергии ЭТС с РГ радиоцентра, уровень радиопомех и акустических шумов установок РГ должны соответствовать документу «Правила применения оборудования электропитания средств связи» на основании приказа № 24 Министерства связи и массовых коммуникаций РФ от 30.01.2018 г.

Согласно данным Правилам, параметры электроэнергии ГУ, в том числе автономных источников, должны удовлетворять следующим требованиям:

- номинальное действующее значение напряжения 380/220 В;
- номинальная частота 50 Гц;
- установившееся отклонение напряжения от номинального значения +10/–15 %;
- переходное отклонение напряжения длительностью не более 3 сек. ± 40 %;
- исчезновение напряжения на время не более 10 мс;
- установившееся отклонение частоты от номинального значения ± 5 Гц;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения не более 12 %.

Согласно [8], эквивалентный уровень шумов, создаваемых ГУ, в частности газопоршневыми и газотурбинными, не должен превышать 65 дБ для оборудования, находящегося в одном помещении со средствами связи и 80 дБ для оборудования, установленного в отдельном помещении. Также вводятся ограничения на допустимый уровень напряжения радиопомех и напряженности поля радиопомех, создаваемых ГУ. В полосе частот 0,15–30 МГц величина радиопомех в точке подключения средств радиосвязи гарантированно удовлетворяет требованиям, если не превышает 46 дБмкВ. Напряженность поля радиопомех в полосе частот 30–230 МГц на расстоянии 3 м от ГУ должна составлять не более 40 дБмкВ/м.

Акустический шум, производимый ГУ, может оказывать негативное влияние не только на радиоаппаратуру, но и на персонал радиоцентра. Согласно санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562, уровень шума, воздействующего на человека в течение длительного интервала времени, не должен превышать 55 дБ.

Высокий уровень акустического шума характерен для ветрогенераторов. Из паспортных данных отечественных и зарубежных производителей следует, что максимальный уровень шума от ветрогенератора достигает значения 55 дБ.

Существуют различные способы снижения уровня акустического шума [9]. Например, если расстояние между жилым зданием и ветрогенератором составляет не менее 300 метров, тогда уровень акустического шума не должен превышать 40 дБ.

Также источником акустического шума служат сетевые инверторы, которые являются обязательным компонентом большинства ЭТС с РГ на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). По данным [10] причиной акустического шума сетевого инвертора является работа вентиляторов системы охлаждения и переменные магнитострикционные деформации сердечников трансформаторов, входящих в его состав. Уровень акустического шума инвертора непосредственно связан с его мощностью. Так, для мощности 6 кВт уровень шума составляет 40 дБ, а для мощности 20 кВт уровень шума составляет 50 дБ. Поэтому при проектировании ВИЭ в составе ЭТС с РГ радицентра мощностью 20 кВт и выше следует учитывать необходимость шумоизоляции инвертора.

Уровень акустического шума от работы электростанций на основе ДГУ, ГПУ и ГТУ может достигать 55–110 дБ, поэтому на территории радицентра данные типы ГУ должны размещаться в отдельном помещении или здании. Снизить шум позволяет использование шумозащитного кожуха, при этом стоимость установки увеличивается в среднем на 15 %.

Многие установки РГ при производстве электрической энергии выделяют тепловую энергию, например, ГПУ и ГТУ. Существуют технологические решения, позволяющие при помощи тепловых насосов выделяемую установкой РГ тепловую энергию использовать для обогрева помещений. Такой способ одновременного производства тепла и электрической энергии называется когенерацией [11]. Если одновременно с производством электроэнергии организованы низкотемпературный и высокотемпературный циклы, то такой режим работы установки РГ называется тригенерацией [12]. Применение установки РГ с когенерацией или тригенерацией позволит организовать автономную систему теплоснабжения и кондиционирования радицентра, повысить коэффициент полезного действия установки.

К ГУ объектов РГ, согласно [13], предъявляются дополнительные требования к механической стойкости, динамической устойчивости и технологическому минимуму нагрузки.

Для ГТУ требования по механической стойкости следующие: допустимый механический момент при коротком замыкании должен превышать номинальный не менее чем в 14 раз; допустимый механический момент при несинхронном автоматическом повторном включении должен превышать номинальный не менее чем в 32 раза для генератора без демпферной обмотки и не менее чем в 17 раз — для генератора с демпферной обмоткой. Малый момент инерции турбины может приводить при сильном возмущении к асинхронным режимам работы, что следует учитывать в алгоритмах и настройках релейной защиты и автоматики.

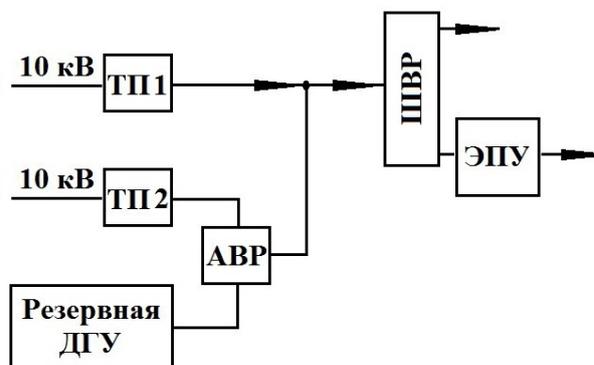


Рис. 1. Типовая структурная схема ЭТС с РГ радицентра (без ввода мощности установки РГ):

- ТП — трансформаторная подстанция;
- АВР — блок автоматического ввода резерва;
- ДГУ — дизель-генераторная установка;
- ШВР — шкаф вводной распределительный;
- ЭПУ — электропитающая установка

Для ГПУ, ДГУ и ГТУ существуют ограничения по технологическому минимуму (минимальная мощность нагрузки, при которой сохраняется устойчивый режим работы энергоустановки). Для ГПУ и ДГУ технологический минимум составляет 30–40 % от номинальной нагрузки. Для ГТУ технологический минимум лежит в диапазоне от единиц до десятков процентов от номинальной нагрузки.

С точки зрения качества радиосвязи неизученными остаются вопросы влияния подстилающей поверхности, если в качестве ВИЭ используется солнечная электростанция, и вопросы влияния металлической мачты ветрогенератора.

Разработка структурной схемы ЭТС с РГ радицентра. Радицентр относится к электроприемникам первой категории. Электроснабжение электроприемников первой категории должно обеспечиваться от двух независимых источников питания. Типовая структурная схема ЭТС с РГ радицентра содержит две трансформаторные подстанции (ТП1 и ТП2) и резервную ДГУ (рис. 1).

Из рис. 1 следует, что ЭТС с РГ радицентра содержит ДГУ, которая может функционировать как установка РГ. Однако параллельная работа ДГУ с внешней сетью не предусмотрена (точная синхронизация и другие сопутствующие схемные и технические решения). Основным центром питания является трансформаторная подстанция ТП1. Трансформаторная подстанция ТП2 или резервная ДГУ подключаются к нагрузке радицентра через АВР. Через ШВР происходит распределение мощности между электроприемниками радицентра переменного и постоянного тока. В состав ЭПУ входят преобразователи напряжения и блок аккумуляторных батарей. Наличие накопителя энергии позволяет повысить надежность электроснабжения нагрузки и нивелировать возмущения режима, возникающие при автоматическом подключении одного из резервных источников питания.

Структурная схема ЭТС с РГ радицентра зависит от установленной мощности установки РГ.

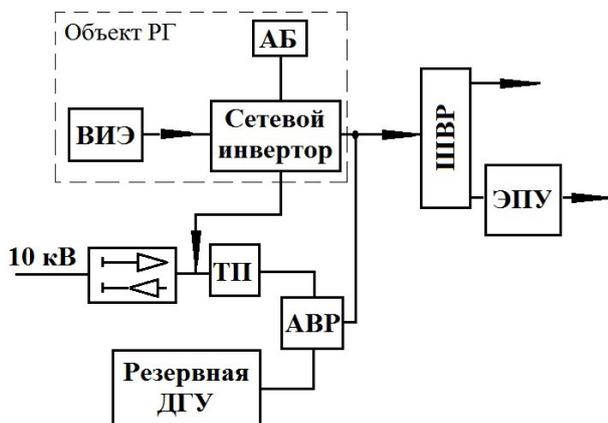


Рис. 2. Структурная схема ЭТС с РГ радицентра (установленная мощность установки РГ превышает пиковую мощность нагрузки радицентра):

ТП — трансформаторная подстанция;
 АВР — блок автоматического ввода резерва;
 ДГУ — дизель-генераторная установка;
 ШВР — шкаф вводной распределительный;
 ЭПУ — электропитающая установка;
 ВИЭ — возобновляемый источник энергии;
 АБ — аккумуляторная батарея

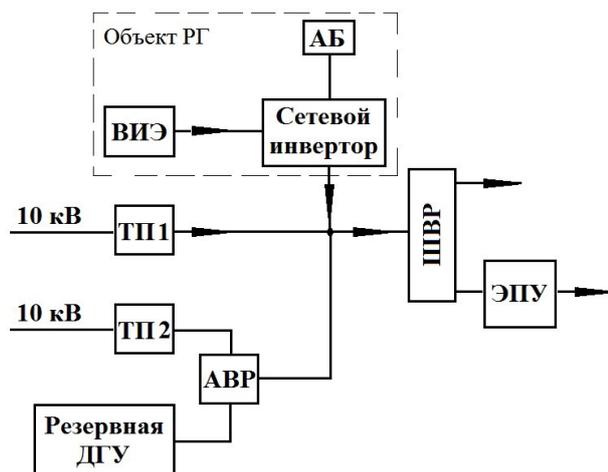


Рис. 3. Структурная схема ЭТС с РГ радицентра (установленная мощность установки РГ меньше максимальной мощности нагрузки радицентра):

ТП — трансформаторная подстанция;
 АВР — блок автоматического ввода резерва;
 ДГУ — дизель-генераторная установка;
 ШВР — шкаф вводной распределительный;
 ЭПУ — электропитающая установка;
 ВИЭ — возобновляемый источник энергии;
 АБ — аккумуляторная батарея

Если установленная мощность установки РГ превышает пиковую мощность нагрузки радицентра, то установка РГ является центром питания (рис. 2).

Избыток электроэнергии поставляется во внешнюю сеть со стороны высокого напряжения резервной ТП (необходимо согласование проекта с сетевым оператором). Ввиду реверсивных перетоков мощности схема должна содержать двунаправленные счетчики электроэнергии. В качестве примера установки РГ на рис. 2

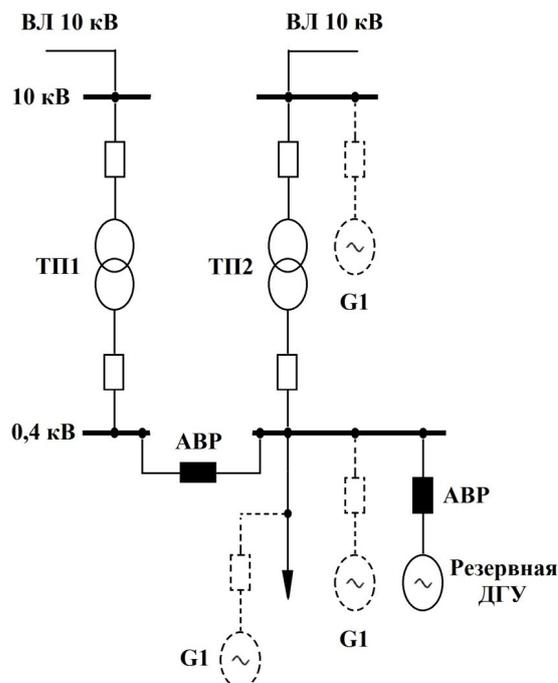


Рис. 4. Схема выдачи мощности объекта РГ для радицентра (установленная мощность установки РГ меньше максимальной мощности нагрузки радицентра):

ВЛ — воздушная линия;
 ТП1 и ТП2 — трансформаторные подстанции;
 АВР — блок автоматического ввода резерва;
 ДГУ — дизель-генераторная установка;
 G1 — установка РГ

показано подключение ВИЭ. Подключение ВИЭ осуществляется через гибридный сетевой инвертор. Ведомый сетью инвертор будет повторять параметры внешней сети, поэтому автономный (изолированный) режим работы радицентра станет возможен только при питании от ДГУ. На рисунке АБ показана отдельно от сетевого инвертора. Однако АБ может конструктивно входить в состав сетевого инвертора.

Если установленная мощность установки РГ меньше максимальной мощности нагрузки радицентра, тогда установка РГ работает параллельно с внешней сетью (рис. 3, в качестве установки РГ на рисунке показаны блоки ВИЭ, сетевого инвертора, АБ).

Возможен вариант подключения накопителя АБ большой емкости, заряженного установкой РГ при малой величине мощности нагрузки радицентра, через сетевой инвертор к внешней сети в часы максимальной мощности нагрузки радицентра.

Существуют источники бесперебойного питания (ИБП), предназначенные для работы с ВИЭ. Такие ИБП могут быть использованы в качестве сетевых инверторов. Среди дополнительных функций ИБП следует отметить возможность заряда АБ по самому низкому тарифу при многоуровневом тарифе на электроэнергию. Также ИБП может содержать трекер поиска точки максимальной мощности солнечной панели.

На основании рассмотренных выше вариантов структурных схем ЭТС с РГ радицентра

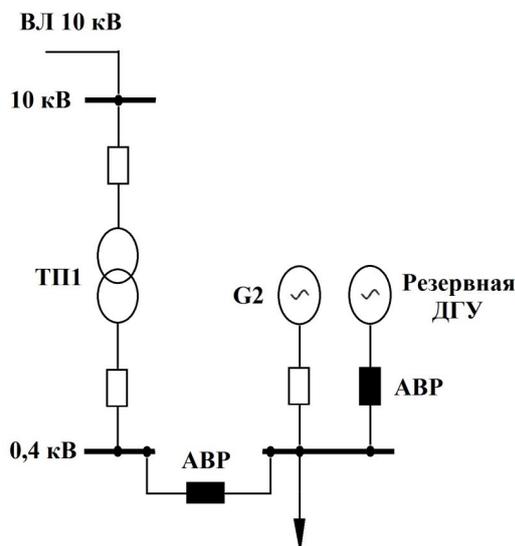


Рис. 5. Схема выдачи мощности объекта РГ для радицентра (установленная мощность установки РГ превышает пиковую мощность нагрузки радицентра):

ВА — воздушная линия;

ТП1 и ТП2 — трансформаторные подстанции;

АВР — блок автоматического ввода резерва;

ДГУ — дизель-генераторная установка;

G1 — установка РГ

предлагаются следующие схемы выдачи мощности установкой РГ (рис. 4, рис. 5).

На рис. 4 показана распределительная электрическая сеть, к которой подключен фидер радиоцентра. Независимость источников питания радиоцентра достигается использованием отдельных систем шин уровня 10 кВ, подключенных к высоковольтным линиям. ТП2 является рабочей подстанцией, а ТП1 — резервной. При аварии на ТП2 системы шин уровня 0,4 кВ связываются посредством блока АВР, подключая резервную ТП1. При аварии на ТП1 и ТП2 к рабочей системе шин уровня 0,4 кВ посредством блока АВР подключается резервная ДГУ. Три способа ввода мощности генерирующей установки РГ малой мощности G1 показаны пунктирной линией. G1 может подключаться к рабочей системе шин уровня 0,4 кВ или 10 кВ. Возможен вариант подключения G1 непосредственно к фидеру радиоцентра. Такая топология сети увеличивает надежность электроснабжения радиоцентра на всем графике нагрузки, исключая период максимального энергопотребления (включен радиопередатчик). При максимальном энергопотреблении недостающая мощность поступает из внешней сети. Однако возникающие при такой топологии реверсивные перетоки мощности от нагрузки радиоцентра к внешней сети увеличивают значения токов короткого замыкания и, соответственно, требования к коммутационному оборудованию [14]

На рис. 5 показана система электроснабжения радиоцентра, содержащая установку РГ G2 большой установленной мощности. Установка G2 является основным источником питания. При

аварии через АВР предусмотрено подключение ТП1 или ДГУ.

Выводы. Радиостанции с одним радиопередатчиком обладают резкопеременным характером нагрузки. Для сглаживания профиля мощности нагрузки таких радиостанций предложено использовать установки РГ.

В работе отмечены технологические особенности ГУ, которые следует учитывать при организации ЭТС с РГ радиоцентра. К ним относятся уровень акустического шума, возможность когенерации и тригенерации, механические и динамические характеристики.

Наибольшие значения уровня акустического шума характерны для ГПУ, ДГУ, ГТУ и могут достигать значений до 110 дБ. Уровня 55 дБ может достигать низкочастотный шум ветрогенератора. При мощности сетевого инвертора более 20 кВт уровень акустического шума может превышать 50 дБ.

Применение установки РГ с когенерацией или тригенерацией позволит организовать автономную систему теплоснабжения и кондиционирования радиоцентра, повысить коэффициент полезного действия установки.

Допустимый механический момент ГТУ для некоторых конструкций турбины и режимных условий должен превышать номинальный не менее чем в тридцать два раза. Малый момент инерции турбины может приводить при сильном возмущении к асинхронным режимам работы, что следует учитывать в алгоритмах и настройках релейной защиты и автоматики.

Для ГПУ, ДГУ и ГТУ существуют ограничения по технологическому минимуму. При нагрузке ниже 40 % от номинальной режим работы может быть неустойчивым.

С точки зрения качества радиосвязи неизученными остаются вопросы влияния подстилающей поверхности, если в качестве ВИЭ используется солнечная электростанция, и вопросы влияния металлической мачты ветрогенератора.

По результатам исследований предложены структурные схемы ЭТС с РГ радиоцентра и схема ввода мощности установки РГ.

Структурная схема определяется соотношением установленной мощности установки РГ и пиковой мощности радиоцентра. Если пиковая мощность радиоцентра меньше установленной мощности установки РГ, тогда установка РГ является основным источником питания. Если пиковая мощность радиоцентра больше установленной мощности установки РГ, тогда основным источником питания является внешняя сеть.

Схема ввода мощности установки РГ соответствует вариантам структурных схем ЭТС с РГ радиоцентра.

Работа выполнена по государственному заданию Омского научного центра СО РАН (Институт радиопизики и физической электроники), код научной темы FWEE-2022-0001.

Библиографический список

1. Гуревич Ю. Е., Илюшин П. В. Особенности расчетов режимов в энергорайонах с распределенной генерацией:

моногр. Нижний Новгород: НИУ РАНХиГС, 2018. 280 с. ISBN 978-5-00036-226-6.

2. Pehnt M., Cames M., Fisher C. [et al.]. *Micro Cogeneration: Towards Decentralized Energy Systems*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. 346 p. ISBN 978-3-540-25582-6.

3. Kakran S., Chanana S. Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: a review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 81, Part 1. P. 524–535. DOI: 10.1016/j.rser.2017.07.045.

4. Aman M. A., Abbasi M. Z., Ali M. [et al.]. To Negate the influences of Un-deterministic Dispersed Generation on Interconnection to the Distributed System considering Power Losses of the system // *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*. 2018. Vol. 13, no. 3. P. 117–132. DOI: 10.26782/jmcms.2018.08.00007.

5. Конторович А. Э., Филиппов С. П., Алексеенко С. В. [и др.] Общая дискуссия по приоритету: выступления академиков РАН А. Э. Конторовича, С. П. Филиппова, С. В. Алексеенко, В. И. Бухтиярова, С. М. Алдошина // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89, № 4. С. 343–347.

6. Илюшин П. В., Куликов А. Л. Автоматика управления нормальными и аварийными режимами энергоагрегатов с распределенной генерацией: моногр. Нижний Новгород: НИУ РАНХиГС, 2019. 364 с. ISBN 978-5-00036-236-5.

7. Косарев Б. А., Кривальцевич С. В. Применение распределенной генерации электроэнергии для снижения нагрузки на системы электропитания радиостанций в периоды пиковой нагрузки // *Радиотехника*. 2021. Т. 85, № 10. С. 137–148. DOI: 10.18127/j00338486-202110-13.

8. Бушуев В. М., Деминский В. А., Захаров Л. Ф. [и др.]. *Электропитание устройств и систем телекоммуникаций*. Москва: Горячая линия–Телеком, 2009. 384 с. ISBN 978-5-9912-0077-6.

9. Porte-Agel F., Bastankhah M., Shamsoddin S. Wind-Turbine and Wind-Farm Flows: A Review // *Boundary Layer Meteorol.* 2020. Vol. 174, Part 1. P. 1–59. DOI: 10.1007/s10546-019-00473-0.

10. Malen J. Analysis of noise emissions of solar inverters. Master's thesis // ProQuest Dissertations and Theses database. 2013. URL: https://aaltdoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/12007/master_Mal%C3%A9n_Joni_2013.pdf?sequence=1 (дата обращения: 01.12.2021).

11. Esposito F., Mancinelli E., Morichetti M. [et al.] A cogeneration power plant to integrate cold ironing and district heating and cooling // *International Journal of Energy Production and Management*. 2018. Vol. 3, no. 3. P. 214–225. DOI: 10.2495/EQ-V3-N3-214-225.

12. Gao L., Hwang Y., Cao T. An overview of optimization technologies applied in combined cooling, heating and power systems // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 114. P. 109344. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109344.

13. Илюшин П. В. Особенности организации противоаварийного управления в сетях с современными генери-

рующими установками // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2018. Т. 22, № 5 (136). С. 134–151. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-5-134-151.

14. Илюшин П. В., Кучеров Ю. Н. Подходы к оценке возможности обеспечения надежного электроснабжения потребителей за счет строительства объектов распределенной генерации // *Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность*. 2014. № 5. С. 2–7.

КОСАРЕВ Борис Андреевич, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории функциональной электроники Института радиофизики и физической электроники Омского научного центра СО РАН (ОНЦ СО РАН), г. Омск; старший преподаватель кафедры «Электрическая техника» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск. SPIN-код: 6549-8139

Адрес для переписки: BorisK_88@mail.ru

КРИВАЛЬЦЕВИЧ Сергей Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент (Россия), и.о. директора Института радиофизики и физической электроники ОНЦ СО РАН, г. Омск.

AuthorID (РИНЦ): 9733-2350

AuthorID (SCOPUS): 1602-2256-300

ResearcherID: A-8877-2019

Адрес для переписки: kriser2002@mail.ru

ОХОТНИКОВ Александр Анатольевич, старший преподаватель кафедры «Электрическая техника» ОмГТУ, г. Омск.

Адрес для переписки: alex.okhotnikoff@yandex.ru

ФЕДОРОВ Владимир Кузьмич, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 2389-6978

AuthorID (РИНЦ): 512746

AuthorID (SCOPUS): 57194237212

Адрес для переписки: el.tech.omgtu@gmail.com

Для цитирования

Косарев Б. А., Кривальцевич С. В., Охотников А. А., Федоров В. К. Электротехническая система с распределенной генерацией радиостанции с резкопеременным характером нагрузки // *Омский научный вестник*. 2022. № 1 (181). С. 55–60. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-181-55-60.

Статья поступила в редакцию 10.01.2022 г.

© Б. А. Косарев, С. В. Кривальцевич, А. А. Охотников, В. К. Федоров