



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.3.05

ИНТЕГРАЦИЯ ЛИЭС, КАК СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ, В ЕЭС РОССИИ

Юдин А. Ю., Шауркин М. О., Малых А. В., Окладников К. К.

Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИрНИТУ), Иркутск, Россия (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83), e-mail: kkrilian@yandex.ru

Данная работа рассматривает внедрение локальных интеллектуальных энергосистем (ЛИЭС) как решение отдельных проблем существующих сетей и энергосистем. В работе приведены положительные и отрицательные стороны ЛИЭС и описания их влияния на существующую энергосистему. Научно-теоретическая значимость данной статьи состоит в определении положительных результатов от интеграции ЛИЭС в существующую энергосистему.

Ключевые слова: малая генерация, локальная система энергоснабжения, локальная интеллектуальная энергосистема, MiniGrid, микрогрид.

INTEGRATION OF THE LIES, AS A MODERN SYSTEM OF TECHNOLOGICAL MANAGEMENT OF ELECTRIC NETWORKS, IN THE UES OF RUSSIA

Yudin A. Yu., Shaurkin M. O., Malykh A.V., Okladnikov K. K.

Irkutsk National Research Technical University (IrNRTU), Irkutsk, Russia (664074, g. Irkutsk, ul. Lermontova, 83), e-mail: kkrilian@yandex.ru

This paper considers the introduction of local intelligent power systems (LPS) as a solution to individual problems of existing networks and power systems. The paper presents the positive and negative sides of the LIPP and describes their impact on the existing power system. The scientific and theoretical significance of this article is to determine the positive results from the integration of the LIPP into the existing energy system.

Keywords: small generation, local power supply system, local intelligent power system, MiniGrid, microgrid.

Введение.

Вопрос интеграции локальных интеллектуальных энергетических систем (ЛИЭС или MiniGrid) в ЕЭС остается актуальным, как один из вариантов развития энергосистемы страны.

Также остро стоит вопрос об основных направлениях развития ЛИЭС, так как именно он определяет основной путь развития той или иной технической инновации и помогает больше раскрыть её назначение и потенциал.

Теоретические выводы о положительных и отрицательных сторонах ЛИЭС также подкрепляются техническими требованиями к ним и их функционалом, что позволяет более точно рассмотреть вопрос о повсеместном внедрении ЛИЭС и сделать верные выводы.

1. Назначение локальных интеллектуальных энергосистем

Локальная интеллектуальная энергосистема (сокращённо ЛИЭС или MiniGrid) – локальная система энергоснабжения с источниками электрической энергии суммарной мощностью 1-25 МВт, подключенная к распределительной сети 6-110 кВ способная работать, как автономно, так и параллельно с внешней сетью, а также устойчиво и безопасно переходить из режима автономной работы в параллельный и наоборот под управлением автоматики, независимой от внешней системы [1].

Внедрение в систему энергетики и эксплуатация локальных интеллектуальных энергосистем может решить некоторые проблемы энергетики на определённой территории и привести к положительным результатам.

Основные назначения использования ЛИЭС:

- Обеспечение технической и экономической доступности электроэнергии для потребителей;
- Повышение надёжности энергоснабжения потребителей на основе распределённых источников электроэнергии;
- Использование альтернативных источников электроэнергии, в целях снижения вредных выбросов и затрат ресурсов на топливо;
- Увеличение объёмов передачи электроэнергии и снижение потерь посредством включения изолированных MiniGrid в распределительную сеть (сглаживание пиковых нагрузок MiniGrid за счёт потребления из внешней сети и выдачи излишков малой генерации во внешнюю сеть);
- При наличии нескольких точек присоединения MiniGrid к внешней электрической сети и использовании одной или двух из них для осуществления режима параллельной работы, MiniGrid может выступать в качестве эффективного средства управления пропускной способностью части внешней распределительной сети, непосредственно связанной с MiniGrid [2].

2. Цели развития ЛИЭС

Как достаточно новое направление энергетики интеллектуальные энергосистемы только развиваются и начинают внедряться в различные системы. Для более быстрой и успешной интеграции в энергетику, ведётся разработка и изучение данных энергосистем в следующих направлениях:

- Радикальное снижение стоимости создания Minigrd и их интеграции в существующие электрические сети;
- Возможность создания MiniGrid на базе существующих или вновь вводимых в эксплуатацию объектов распределённой энергетики с нагрузками энергорайона соизмеримой мощности;
- Реализация опережающего противоаварийного сбалансированного отделения MiniGrid от внешней сети с целью предотвращения нарушений устойчивости параллельной работы и перехода MiniGrid в автономный режим;
- Реализация автоматического перевода MiniGrid из режима параллельной работы в автономный, из автономного – в режим параллельной работы с внешней

распределительной сетью в процессах поддержания и восстановления нормального режима, а также при оперативной необходимости [2];

- Переход к “беспилотным” объектам в электроэнергетике, снижающим потребности в высококвалифицированном оперативном персонале;
- Снижение сроков окупаемости генерирующих объектов электроэнергетики и повышение их привлекательности для среднего и малого бизнеса [3].

3. Функционирование ЛИЭС с внешней энергосистемой

ЛИЭС создаются как централизованные и автономные энергосистемы, способные работать локально, без воздействия извне. Но для осуществления некоторых возможностей и целей необходимо подключать данные энергосистемы к общей сети. К таким целям относятся [1]:

- Повышение надёжности энергосистемы, для обеспечения бесперебойного питания потребителей;
- Возможность подачи электрической энергии во внешнюю сеть, при избытке собственной генерации;
- Возможность адаптивного регулирования режимами потребления и передачи электроэнергии из внешней сети, для получения наибольшей выгоды на стоимости электроэнергии.

Существует несколько вариантов интеграции ЛИЭС с внешней сетью со своими плюсами и минусами [1]:

- Использование преобразователя рода тока;
- Использование электромеханического преобразователя;
- Прямое включение на параллельную работу.

3.1. Включение ЛИЭС в общую сеть через преобразователь рода тока

В данном случае используется преобразовательная вставка, которая с помощью преобразования переменного тока ЛИЭС в постоянный, и последующего преобразования постоянного тока в переменный требуемых параметров внешней системы, позволяет производить обмен энергией с внешней сетью. Принципиальная схема такого типа включения изображена на Рисунке 1.

Данный метод обладает следующими достоинствами и недостатками:

- Достоинства:
 - Высокая надёжность включения;
 - Возможность обмена энергией с внешней сетью с упрощённой схемой синхронизации.
- Недостатки:
 - Высокие затраты на устройство и установку преобразовательной вставки;
 - Искажение формы синусоиды на выходе из преобразователя;
 - Дополнительные потери мощности и энергии в преобразовательной вставке.

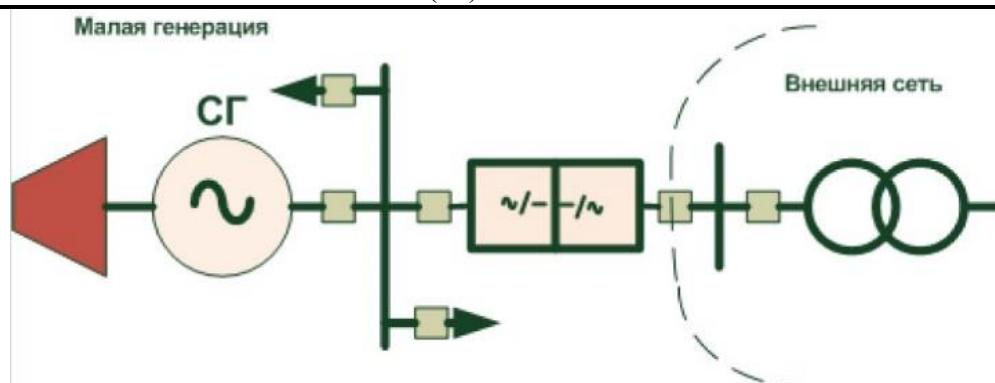


Рисунок 1 – Принципиальная схема включения ЛИЭС во внешнюю сеть через преобразователь рода тока

3.2. Включение ЛИЭС в общую сеть через электромеханический преобразователь

Данный метод обладает схожей идеей, но отличается устройством и принципом работы. Вместо преобразователя тока используется асинхронизированный синхронный электромеханический преобразователь частоты (АСЭМПЧ), который предназначен для стабилизации напряжения и частоты тока при переменных параметрах электроэнергии в питающей сети для обеспечения электроэнергией высокого качества. Принципиальная схема такого типа включения изображена на Рисунке 2.

Данный вариант обладает следующими достоинствами и недостатками, схожими с методом включения через преобразователь тока:

- Достоинства:
 - Высокая надёжность включения;
 - Возможность обмена энергией с внешней сетью с упрощённой схемой синхронизации.
- Недостатки:
 - Высокие затраты на устройство и установку преобразовательной вставки;
 - Дополнительные потери мощности и энергии в преобразовательной вставке.

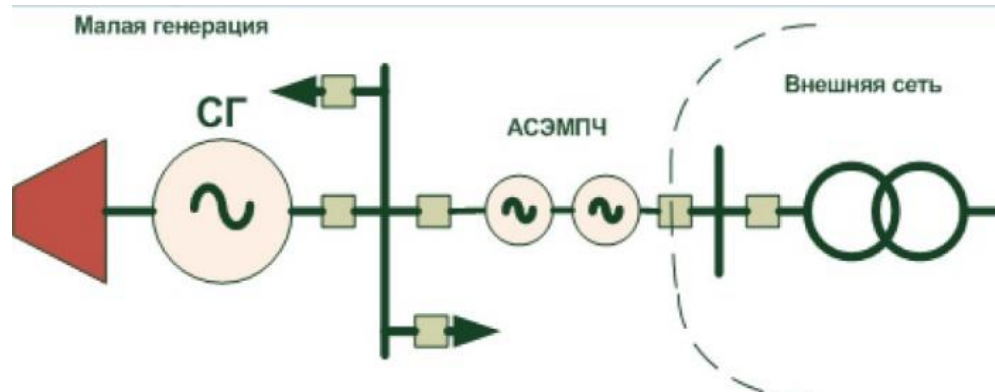


Рисунок 2 – Принципиальная схема включения ЛИЭС во внешнюю сеть через АСЭМПЧ

3.3. Прямое включение ЛИЭС в общую сеть на параллельную работу

Прямое включение ЛИЭС в общую сеть на параллельную работу не требует установки каких-то дополнительных устройств в схеме, но требует повышенного внимания к режиму

работы, так как для такого соединения требуется полная синхронизация режима ЛИЭС с режимом внешней сети. Принципиальная схема такого типа включения изображена на Рисунке 3.

Данный метод обладает следующими достоинствами и недостатками:

- Достоинства:
 - Возможность обмена энергией с внешней сетью;
 - Отсутствие затрат на преобразовательную вставку;
 - Повышение качества ЭЭ в районе присоединения станции к сети.
- Недостатки:
 - Плохая электромеханическая совместимость вследствие малой механической инерции роторов энергоблоков МГ. Высокие риски возникновения опасных асинхронных режимов;
 - Риски возникновения недопустимых ударных моментов на валах энергоблоков МГ при проходящих коротких замыканиях в электрической сети;
 - Увеличение токов короткого замыкания (особенно в схеме объекта МГ);
 - Необходимость реконструкции средств РЗА на подстанции присоединения объекта с малой генерацией;
 - Необходимость интеграции объекта с малой генерацией в систему оперативного управления;
 - Повышение требований к профессиональному уровню оперативного персонала системы энергоснабжения объекта с малой генерацией.

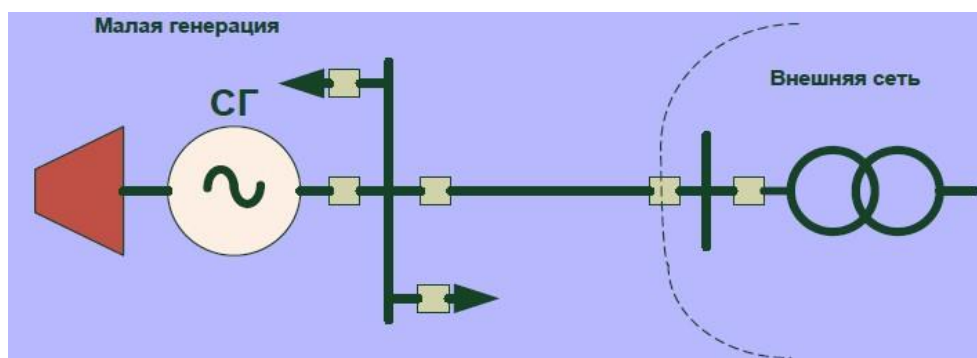


Рисунок 3 – Принципиальная схема прямого включения ЛИЭС во внешнюю сеть на параллельную работу

4. Требования к ЛИЭС

Как и к любой технологической системе, к локальным интеллектуальным энергосистемам есть ряд требований, которым должна соответствовать ЛИЭС, чтобы обоснованно так называться и стабильно и успешно выполнять возложенные на неё функции и задачи. Общая принципиальная схема сети изображена на Рисунке 4.

К таким требованиям относятся:

- Экономически доступная интеграция с внешней электрической сетью переменного тока;
- Повышенная надежность электроснабжения в режиме параллельной работы с внешней электрической сетью;

- Надежная автономная работа;
- Доступная интеграция всех видов (ВИЭ, накопители), как дополнительных источников энергии;
- Управляемый обмен мощностью и энергией с внешней электрической сетью;
- Независимость технологического управления от системы управления внешней электрической сети;
- Участие в системных услугах внешней электрической сети;
- Самонастройка по структуре, составу оборудования, уставкам регулирования.

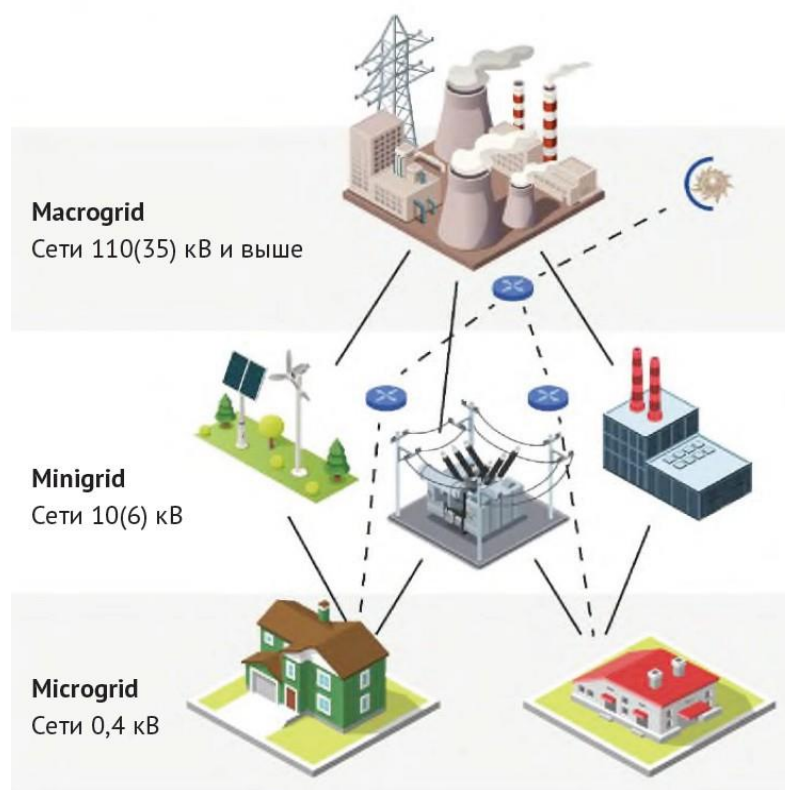


Рисунок 4 – Общая принципиальная схема сети с внедрённой ЛИЭС

5. Структура и функционал ЛИЭС

Локальные интеллектуальные энергосистемы обладают своей специфической структурой относительно традиционных сетей. В состав ЛИЭС обычно входят:

- Электрические станции (Станции на возобновляемых источниках энергии, газотурбинные электростанции, мини-ТЭЦ и т.д.);
- Распределённые электрические сети;
- Автоматика управления сетями.

5.1. Электрические станции в сети MiniGrid

Для обеспечения автономности работы ЛИЭС требуются источники собственной генерации. В таких сетях обычно вместо постройки одной станции большой установленной мощности строят несколько электростанций разных типов меньшей мощности.

Такое дробление генерационных мощностей позволяет сделать управление режимами работы более точным и обеспечить более надёжное питание потребителей.

Также это открывает возможность более широкого использования станций на возобновляемых источниках энергии, так как они обладают более низкой установленной мощностью, по сравнению с традиционными станциями, но при этом обладают повышенной экологичностью. И ещё одним плюсом электростанций на возобновляемых источниках энергии является то, что они комплектуются аккумуляторными батареями, что позволяет накапливать энергию в период низкого потребления, чтобы обеспечить потребителей электроэнергией в период пиковых нагрузок.

Зачастую, в ЛИЭС используют 2 типа таких электростанций, это солнечные и ветряные.

В качестве электростанций на традиционном топливе обычно используют газотурбинные электростанции. Данные электростанции достаточно компактны, манёвренны и обладают высоким КПД по сравнению с другими традиционными электростанциями.

Также они достаточно экологичны, так как в качестве топлива используется природный газ, который при сгорании почти не выделяет вредных веществ.

5.2. Распределительные электрические сети

Распределительные сети ЛИЭС очень схожи с обычными распределительными сетями, так как служат для той же цели – доставить и распределить сгенерированную электрическую энергию на станциях по потребителям. Основным их отличием служит то, что распределительные сети ЛИЭС имеют более разветвлённую структуру, обеспеченную большим количеством автоматики и телемеханики. Такая структура позволяет обеспечить следующее:

- Свободные перетоки мощности по сети, в зависимости от режима работы всех электростанций сети;
- Повышенную надёжность питания потребителей;
- Более точный сбор статистики работы для дальнейшего улучшения работы сети.

5.3. Автоматика управления сетями

Основу ЛИЭС в полной мере составляет именно автоматика, так как без неё такие системы в зависимости от конфигурации или не могли бы существовать, или ничем бы не отличались от энергосистем, используемых в данный момент времени.

Основу структуры системной автоматики MiniGrid выстраивают следующие составляющие [1]:

- Режимная автоматика;
- Подсистема сигнализации и визуализации;
- Противоаварийная автоматика (ПА);
- Подсистема блокировок и превентивных действий;
- Автооператор;
- Подсистема контроля и измерений.

5.3.1. Режимная автоматика

Назначение режимной автоматики состоит в согласованном регулировании всех режимных параметров и поддержании готовности Minigrid к противодействию аварийным возмущениям, которое обеспечивается комплексом регуляторов с адаптируемой автооператором структурой.

Основные параметры электроэнергетического режима:

- Частота электрического тока (f) в энергосистеме (общесистемный параметр);
- Величины напряжений в контрольных пунктах энергосистемы (U);
- Величины потоков активной мощности (P) по контролируемым сечениям и токовой нагрузки (I) по ЛЭП и оборудованию.

5.3.2. Подсистема сигнализации и визуализации

Автоматика имеет современный интерфейс, предоставляет возможности дистанционного мониторинга и управления, что упрощает работу оперативному персоналу.



Рисунок 5 – Диспетчерская панель

Данная система позволяет оперативно реагировать персоналу на возникающие различные ситуации, посредством выведения всей требуемой информации о сети на панели и мониторы.

Также визуализация упрощает восприятие человеком поступающей технической информации о состоянии сети. Пример диспетчерской панели можно увидеть на Рисунке 5.

5.3.3. Противоаварийная автоматика

Данная функция предназначена для минимизации последствий аварийных возмущений (при неизбежных коротких замыканиях в электрических сетях) обеспечением экспресса сбалансированным отделением Minigrid от внешней электрической сети с последующим автоматическим восстановлением нормального режима.

Устройства противоаварийной автоматики должны удовлетворять следующим основным техническим требованиям:

- *Быстродействие.* Требование является главным для устройств ПА, предназначенных для предотвращения нарушения динамической устойчивости;
- *Селективность.* Требование в отношении устройств ПА означает способность устройства выбирать объекты, виды и минимально необходимый объем воздействий, обеспечивающие наиболее эффективную локализацию нарушений нормального режима работы. Если на возникшее нарушение нормального режима реагируют несколько устройств ПА, то их суммарное воздействие также должно удовлетворять требованию наиболее эффективной локализации нарушения при минимально необходимом объеме воздействий;
- *Чувствительность.* Требование относится к функциональным органам ПА и полностью соответствует аналогичным требованиям к устройствам релейной защиты. Это способность реагировать на такие отклонения и нарушения нормального режима, на действие при которых они рассчитаны;
- *Надёжность.* Требование состоит в том, что устройства ПА, так же, как и устройства релейной защиты, должны безотказно действовать при нарушениях нормального режима и не действовать излишне и ложно в условиях, когда их действие не предусмотрено.

5.3.4. Подсистема блокировок и превентивных действий

Автоматика исключает ошибочные действия персонала с негативными последствиями и адаптирует MiniGrid для минимизации рисков при нарушениях нормальных условий работы за счет изменения классов ее состояний.

Также на основе анализа работы режимов, автоматика может принимать превентивные решения, для исключения потенциальных аварийных режимов.

5.3.5. Автооператор

Интеллектуальный автооператор осуществляет изменение структуры MiniGrid, её регуляторов, режимов взаимодействия с внешней электрической сетью.

Данная система способна на основе собираемых данных подсистемой контроля и измерений представлять эти данные в подсистему сигнализации и визуализации и самостоятельно принимать решения по управлению режимом работы сети.

Автооператор, всё время анализируя, изучая и запоминая работу сети, способен предугадывать возможные аварийные ситуации в будущем и предотвращать их.

5.3.6. Подсистема контроля и измерений

Используется локальная система векторных измерений режимных параметров с синхронизацией от спутников. Все данные, снимаемые с локальных систем, поступают в единый общий центр, где и осуществляется контроль и анализ полученных данных.

Для осуществления данной функции требуется установка большого количества счётчиков и приборов измерения, а также устройств связи, для объединения их в общую сеть.

Для получения полного объёма данных и построения наиболее верной картины работы системы, такие устройства требуется устанавливать у потребителей и в узлах системы. Это

позволит контролировать ситуацию в каждой точке системы, что обеспечивает более надёжную работу всей сети.

6. Проблемы интеграции ЛИЭС

В сравнении с традиционным методом построение энергосистем, ЛИЭС – новая ветвь развития электрических сетей. И как любое нововведение оно сталкивается с рядом проблем, связанных с уже установившимися устоями работы электроэнергетики, которые нужно преодолевать и решать [1].

Основные барьеры для интеграции:

- Плохая электромеханическая совместимость вследствие малой механической инерции роторов энергоблоков малой генерации. Риск возникновения опасных асинхронных режимов;
- Необходимость интеграции Minigrid в систему оперативного управления;
- Возникновение недопустимых ударных моментов на валах энергоблоков МГ при проходящих коротких замыканиях в электрической сети;
- Увеличение токов короткого замыкания (особенно в схеме Minigrid);
- Необходимость реконструкции средств РЗА на подстанции присоединения объекта с малой генерацией;
- Повышение требований к профессиональному уровню оперативного персонала Minigrid.

Заключение

Подключение ЛИЭС к внешней сети сопровождается установкой технологически сложного и дорогого оборудования, что повышает затраты на строительство таких систем, но общий положительный экономический эффект окупает данные затраты.

Интеграция сбалансированных локальных энергосистем под управлением интеллектуальной децентрализованной системы управления сопровождается получением полезных и значимых системных экономических эффектов, что напрямую связано с их назначением и что определяет основные цели их дальнейшего развития.

Также, повсеместное внедрение MiniGrid, кроме положительных экономических эффектов, подразумевает под собой повышение надёжности обеспечения потребителей электроэнергией, что является основной целью строительства электрических сетей. Надёжность обеспечивается повышенными требованиями к ЛИЭС, установкой самого современного оборудования, и широким функционалом систем мониторинга и управления данных систем.

Интеграция локальных интеллектуальных энергосистем повышает гибкость и эффективность функционирования ЕЭС России, в частности повышая равномерность графиков загрузки центров питания или предоставляя регулировочные ресурсы агрегаторам управления спросом на электроэнергию в ЕЭС России.

Список литературы

1. Автоматика управления режимами локальных интеллектуальных энергосистем, функционирующих в составе ЕЭС России, НГТУ, ООО «Модульные системы Торнадо»,

- 2021 г., Фишов А.Г. URL: https://www.eriras.ru/files /2_11_prezentatsiya_fishov.pdf (дата посещения 15.02.23)
2. Статья: Разработка целевой модели (прототипа) Mini/MicroGrid, Вести в электроэнергетике, 2021 г. URL: https://www.eriras.ru /files/statya_v_z_hurnal_po_mikrogridu.pdf (дата посещения 15.02.23)
3. Статья: Эффекты интеграции интеллектуальных энергосистем, Новосибирский государственный технический университет, Ф.Л. Бык, Л.С. Мышкина, 2022 г. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effekty-integratsii-lokalnyh-intellektualnyh-energосistem/viewer> (дата посещения 15.02.23)

References

1. Automation of control of modes of local intelligent power systems operating as part of the UES of Russia, NSTU, LLC "Modular Systems Tornado", 2021, Fishov A.G. URL: https://www.eriras.ru/files /2_11_prezentatsiya_fishov.pdf (date of visit 15.02.23)
 2. Article: Development of the target model (prototype) of Mini /MicroGrid, News in the electric power industry, 2021 URL: https://www.eriras.ru /files/statya_v_z_hurnal_po_mikrogridu.pdf (15.02.23 visit date)
 3. Article: Effects of Smart Grid Integration, Novosibirsk State Technical University, F.L. Byk, L.S. Myshkina, 2022 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effekty-integratsii-lokalnyh-intellektualnyh-energосistem/viewer> (accessed 2/15/23)
-