

На правах рукописи



Шалухо Андрей Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

Специальность 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нижний Новгород 2013

Работа выполнена на кафедре «Электроэнергетика и электроснабжение» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

Научный руководитель: - доктор технических наук, профессор
ЛОСКУТОВ Алексей Борисович

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор каф.
«Электромеханика и автомобильное
оборудование» ФГБОУ ВПО «Самарский
государственный технический
университет» (г. Самара) САЛТЫКОВ
Валентин Михайлович

- кандидат технических наук, доцент,
доцент каф. «Электрооборудование судов»
ФГБОУ ВПО «Нижегородский
государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева» (г. Н.Новгород)
ДАРЬЕНКОВ Андрей Борисович

Ведущая организация: Центр физико-технических проблем
энергетики Севера ФГБУН Кольского
научного центра РАН (г. Апатиты)

Защита состоится «13» декабря 2013 г. в 14.00 часов, в аудитории 1258 на заседании диссертационного совета Д 212.165.02 при Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева по адресу: 603950 г. Н.Новгород, ул. Минина, д. 24, корпус 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 603950, г. Н.Новгород, ул. Минина, д. 24, корпус 1, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.165.02.

Автореферат разослан «12» октября 2013 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета, к.т.н., доцент

 А.С. Плехов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для современной России важной задачей является обеспечение энергетической безопасности ее регионов. Единая электроэнергетическая система (в силу охвата только 30% территории страны, значительного износа оборудования и сетей) в полной мере решить данную задачу не способна. Поэтому одним из приоритетных направлений энергетической стратегии России является развитие малой распределенной энергетики (МРЭ), в том числе локальных систем электроснабжения (СЭС) с генерирующими установками, расположенными в непосредственной близости от потребителей.

Слабое развитие транспортной системы, низкая плотность населения в районах, перспективных для появления локальных СЭС, определяют актуальность и конкурентоспособность применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Широкое использование ВИЭ позволит решить проблемы надежного электроснабжения отдаленных, труднодоступных регионов, обеспечить экономию углеводородного топлива, а также снизить объем вредных выбросов в окружающую среду.

Несмотря на принятие новых нормативно-законодательных документов в области возобновляемой энергетики и расширяющийся ассортимент энергоустановок на ВИЭ, темпы развития локальных СЭС с использованием возобновляемой энергии в России медленные. Одним из барьеров, препятствующих использованию ВИЭ, является низкое качество электроснабжения автономных потребителей вследствие случайного характера поступления возобновляемой энергии.

Обеспечить гарантированное электроснабжение энергоудаленных потребителей позволяет комбинированное использование разнородных источников энергии (ветровые и солнечные энергоустановки, дизель-генераторы) и накопителей электроэнергии. Необходимым условием эффективной работы такой системы генерирования электроэнергии является успешное решение двух проблем – сопряжения разнородных источников и выбора параметров комбинированного электротехнического комплекса на основе ВИЭ.

Проблема сопряжения разнородных источников связана с необходимостью приведения параметров ВИЭ к стандартным параметрам электрической сети. В России и за рубежом распространены технологии совместного использования одного типа ВИЭ (ветровая или солнечная энергоустановка) и дизель-генератора. Разработки, позволяющие эффективно объединять несколько ВИЭ с различным характером выходного напряжения (постоянное, переменное) пока не достигли высокого уровня.

Вопросам выбора генерирующих энергоустановок на ВИЭ посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых (О.Б. Попель, В.И. Виссарионов, П.П. Безруких, Ю.Г. Шакарян, С.П. Филиппов, С.К. Шерязов,

Р.А. Амерханов, М.А. Ташимбетов, Альдо Да Роса Т. Бартон, М.А. Бернер и др.). Основными критериями при выборе ВИЭ, как правило, являются экономические показатели проекта и технические характеристики энергоустановок. При этом отсутствуют критерии оценки принимаемых решений, учитывающие главный недостаток возобновляемой энергии – риск непостоянства энергоносителя.

От эффективности применения разнохарактерных ВИЭ в сочетании с дизельным генератором напрямую зависит эффективность локальных СЭС, которая выражается в надежности электроснабжения потребителей, качестве поставляемой потребителям электрической энергии, капитальных удельных затратах на единицу вводимой мощности и доле расхода органического топлива.

Объект исследования – локальные системы электроснабжения потребителей малой мощности с возобновляемыми источниками энергии.

Предмет исследования – комплексное использование ВИЭ.

Цель работы – исследование и разработка научно-технических решений по созданию комбинированных электротехнических комплексов на основе ВИЭ, обеспечивающих эффективное функционирование локальных систем электроснабжения и качественное электроснабжение автономных потребителей малой мощности.

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие научные и практические задачи:

- исследование особенностей электроснабжения энергоудаленных (автономных) потребителей малой мощности;
- исследование и разработка технических решений сопряжения разнохарактерных ВИЭ, обеспечивающих гарантированное электроснабжение автономных потребителей;
- исследование критерия выбора ВИЭ, учитывающего риск непостоянства энергоносителя, и разработка алгоритма для его количественной оценки;
- разработка методики выбора параметров комбинированных электротехнических комплексов на основе ВИЭ, обеспечивающих эффективное функционирование локальных СЭС.

Связь работы с научными программами. Работа выполнялась в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственные контракты № 16.526.12.6016 по теме: «Разработка и создание типового ряда трансформаторно-тиристорных регуляторов напряжения и мощности с расщепленной первичной обмоткой трансформатора и ключами однонаправленного тока»; № 16.516.11.6114 по теме: «Разработка технологии эффективного использования возобновляемых источников энергии в локальной системе электроснабжения потребителей»).

Методы научных исследований. Для решения поставленных задач использовались: анализ, синтез, сравнение, классификация, корреляционный анализ, методы теории вероятности и математической статистики, положения теории портфельного анализа.

Достоверность результатов, полученных в диссертации, определяется корректным использованием основных законов электротехники, адекватностью принятых допущений, применением современных лицензионных программных продуктов, сравнением результатов моделирования с экспериментальными данными. Для выполнения исследований и расчетов использованы метеоданные с сайта NASA Surface meteorology (<http://eosweb.larc.nasa.gov>).

Научная новизна работы состоит в разработке новых подходов, направленных на повышение эффективности функционирования локальных систем электроснабжения с ВИЭ:

- разработаны научно-технические решения по сопряжению разнохарактерных ВИЭ, использованные при создании Устройства интеграции. В отличие от существующих технологий сопряжения применение Устройства интеграции в локальных СЭС обеспечивает параллельную работу источников с различными выходными и эксплуатационными параметрами и позволяет дополнять конфигурацию системы генерирования в процессе развития;

- обоснован дополнительный критерий оценки правильности принятия решений при выборе ВИЭ и разработан алгоритм для его количественной оценки. Новизна критерия выбора ВИЭ заключается в учете случайного характера поступления возобновляемой энергии;

- разработана методика выбора параметров комбинированных электротехнических комплексов на основе ВИЭ, отличающаяся от существующих тем, что позволяет учесть случайный характер поступления возобновляемой энергии.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

Результаты исследований и технические решения комплексного применения ВИЭ были использованы при разработке экспериментального образца Устройства интеграции разнородных источников энергии автономных потребителей.

Разработанная методика выбора параметров электротехнических комплексов на основе ВИЭ, учитывающая случайный характер поступления возобновляемой энергии, может быть использована при проектировании систем электроснабжения автономных и энергоудаленных потребителей.

Результаты исследований особенностей электроснабжения энергоудаленных потребителей малой мощности использованы при разработке интерактивного комплекса лабораторных работ «Энергосбережение и энергоэффективность в системах электроснабжения».

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе кафедры «Электроэнергетика и электроснабжение» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева при чтении

лекций, проведении лабораторных, научно-исследовательских работ по курсам «Электроэнергетика», «Системы электроснабжения» и в дипломном проектировании.

Автор защищает:

- результаты исследований особенностей электроснабжения потребителей малой мощности, удаленных от сетей централизованного электроснабжения;
- результаты исследований и решение технической задачи сопряжения разнохарактерных ВИЭ, обеспечивающее гарантированное электроснабжение автономных потребителей малой мощности;
- алгоритм для количественной оценки критерия выбора ВИЭ, учитывающего риск непостоянства энергоносителя;
- методику выбора параметров комбинированных электротехнических комплексов на основе ВИЭ, обеспечивающих эффективное функционирование локальных СЭС.

Апробация результатов работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались:

- на международных конференциях и саммитах: X, XI, XII Молодежная научно-техническая конференция «Будущее технической науки» НГТУ им. Р.Е. Алексеева Н. Новгород 2011, 2012, 2013 г.г.; Молодежной научно-технической конференции «Энергосистема и активные адаптивные электрические сети: проектирование, эксплуатация, образование» СамГТУ Самара 2011 г.; «Young scientists conference» Warsaw Politechnical University Варшава Польша 2012 г.; XI Ярмарке стартовых инновационных проектов и компаний в рамках международного бизнес-саммита, Н.Новгород, 2013 г;
- на всероссийских конференциях: XL, XLI, XLII Научно практическая конференция «Федоровские чтения» МЭИ Москва 2010, 2011, 2012 г.г.; VII, VIII Научная молодежная школа «Возобновляемые источники энергии» МГУ им. М.В. Ломоносова Москва 2010, 2012 г.г;
- на региональных конференциях: XXIX, XXX, XXXI Научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электроэнергетики» » НГТУ им. Р.Е. Алексеева Н. Новгород 2010, 2011, 2012 г.г.; XIV, XVI, XVII, XVIII Нижегородская сессия молодых ученых (технические науки) Н. Новгород 2009, 2011, 2012, 2013 г.г.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 19 работ, 7 из них в рецензируемых журналах ВАК, 1 статья в иностранном журнале.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 202 наименований, 2 приложений и содержит 165 страниц, в том числе 132 страницы основного текста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, основные задачи исследования, научная новизна и практическая значимость, дана общая характеристика работы.

Первая глава посвящена исследованию особенностей электроснабжения энергоудаленных (автономных) потребителей малой мощности и обоснованию поставленных задач исследования.

Основное направление развития локальных СЭС – удаленные и труднодоступные территории, где значительная часть населения сосредоточена в небольших поселках, испытывающих существенные проблемы с электроснабжением. Причинами низкого качества электроснабжения энергоудаленных потребителей являются широкое распространение дизель-генераторов (высокая стоимость жидкого топлива и перебои с его доставкой) и передача электроэнергии по протяженным ЛЭП (большие потери). При этом согласно оценке Минэкономики емкость рынка для населенных пунктов с числом жителей до 50 тыс. человек по приросту электрических нагрузок за период до 2030 года составит около 11,2 ГВт (в том числе 6,9 ГВт в сельской местности).

Исследованы особенности электроснабжения потребителей малой мощности, удаленных от сетей централизованного электроснабжения, на примере поселковых образовательных учреждений (ПОУ) Нижегородской области. Наличие ПОУ является обязательным условием освоения и устойчивого развития удаленных территорий.

Проанализированы схемы передачи и распределения электроэнергии от энергосистемы до конечных электроприемников ПОУ. Установлены большая протяженность линий 10(6) кВ (до 50 км) и низкие коэффициенты загрузки трансформаторов 10(6)/0,4 кВ (от 0,3 и ниже), что определяет высокий уровень потерь электроэнергии в этих элементах (по статистике соответственно 34 и 26%). Проведены измерения показателей качества электроэнергии, из результатов которых следует, что для многих ПОУ границу предельно-допустимых значений ($\pm 10\%$) превышают отклонение и несимметрия напряжения.

Эффективным решением проблем низкого качества электроснабжения энергоудаленных (автономных) потребителей является применение ВИЭ.

Для каждого из 20 исследованных объектов выполнен анализ установленной мощности электроприемников, собрана информация об их режимах работы и рассчитаны коэффициенты загрузки. На основе полученных данных построены групповые графики электрической нагрузки за характерные летние и зимние сутки, из которых определены полчасовые максимумы электрической нагрузки.

Поскольку дальнейшие расчеты предполагают, что требуемая мощность потребителей – постоянная величина, а вырабатываемая мощность ВИЭ –

переменная, то для использования ВИЭ в качестве основных источников питания требуется выполнение условия:

$$P_{\Sigma, \text{ВИЭ}} \geq P_{\text{МАХ.ПОУ}}, \quad (1)$$

где $P_{\Sigma, \text{ВИЭ}}$ – суммарная установленная мощность ВИЭ; $P_{\text{МАХ.ПОУ}}$ – зимний получасовой максимум электрической нагрузки ПОУ.

На рис. 1 показана зависимость $P_{\text{МАХ.ПОУ}}$ с учетом и без учета электроплит от численности обучающихся.

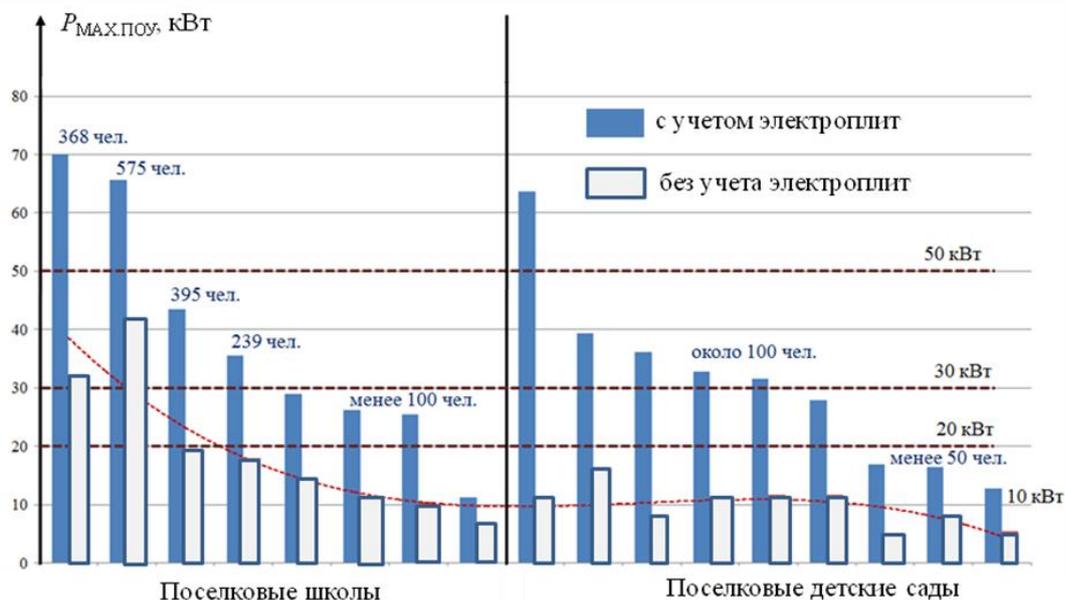


Рис. 1. Зависимость получасовых максимумов нагрузки ПОУ от численности обучающихся

По результатам анализа $P_{\text{МАХ.ПОУ}}$ для дальнейших расчетов выбраны значения требуемых мощностей потребителей до 20 кВт. Приведены примеры пилотных проектов по внедрению ВИЭ установленной мощностью 20 кВт, реализуемых РАО ЭС Востока.

В заключение главы дано обоснование поставленных задач.

Вторая глава посвящена исследованию и разработке технических решений сопряжения разнохарактерных ВИЭ, обеспечивающих гарантированное электроснабжение автономных потребителей.

Анализ целевых показателей возобновляемой энергетики показал, что при любом из вариантов развития по объемам ввода мощностей будут преобладать ветровые энергетические установки (ВЭУ) – от 26,6 до 48,9% всех ВИЭ, а наибольшее снижение себестоимости производимой электроэнергии (почти в 2 раза) предполагается для фотоэлектрических преобразователей (ФЭП).

Особенность ВЭУ и ФЭП заключается в том, что в течение года генерация ими электроэнергии изменяется в противофазе. Это подтвердили результаты расчета коэффициента корреляции вырабатываемой мощности ВЭУ и ФЭП:

$$\rho(P_{\text{ВИЭ}i}, P_{\text{ВИЭ}j}) = \frac{\sum (P_{\text{ВИЭ}i} - \mu(P_{\text{ВИЭ}i})) \cdot (P_{\text{ВИЭ}j} - \mu(P_{\text{ВИЭ}j}))}{\sqrt{\sum (P_{\text{ВИЭ}i} - \mu(P_{\text{ВИЭ}i}))^2 \cdot \sum (P_{\text{ВИЭ}j} - \mu(P_{\text{ВИЭ}j}))^2}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{ВИЭ}i}$ и $P_{\text{ВИЭ}j}$ – вырабатываемая мощность ВЭУ и ФЭП, μ – математическое ожидание вырабатываемой мощности.

Результаты корреляционного анализа вырабатываемой мощности ВЭУ и ФЭП приведены на рис. 2.

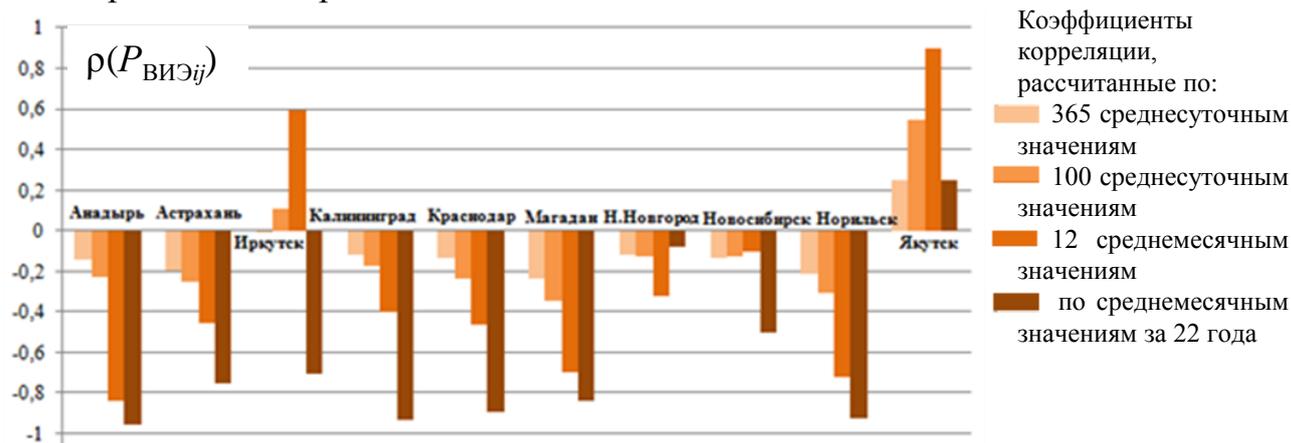


Рис. 2. Корреляционный анализ вырабатываемой мощности ВЭУ и ФЭП

Отрицательный диапазон изменения коэффициента корреляции ($-0,95 < \rho(P_{ВИЭij}) < -0,1$) в большинстве расчетов обуславливает целесообразность комплексного применения ВЭУ и ФЭП, что позволяет выбирать в сочетании установки значительно меньших номинальных мощностей (и, как следствие, меньших стоимостей) по сравнению с одиночными ВИЭ.

Проблема комплексного применения ветровых и солнечных энергоустановок обусловлена тем, что ВЭУ является источником с переменным выходным напряжением, а ФЭП с постоянным. Технологии, обеспечивающие параллельную работу ВИЭ с различными выходными параметрами, не достигли достаточного развития и характеризуются возможностью выбора только определенных энергоустановок (отсутствие возможности изменения состава источников).

При участии автора разработаны научно-технические решения подключения к нагрузке ВИЭ с различными выходными параметрами, использованные при создании «Устройства интеграции разнородных источников» (далее Устройство интеграции).

Устройство интеграции имеет модульный принцип построения. Его особенность и новизна при использовании в СЭС автономных потребителей определяется функционированием двух силовых блоков - универсального преобразователя напряжения и емкостного накопителя.

Универсальный преобразователь объединяет в себе функции модулей входных цепей постоянного тока, переменного тока, стабилизации входных напряжений, за счет чего обеспечивается возможность параллельной работы разнохарактерных источников (ВЭУ, ФЭП, дизельные электростанции) в широком диапазоне входного напряжения ($\pm 110 - 400$ В). Функция емкостного накопителя заключается в отдаче накопленной энергии при переключении питания потребителей с одного источника на другой и, таким образом,

обеспечении питания инвертора постоянным напряжением даже при кратковременных провалах напряжения.

На рис. 3 приведена схема СЭС автономного объекта в составе с Устройством интеграции.

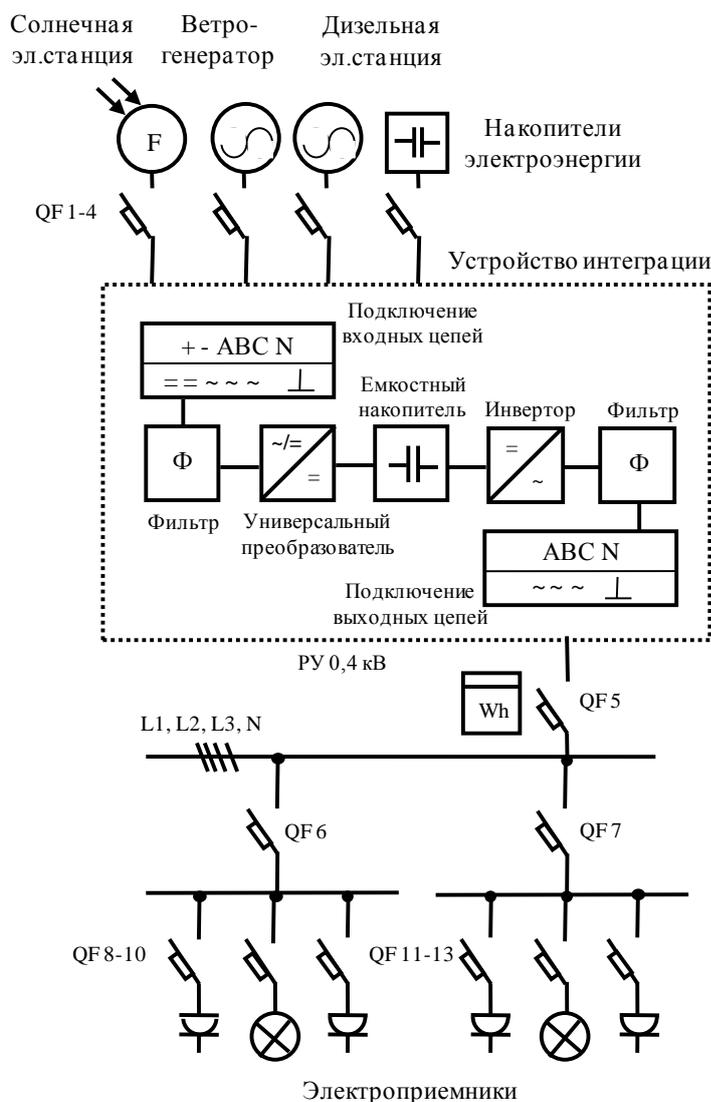


Рис. 3. Применение Устройства интеграции в СЭС автономных потребителей

Суммарная мощность подключаемых электроприемников - до 20 кВт.

Применение Устройства интеграции в СЭС автономных потребителей обеспечит: выполнение требований ГОСТ Р 54149-2010 по качеству выдаваемой электроэнергии; параллельную работу трех разнородных источников и накопителей электроэнергии; переключение питания потребителей с одного источника на другой без прерывания электроснабжения. За счет этого степень бесперебойности электроснабжения можно считать как для потребителей 1 категории (в отличие от существующих автономных СЭС, предназначенных для питания потребителей 2 и 3 категории).

Модульное построение Устройства интеграции позволяет использовать источники с различными эксплуатационными характеристиками и дополнять конфигурацию системы генерирования в процессе развития.

Третья глава посвящена исследованию критерия выбора ВИЭ, учитывающего риск непостоянства энергоносителя при совместном использовании ВЭУ и ФЭП, и разработке алгоритма для его количественной оценки.

Процесс поступления ветровой и солнечной энергии содержит значительный элемент случайности, связанный с погодными условиями. Отрицательные последствия от проявления риска непостоянства энергоносителя заключаются в нарушении электроснабжения потребителей и дополнительных затратах на органическое топливо. Для оценки случайного характера выработки мощности ВЭУ и ФЭП введен критерий – эксплуатационный риск в электроснабжении потребителей (ЭРЭП). Под ЭРЭП понимается вероятность, что суммарная вырабатываемая мощность ВИЭ окажется меньше требуемой мощности потребителей.

Разработан алгоритм для количественной оценки ЭРЭП. Объектом расчета является сочетание ВЭУ и ФЭП. Исходные данные для расчета: технические характеристики энергоустановок ВИЭ, метеоданные региона, требуемая мощность потребителей. При расчете ЭРЭП требуемая мощность потребителей ($P_{\text{ТРЕБ}}$) считается постоянной величиной, а вырабатываемая мощность энергоустановками ВИЭ ($P_{\text{ВИЭ}i}$) – случайной величиной. Принимается допущение, что распределение вырабатываемой мощности каждой энергоустановки ВИЭ соответствует нормальному закону. Принятие допущения обусловлено результатами анализа научно-технической литературы и фактических законов распределения вырабатываемой мощности ВЭУ и ФЭП, которые показали, что различные районы характеризуются различными законами распределения (нормальным, логнормальным, Вейбулла). В расчетах диссертационной работы принят нормальный закон.

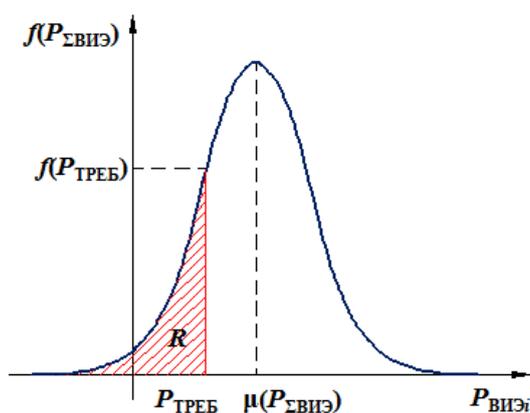


Рис. 4. Распределение вырабатываемой мощности сочетанием ВИЭ

На рисунке 4 ЭРЭП соответствует площади заштрихованной области – R . Статистические свойства сочетания ВИЭ определяются математическим ожиданием $\mu(P_{\Sigma \text{ВИЭ}})$ и стандартным отклонением $\sigma(P_{\Sigma \text{ВИЭ}})$ суммарной вырабатываемой мощности.

Алгоритм для количественной оценки ЭРЭП включает 4 этапа:

1. По начальным данным для каждой энергоустановки ВИЭ рассчитываются значения вырабатываемой мощности за определенный период времени (в диссертационной работе – год).

2. Для каждой энергоустановки ВИЭ рассчитываются математическое ожидание и стандартное отклонение вырабатываемой мощности:

$$\mu(P_{ВИЭi}) = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ВИЭi}}{n}; \quad (3)$$

$$\sigma(P_{ВИЭi}) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{ВИЭi} - \mu(P_{ВИЭi}))^2}, \quad (4)$$

где n – число наблюдений в течение года.

3. Рассчитываются математическое ожидание и стандартное отклонение вырабатываемой мощности сочетания ВИЭ:

$$\mu(P_{\Sigma ВИЭ}) = \sum_{i=1}^N \mu(P_{ВИЭi}); \quad (5)$$

$$\sigma(P_{\Sigma ВИЭ}) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma(P_{ВИЭi}) \sigma(P_{ВИЭj}) \rho(P_{ВИЭij})}, \quad (6)$$

где N – число энергоустановок ВИЭ; $\rho(P_{ВИЭij})$ – коэффициент корреляции между вырабатываемыми мощностями энергоустановок ВИЭ.

4. Рассчитывается величина ЭРЭП путем решения функции нормального распределения:

$$R = \int_{-\infty}^{P_{ТРЕБ}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(P_{ТРЕБ})} e^{-\frac{(P_{ВИЭi} - \mu(P_{ТРЕБ}))^2}{2\sigma(P_{ТРЕБ})^2}} dP. \quad (7)$$

Проведены исследования разработанного алгоритма и выполнены расчеты ЭРЭП на примере ПОУ при $P_{ТРЕБ}$ до 20 кВт.

Результаты исследования показали, что величина ЭРЭП может находиться в диапазоне от 0 до 100% и при неизменной $P_{ТРЕБ}$ зависит от $\mu(P_{\Sigma ВИЭ})$ и $\sigma(P_{\Sigma ВИЭ})$. Вероятность нарушения электроснабжения потребителей снижается при уменьшении величины ЭРЭП. В результате расчетов установлено, что значения $R \rightarrow \min$:

1) При увеличении числа однотипных ВЭУ ($R < 20\%$ при ВЭУ более 3 установок с $P_{НОМ.ВЭУ}$ от 5 до 20 кВт и $V_{НАЧ}$ 2,5-3,5 м/с). Снижение ЭРЭП в этом случае связано с увеличением $\mu(P_{\Sigma ВИЭ})$.

2) При использовании сочетания ВЭУ и ФЭП (количество ВЭУ до 3 установок и общая площадь ФЭП до 90 м² при КПД 0,13-0,16). Снижение ЭРЭП обусловлено уменьшением $\sigma(P_{\Sigma ВИЭ})$, от которого зависит форма кривой закона распределения вырабатываемой мощности ВИЭ. На величину $\sigma(P_{\Sigma ВИЭ})$ большое влияние оказывает коэффициент корреляции $\rho(P_{ВИЭij})$.

$$-1 < \rho(P_{ВИЭij}) < 1.$$

Результаты расчетов показали, что если:

$$-1 < \rho(P_{ВИЭij}) < 0, \text{ то } R \downarrow \text{ (снижается) при } \rho(P_{ВИЭij}) \rightarrow -1;$$

если:

$$0 < \rho(P_{ВИЭij}) < 1, \text{ то } R \downarrow \text{ (снижается) при } \rho(P_{ВИЭij}) \rightarrow 0;$$

То есть ЭРЭП снижается при более отрицательном или независимом поступлении ветровой и солнечной энергии.

Использование сочетания ВЭУ и ФЭП позволяет снизить номинальную мощность ВЭУ до 2 раз, по сравнению с их одиночным применением (при одинаковом значении ЭРЭП из диапазона $R < 20\%$).

Таким образом, ЭРЭП является дополнительным критерием оценки правильности решения при выборе энергоустановок ВИЭ. ЭРЭП позволяет сравнить вероятность нарушения электроснабжения потребителей для различных сочетаний ВЭУ и ФЭП.

Четвертая глава посвящена разработке методики выбора параметров комбинированных электротехнических комплексов на основе ВИЭ, обеспечивающих эффективное функционирование локальных СЭС.

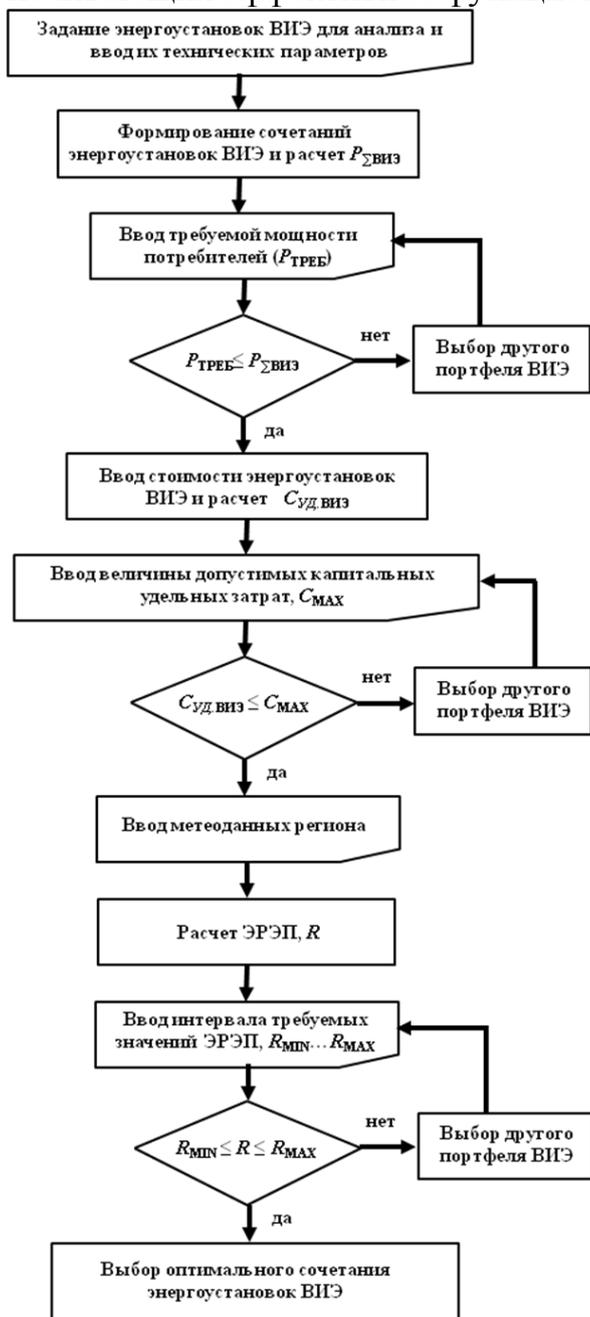


Рис. 5. Алгоритм выбора оптимального сочетания энергоустановок ВИЭ

Разработан алгоритм (рис. 5), а на его основе методика выбора оптимального сочетания (тип, количество и мощность) энергоустановок ВИЭ. Новизна методики заключается в учете случайного характера поступления возобновляемой энергии. Оптимальное сочетание энергоустановок ВИЭ выбирается исходя из соотношения критериев «капитальные удельные затраты на единицу вводимой мощности ($C_{уд.ВИЭ}$) – эксплуатационный риск в электроснабжении потребителей R ».

Для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей без гарантированной возможности использования органического топлива требуется выбирать сочетания ВИЭ с величиной ЭРЭП $< 20\%$ или с наименьшим значением из возможных ($R \rightarrow \min$).

Проведенные для 360 сочетаний ВИЭ расчеты показали, что между величинами $C_{уд.ВИЭ}$ и R отсутствует линейная зависимость (рис. 6).

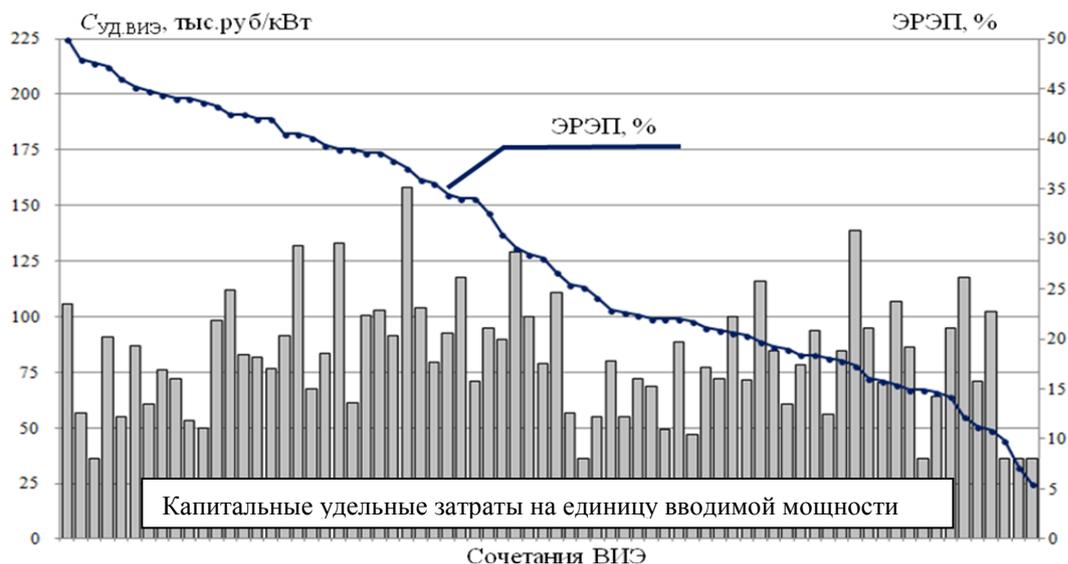


Рис.6. Соотношение ЭРЭП и капитальных удельных затрат на единицу вводимой мощности

То есть значения $C_{уд.виэ}$ для сочетаний ВИЭ с близкими значениями R (при $R \rightarrow \min$) могут изменяться в интервале от 20%.

Таким образом, при выборе оптимального сочетания энергоустановок ВИЭ с учетом величины ЭРЭП капитальные удельные затраты на единицу вводимой мощности могут быть снижены не менее чем на 20% без увеличения вероятности нарушения электроснабжения потребителей.

Разработан вероятностный подход оценки потребности в мощности от дизельной электростанции (ДЭС):

$$V_{ДЭСi} = \int_{-\infty}^{P_{ТРЕБ} - P_{ДЭСi}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(P_{\Sigma ВИЭ})}} e^{-\frac{\left((P_{ТРЕБ} - P_{ДЭСi}) - \mu(P_{\Sigma ВИЭ})\right)^2}{2\sigma(P_{\Sigma ВИЭ})^2}} dP, \quad (8)$$

где $P_{ДЭСi}$ – величина мощности, требуемая от ДЭС; $V_{ДЭСi}$ – вероятность потребности от ДЭС мощности величиной $P_{ДЭСi}$.

Проведенные по (8) расчеты показали, что в системе генерации локальной СЭС целесообразно использование двух ДЭС. Оценка поступления возобновляемой энергии позволяет снизить установленную мощность первой ДЭС (используется периодически) на величину до 50% от суммарной мощности потребителей (без увеличения вероятности нарушения электроснабжения потребителей). При этом показатель экономичности работы ДЭС за счет нахождения нагрузки в интервале 40-75% увеличивается на 10-20% по сравнению с использованием одной ДЭС, как следствие снижается суммарный расход топлива. Вторая ДЭС с установленной мощностью равной $P_{ТРЕБ}$ предусматривается для обеспечения гарантированного электроснабжения потребителей.

Таким образом, учет непостоянства поступления возобновляемой энергии при выборе параметров комбинированных электротехнических комплексов на основе ВИЭ позволяет повысить эффективность локальных СЭС.

В заключении даны основные научные и практические результаты исследований в соответствии с поставленными задачами, решение которых обеспечило достижение цели диссертационной работы.

1. Исследованы особенности электроснабжения энергоудаленных поселковых образовательных учреждений. Установлены проблемы низкого качества поставляемой электроэнергии (отклонение напряжения $> \pm 10\%$) и больших потерь электроэнергии при ее передаче, характерные для всех энергоудаленных (автономных) потребителей малой мощности, что свидетельствует об актуальности применения ВИЭ в их электротехнических комплексах.

2. Выполнен корреляционный анализ вырабатываемой мощности ветроустановок и фотоэлектрических преобразователей по метеоданным десяти регионов России. Полученные в большинстве расчетов отрицательные коэффициенты корреляции ($-0,95 < \rho(P_{\text{ВИЭ}ij}) < -0,1$) свидетельствуют о целесообразности совместного применения указанных энергоустановок в локальных системах, выражающейся в повышении стабильности электроснабжения потребителей.

3. Разработаны технические решения подключения к нагрузке ВИЭ, позволяющие объединять в системе генерирования локальных систем разнохарактерные источники (ветровые и солнечные энергоустановки, дизель-генераторы) в широком диапазоне входного напряжения ($\pm 110 - 400$ В) и обеспечивающие гарантированное электроснабжение автономных потребителей (как для потребителей 1 категории по степени бесперебойности).

4. Установлено, что при выборе ВИЭ отсутствуют критерии принятия решений, учитывающие риск непостоянства энергоносителя. Обусловлен критерий (ЭРЭП), учитывающий непостоянство поступления возобновляемой энергии, и разработан алгоритм для его количественной оценки. Проведенные по разработанному алгоритму расчеты и исследование полученных результатов показали, что для различных сочетаний ВИЭ величина ЭРЭП зависит от типа, количества, мощности применяемых энергоустановок. Выбор ВИЭ с учетом условия $\text{ЭРЭП} \rightarrow \min$ позволит снизить вероятность нарушения электроснабжения потребителей в локальных системах.

5. Разработана методика выбора параметров комбинированных электротехнических комплексов на основе ВИЭ. Результаты исследований 360 сочетаний ВИЭ показали, что учет риска непостоянства энергоносителя при их выборе обеспечивает повышение критериев эффективности локальных систем:

- снижение капитальных удельных затрат на единицу вводимой мощности ВИЭ не менее чем на 20% (без увеличения вероятности нарушения электроснабжения потребителей);

- снижение установленной мощности предполагаемой к использованию дизельной электростанции на величину до 50% и повышение показателя экономичности ее работы на 10-20% (без увеличения вероятности нарушения электроснабжения потребителей).

Основное содержание диссертации отражено в публикациях:

Статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК

1. Шалухо, А.В. Моделирование энергопотребления образовательных учреждений / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2011. № 7. С. 66-70.

2. Шалухо, А.В. Анализ и моделирование удельного энергопотребления образовательных учреждений / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Известия вузов. Электромеханика. 2011. № 3. С. 79-81.

3. Шалухо, А.В. Вопросы эффективного использования возобновляемых источников энергии в локальной системе электроснабжения потребителей / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2012. № 3. С. 214-218.

4. Шалухо, А.В. Вопросы эффективного использования возобновляемых источников энергии в локальной системе электроснабжения / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Электрические станции. 2012. № 9. С. 13-16.

5. Шалухо, А.В. Анализ принципов работы биогазовых установок / О.В. Маслеева, Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Экология и промышленность России. 2012. №10. С. 10 – 12.

6. Соснина, Е.Н. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха при сжигании биогаза на когенерационных установках / О.В. Маслеева, Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Экология и промышленность России. 2012. №12.

7. Соснина, Е.Н. К анализу норм качества электроэнергии для локальных систем электроснабжения / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. - №3. –С.50-54.

Патенты:

8. Решение о выдаче патента на изобретение № 2012125330 от 23.07.2013 Устройство заряда накопительного конденсатора / Чивенков А.И., Гребенщиков В.И., Соснина Е.Н., Михайличенко Е.А., Шалухо А.В.

9. Заявка на полезную модель № 2013138616 от 21.08.2013 Система бесперебойного энергоснабжения / Чивенков А.И., Лоскутов А.Б., Соснина Е.Н., Шалухо А.В., Бедретдинов Р.Ш., Липужин И.А.

Статьи, опубликованные в других изданиях и за рубежом

10. Shalukho, A. Technique of a choice the optimal combination of renewable energy sources in the power supply system taking into account the random nature of changes in weather conditions / E. Sosnina, A. Shalukho // Journal “Challenges of modern technology”, Warsaw. 2012. № 3. P. 19-22.

11. Шалухо, А.В. Определение риска электроснабжения при использовании возобновляемых источников энергии / А.В. Шалухо // Будущее технической науки: материалы докладов / Н.Новгород, 2011. С. 50.

12. Шалухо, А.В. Применение возобновляемых источников энергии для электроснабжения базы отдыха и / А.В. Шалухо, Минченко Т.А. // Будущее технической науки: материалы докладов / Н.Новгород, 2012. С. 42.

13. Шалухо, А.В. Использование альтернативных источников энергии в системах энергоснабжения образовательных учреждений / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы всерос. научно-практической конференции / ОГУ. – Оренбург, 2010. С. 7-9.

14. Шалухо, А.В. Анализ законодательной и нормативной базы новых и возобновляемых источников энергии / Е.Н. Соснина, А.П. Антропов, А.В. Шалухо // Федоровские чтения 2010: материалы всерос. научно-практической конференции / МЭИ. – Москва, 2010. С. 7-9.

15. Шалухо, А.В. Оценка эксплуатационного риска электроснабжения при использовании возобновляемых источников энергии / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: материалы докладов / Н.Новгород, 2011. С. 402-405.

16. Шалухо, А.В. Исследование риска электроснабжения потребителей при использовании возобновляемых источников энергии / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Современная техника и технологии: материалы междунар. научно-практической конференции / Томский политехнический университет – Томск, 2011. С. 132-133.

17. Шалухо, А.В. Применение аппарата “портфельного анализа” при разработке энергоэффективной системы электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Федоровские чтения 2011: материалы всерос. научно-практической конференции / МЭИ. – Москва, 2011. С. 193-199.

18. Шалухо, А.В. Вопросы эффективного использования возобновляемых источников энергии в локальной системе электроснабжения потребителей / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Электроэнергетика глазами молодежи: сборник статей / СамГТУ. – Самара, 2011. Т. 1. С. 276-279.

19. Шалухо, А.В. Проблемы комплексного использования разнородных источников энергии в локальной системе электроснабжения потребителей / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: материалы докладов / Н.Новгород, 2012. С.196-199.

20. Шалухо, А.В. Методика выбора оптимального сочетания возобновляемых источников энергии для локальных энергосистем / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 3. С. 215-219.

21. Шалухо, А.В. Методика выбора возобновляемых источников энергии для локальной энергосистемы / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Возобновляемые источники энергии: материалы всерос. научной молодежной школы с международным участием / МГУ – Москва, 2012. С. 455-459.

Личный вклад соискателя. Все основные положения диссертации разработаны автором. В работах, написанных в соавторстве, автору принадлежат: постановка задачи, методы расчета и их анализ [3, 4, 7, 11-21], анализ результатов расчета [5, 6], аналитический обзор [8, 10], анализ систем электроснабжения и обработка результатов исследования [1, 2, 8, 9].

Автореферат отпечатан с разрешения диссертационного совета Д 212.165.02 ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», (протокол № 1 от 17.10.2013г.).

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Типография НГТУ. 603950, Нижний Новгород, ул.Минина, 24