# Хошнау Зана Пешанг Халил

# АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Специальность 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

## АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на кафедре "Электроснабжения промышленных предприятий"

Научный руководитель: Лукутин Борис Владимирович

доктор технических наук, профессор,

Официальные оппоненты: Пантелеев Василий Иванович

доктор технических наук, профессор, Политехнический институт Сибирского федерального университета, заведующий кафедрой «Электротехнические комплексы

и системы».

Харлов Николай Николаевич

кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, заместитель директора учебно-научно-технологического центра ресурсосбережения Энергетического

института

Ведущая организация: Федеральное государственное

бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Новосибирский государственный

технический университет»

Защита состоится "12" декабря 2012г. в  $14^{00}$  часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.10 при ФГБОУ ВПО "Национальный исследовательский Томский политехнический университет" по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина,30.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Научного исследовательского Томского политехнического университета по адресу: г. Томск, ул. Белинского, 53-а

Автореферат разослан "09" ноября 2012г.

Ученый секретарь диссертационного совета д.т.н., с.н.с.

Кабышев А.В.

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Более 20 млн. россиян, проживающих в удаленных от центра России регионах, не входящих в зону обслуживания российской централизованной энергетики, испытывают острый недостаток в электрической энергии. Основными проблемами энергоснабжения таких, изолированных от энергосистем, потребителей являются дальний транспорт топлива для локальных дизельных электростанций (ДЭС) и зависимость от его поставок. В наиболее труднодоступных районах эти проблемы усугубляются многозвенной транспортной схемой и ограниченностью сроков сезонного завоза.

Источники малой мощности, используемые для автономного энергоснабжения, правило, низкие технико-экономические имеют, как показатели - удельные расходы топлива составляют 500-600 г у.т./кВт-ч и 300-350 кг у.т./Гкал. Дизельные электростанции и котельные зачастую находятся в неудовлетворительном состоянии. Рост цен на дизельное топливо способствует электроэнергии вырабатываемой повышению стоимости дизельными электростанциями.

Одним из перспективных направлений развития автономного энергоснабжения, позволяющих в значительной степени решить проблемы ДЭС, является возобновляемая энергетика, в частности ветроэнергетика.

Многие регионы автономной энергетики Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера характеризуются высоким ветровым потенциалом, поэтому важным направлением в развитии децентрализованного энергоснабжения является применение ветро-дизельных станций (ВДЭС).

Применение возобновляемых источников энергии в составе автономных энергетических систем позволяет снизить топливную составляющую в себестоимости вырабатываемой электроэнергии, что существенно повышает их технико-экономическую эффективность.

В настоящее время в мире применяются различные варианты построения гибридных станций на базе ВДЭС, однако вопросы оптимизации структуры и параметров системы требуют продолжения исследований.

Научным исследованиям в области электроснабжения автономных потребителей на базе ВДЭС за последние 10 лет посвящен ряд научно-исследовательских работ российских ученых: П.П. Безруких, В.Г.Николаев, М.А. Сурков, В.Р. Киушкина, А.А. Аверин, А.В. Бобров, В.В. Вессарт, А.В. Чебодаев, А.Н. Дорошин, Н.М. Парников, Р.В. Пугачев, и зарубежных авторов: Tomilson Andrew, Memorial University of Newfoundland; Jeffries William Q. Ph.D. University of Massachusetts Amherst; Akarin Suwannarat, Institute of Energy Technology, Aalborg University, Denmark. В работах рассматривались вопросы: математического моделирования рабочих режимов станции, алгоритмов работы ВДЭС, оценка экономической эффективности системы, однако существует ряд проблем в данной области, которые до конца не изучены.

Производительность комбинированных энергосистем во многом зависит от энергетических и рабочих характеристик входящих в неё установок и их

режимов работы. Важной задачей является согласование режимов работы компонентов входящих в состав ветро-дизельных электростанций.

**Объект исследования.** Автономные системы электроснабжения на основе ветро-дизельных электрических станций (ВДЭС).

**Предмет исследования.** Энергетические процессы в системе электроснабжения на базе гибридной автономной ветро-дизельной электростанции.

**Цель работы.** Повышение энергоэффективности автономных систем электроснабжения на базе ВДЭС путем рационального выбора основного генерирующего оборудования и оптимизации его рабочих режимов.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе определены и решены следующие задачи исследования:

- проведен сравнительный анализ вариантов построения ветро-дизельных электростанций, определена наиболее перспективная схема построения ВДЭС для автономного электроснабжения;
- проведен анализ существующих методов расчета мощности, вырабатываемой ВЭС, предложена методика, позволяющая более точно рассчитать вырабатываемую ветроэлектростанцией электроэнергию;
- проведен анализ методик по расчету электрических нагрузок в изолированных сетях, построению графиков электрических нагрузок автономного потребителя, разработана универсальная методика расчета нагрузки потребления;
- построен алгоритм эффективного управления рабочими режимами ВДЭС, обеспечивающий максимальное использование ветрового потенциала, что позволяет снизить расход топлива и повысить эксплуатационный ресурс оборудования;
- разработана методика оценки экономической эффективности автономных ветро-дизельных электростанций, позволяющая производить рациональный выбор основного генерирующего оборудования и режимов его работы.

**Методы исследования.** При выполнении диссертационной работы использовались: методы анализа и обобщения данных, приведенных в научнотехнической литературе, вероятностно-статистические методы анализа данных; методы математического моделирования, имитационного моделирования, экспериментальные исследования.

**Научная новизна работы.** В результате выполнения исследований получены следующие новые научные результаты:

- предложены рациональные варианты структуры автономной системы электроснабжения на базе ВДЭС, в том числе с управляемой балластной нагрузкой позволяющей оптимизировать режимы работы основного энергетического оборудования;
- разработана математическая модель ветро-дизельной системы электроснабжения, учитывающая реальные изменения мощности нагрузки, соотношение установленных мощностей ветровой и дизельной составляющей

генерирующего оборудования, действительные ветровые условия района электроснабжения;

— построены энергоэффективные алгоритмы управления режимами силовых энергетических установок ВДЭС, позволяющие: максимально использовать потенциал ветра; обеспечить наиболее экономичный режим работы ДЭС; повысить эксплуатационный ресурс оборудования.

# Практическая ценность работы:

- предложены универсальные методики расчета нагрузки потребления и ветроэнергетического потенциала для краткосрочного и долгосрочного планирования режимов работы ВДЭС;
- разработана методика оценки экономической эффективности автономной ветро-дизельной системы электроснабжения;
- разработаны рекомендации по повышению энергоэффективности автономных систем электроснабжения путем выбора рационального состава ВДЭС и режимов работы энергетического оборудования;
- создан программный пакет для исследования и формирования рациональных режимов работы ВДЭС и анализа её энергетических балансов.

**Достоверность результатов диссертационной работы.** Полученные в ходе диссертационной работы научные результаты базируются на всестороннем анализе выполненных ранее научно-исследовательских работ в данной области исследования. В ходе работы использовались аналитические и экспериментальные методы проверки достоверности результатов.

Реализация результатов работы. Полученные в диссертационной работе решения использованы в отчетах по ГК ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007 – 2012 годы» по направлению «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области создания эффективных накопителей электрической энергии для нужд централизованной и автономной энергетики». Результаты выполненной работы использованы в учебном процессе на кафедре Электроснабжения промышленных предприятий Энергетического института Томского политехнического университета для студентов специальности «Возобновляемые энергии» источники при разработке методических рекомендаций для выполнения практических занятий и курсовых работ.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-практической конференции "Электроэнергия от получения и распределения до эффективного использования", г.Томск, 2010 г., на Международной научно-технической конференции "IV чтения Ш. Шокина", г. Павлодар, 2010г.

**Публикации.** Основные положения и результаты выполненных исследований отражены в 5 публикациях, из них 3 по перечню ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, содержащих 143 страниц основного текста, 9 таблиц, 49 рисунка и список литературы из 72 наименований.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность выбранной темы диссертационного исследования, характеризуется степень ее разработанности, определяются цели, задачи, методологические основания исследования, отражается научная новизна полученных результатов их теоретическая и практическая значимость.

**Первая глава** работы посвящена рассмотрению актуальных проблем автономных систем электроснабжения, анализу различных вариантов построения систем на базе ветроустановок, определению рациональных структурных схем построения ветро-дизельных электростанций.

Основу малой энергетики России в настоящее время составляют до 50 тысяч различных, преимущественно дизельных электростанций. Практический опыт эксплуатации ДЭС показывает, что затраты на топливо являются определяющими в себестоимости вырабатываемой ДЭС электроэнергии. Поэтому минимизация расхода топлива при эксплуатации ДЭС является важнейшей стратегической задачей, определяющей экономическую эффективность электростанции.

На рис. 1 приведено распределение затрат на выработку электроэнергии на дизельных электростанциях ОАО "Сахаэнерго" в 2008 году.

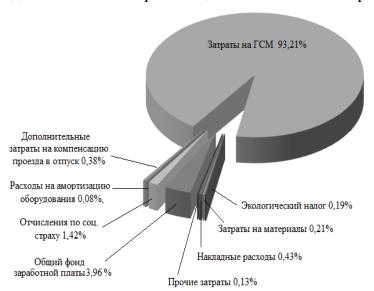


Рис. 1. Диаграмма затрат на производство и транспорт электроэнергии: на ДЭС ОАО "Сахаэнерго".

К числу важнейших направлений развития систем энергоснабжения потребителей, обеспечивающих повышение качества экономической эффективности электро- и теплоснабжения за счет снижения потребления с реконструкцией, топлива, наряду является применение возобновляемых энергии. Для источников 30H децентрализованного электроснабжения чрезвычайный интерес представляют комбинированные или ВЭС гибридные установки, сочетающие В себе c дизельными электростанциями, которые покрывают недостаток вырабатываемой энергии в безветренные промежутки времени.

Малые ветроэнергетические установки (ВЭУ) (мощностью до 100 кВт) находят широкое применение для автономного питания потребителей, т.к. они конструктивно просты, а необходимая ветровая энергия имеется во многих районах автономного электроснабжения.

Скорость ветра и нагрузка потребления являются случайными величинами, что в сочетании с соизмеримостью мощностей основного энергетического оборудования требует согласования в реальном масштабе времени режимов производства и потребления электроэнергии. Частично проблему согласования можно решить, используя в энергетической системе буферные накопители энергии, в качестве которых используются аккумуляторные батареи (АБ).

Повышение энергоэффективности дизельных электростанций с помощью ветроэнергетической установки достаточно сложная задача. Обзор структурных схем наиболее распространенных ВДЭС позволил определить перспективную систему (рис.2), обеспечивающую рациональное электроснабжение потребителя в широком диапазоне мощностей и ветровых условий.

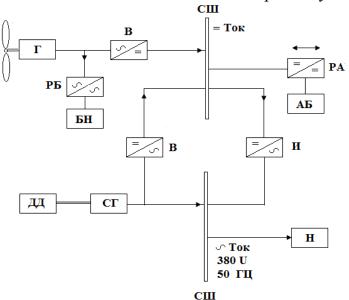


Рис. 2. Перспективная блок-схема построения ВДЭС Условные обозначения: Г – генератор; РБ – регулятор балласта; В – выпрямитель; БН – блок балластных сопротивлений; АБ – аккумуляторная батарея; И – инвертор; Н – полезная нагрузка; ДД – дизельный двигатель; СГ – синхронный генератор; СШ – сборная шина; РА – регулятор аккумуляторной батареи.

Многокомпонентная структура электростанции требует разработки специализированных алгоритмов управления, которые должны обеспечить бесперебойное снабжение потребителя электрической энергией в условиях изменяющихся внешних факторов, оказывающих существенное влияние на работу основного генерирующего оборудования (нагрузки и скорости ветра).

Кроме того, необходимо создание методик рационального выбора типа и мощности силовых агрегатов, а также методик расчета технико-экономических характеристик проекта.

Для практического использования установок возобновляемой энергетики в составе автономных энергетических комплексов, а также выбора основного энергетического оборудования необходимо решить ряд технических задач, рассмотренных во второй главе, важнейшей из которых является согласование режимов производства и потребления энергии в условиях стохастических временных процессов изменения электрической нагрузки потребителя и мощности первичного энергоносителя, ветра. Опираясь, на типовые графики нагрузок, разработана нормативные документы И универсальная методика определения нагрузки потребления децентрализованного потребителя (рис.3).

Основными факторами, определяющими режимы электропотребления населенного пункта, обеспечиваемого электроэнергией от автономной энергетической системы, являются численность жителей и виды электрических нагрузок, которые в общем случае подразделяется на:

- бытовую нагрузку, потребляемую населением (жилые дома, общежития);
- социальную нагрузку, потребляемую объектами социального назначения (магазины, школы, кинотеатры и т.д.)
- производственную нагрузку, потребляемую предприятиями.

Существенное влияние на режимы электропотребления могут оказывать географические, климатические и технические характеристики конкретного населенного пункта: среднегодовая температура воздуха, количество зимних и летних дней, уровень комфортности коммунально-бытовой сферы и т.п.



Рис. 3. Блок-схема расчета прогнозных режимов потребления электрической энергии автономной энергетической системой

Определение нагрузки потребления основывается на использовании типовых графиков электирических нагрузок.

Проведенный анализ фактических данных по годовому потреблению электрической энергии автономными энергетическими системами показал, что объединение бытовой и социальной нагрузки с привязкой ее к численности населения, принятое в нормативных документах, обеспечивает невысокую точность прогноза.

На рис. 4 представлены осредненные за 2006 — 2010 гг. зависимости годового объема потребленной электрической энергии, построенные по фактическим данным электропотребления 79 автономными энергетическими системами Республики Саха (Якутия) с численностью обслуживаемого населения от 20 до 859 чел.

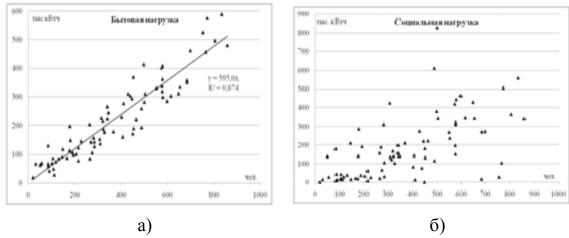


Рис. 4. Фактическая зависимость годового потребления электроэнергии от численности населения автономных систем электроснабжения Республики Саха (Якутия): а) бытовая нагрузка б) социальная нагрузка.

На рисунке 4a хорошо видно, что между численностью населения и электропотреблением на бытовые нужды существует высокая корреляционная связь, которая с большой достоверностью может быть аппроксимированная линейной зависимостью вида:

$$W_{\text{быт}} = 595,0 \cdot N, \, \text{кВт} \cdot \text{ч}$$
 (1)

где N – численность населения, чел.

Расход электроэнергии на социальные нужды главным образом определяется количеством и типом коммунальных и социальных объектов, расположенных в конкретном населенном пункте, и слабо связан с численностью населения.

В предлагаемой методике расчета для определения режимов электропотребления используются типовые графики электрических нагрузок для различных групп потребителей. Предложенная схема расчета позволяет выполнить прогноз режимов электропотребления автономных энергетических систем при минимуме исходных данных. С ее помощью можно определить не только годовой объем потребленной электроэнергии, но и рассчитать более

детальные показатели, такие как суточные графики электрических нагрузок в любой день года с почасовой дискретизацией, зимний и летний максимумы нагрузок отдельно для каждой группы потребителей.

Предлагаемая методика позволяет получить имитационную математическую модель электрических нагрузок, которая может быть представлена в виде:

$$P_i = \overline{P}_i \pm \sigma_i, \tag{2}$$

где  $\overline{P}_i$  – средняя активная нагрузка из суммарного графика на интервале дискретизации;  $\sigma_i$  – среднеквадратическое отклонение.

Методика легко автоматизируется средствами простых прикладных программ и может быть полезна при проектировании систем автономного электроснабжения небольшой мощности.

Предложенная автоматизированная методика рационального выбора ветроэнергетических установок малой мощности позволяет сократить время и затраты на проектирование подобных систем, повысить качество проектных работ.

Предлагаемый автором алгоритм выбора ВЭС представлен на рис.5.

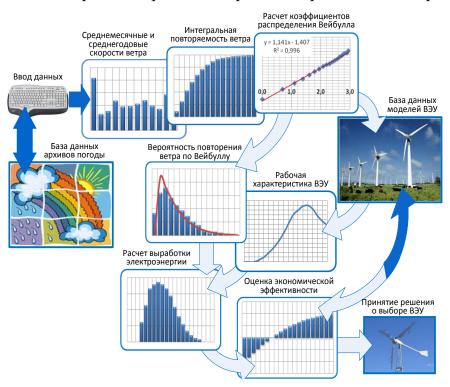


Рис.5. Алгоритм выбора ВЭС

С использованием функции распределения Вейбулла (получившую распространение в ветроэнергетике), определяется вероятность повторения ветра в любом интервале скоростей по выражению:

$$f(V) = \frac{dF(V)}{dV} = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k}$$
(3),

где с — параметр масштаба, k — параметр формы, F(V) — функция интегральной повторяемости скорости ветра, которая характеризует долю времени (вероятности) того, что скорость ветра равна или ниже, чем V.

Затем определяется среднегодовое количество энергии, вырабатываемое ВЭС, которое можно рассчитать по формуле:

$$W_{\text{ВЭУ}} = T \sum_{i=1}^{m} P_i(V) \cdot N_i(V), \quad \text{кВт} \cdot \text{ч}$$
 (4)

где m — количество градаций скоростей ветра; T — общее число часов работы  $B \ni C$  в год;  $P_i(V)$  — повторяемость скорости в данной градации;  $N_i(V)$  — выходная мощность  $B \ni C$  в данной градации скорости ветра,  $\kappa B \tau$  (определяется по рабочей характеристике  $B \ni C$  как среднее значение для данной градации).

Предлагаемая методика позволяет построить прогнозную модель продольной составляющей скорости ветра на каждый час, которую можно представить в виде:

$$\overline{V}_1 = V_{\rm cp} \pm \sigma, \quad \text{M/c}$$
 (5)

где:  $V_{q}$  – скорость ветра в интервале 6 часов (по данным метеонаблюдений);

 среднеквадратичное отклонение, которое можно определить из эмпирического анализа распределения ветра Ван –дер–Ховена.

Методика апробирована на конкретных примерах выбора ВЭС для электроснабжения ряда объектов, доказала свою работоспособность и удобство применения.

Полученные имитационные модели величины электрической нагрузки и энергетических характеристик ветра позволяют выполнить достоверный прогноз объемов генерируемой и потребляемой электроэнергии, необходимый для выбора основного генерирующего оборудования, а также подобрать эффективные алгоритмы управления потоками энергии в изолированной энергетической системе.

В третьей главе разработаны алгоритмы управления режимами работы ВДЭС, один из которых представлен на рис. 6. В логику работы предлагаемого алгоритма положены два основных принципа: максимальное полезное использование энергии, генерируемой ВЭС и минимизация числа часов работы Для практической реализации алгоритма управления необходим постоянный контроль за запасом энергии в буферном накопителе и текущими значениями генерируемой, потребляемой и аккумулируемой мощностями. Кроме того, ДЭС должна быть выполнена по 3 степени автоматизации, обеспечивающей дистанционный автоматический запуск и останов дизельного двигателя. Интеллектуальная система управления (СУ) ВДЭС обеспечивает постоянное распределение потоков энергии в замкнутой энергетической системе в зависимости от ее текущего состояния. С точки зрения управления, режим работы станции определяется соотношением текущих значений мощности, генерируемой ВЭУ и потребляемой нагрузкой. Возможны два основных режима:

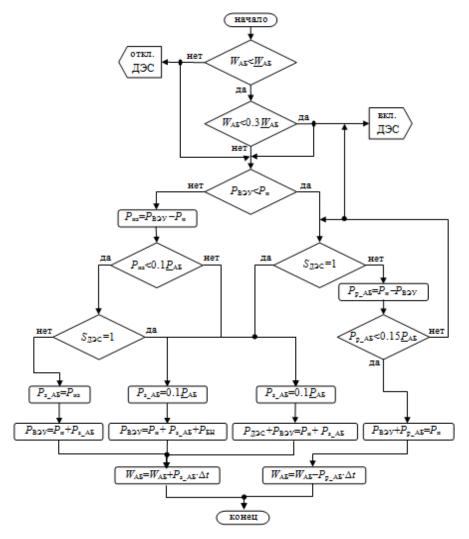


Рис. 6. Алгоритм управления режимами ВДЭС

- 1. Выходная мощность ВЭУ больше потребляемой активной мощности нагрузки. В этом режиме потребитель полностью обеспечивается энергией от ВЭУ. Излишки вырабатываемой ВЭУ мощности направляются на заряд аккумуляторных батарей, а в случаях, когда они превышают максимальную зарядную мощность АБ, избыток энергии рассеивается на балластных сопротивлениях.
- 2. Выходная мощность ВЭУ меньше потребляемой активной мощности нагрузки. В этом режиме СУ определяет недостаток мощности, необходимой потребителю, и производит оценку возможности ее получения из АБ. Если необходимая в текущем режиме разрядная мощность накопителя не превышает предельно допустимых значений, покрытие электрической нагрузки ВДЭС производится за счет мощности ВЭУ и разрядной мощности АБ. В противном случае СУ формирует управляющий сигнал на запуск дизельного двигателя, и покрытие электрической нагрузки производится совместными усилиями ВЭУ и ДЭС, которые, кроме этого, обеспечивают заряд АБ.

В качестве примера на рисунке 7 показан суточный режим работы ВДЭС, построенной на базе дизель-генератора номинальной мощностью 15 кВт, ВЭУ

мощностью 50 кВт и буферного накопителя из 40 аккумуляторов с суммарной емкостью 90 кВт·ч.

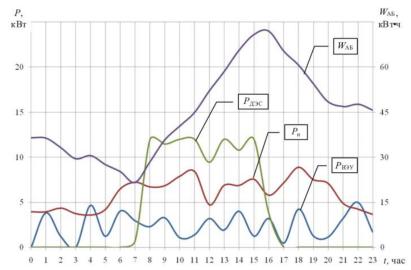


Рис. 7 Суточный рабочий режим ВДЭС с буферным накопителем энергии

Представленный график получен ПО результатам имитационного математического моделирования автономной системы электроснабжения, расположенной в поселке Усть-Оленёк, Булунский улус, республика Саха (Якутия), энергообеспечение данного поселка обеспечивается дизельными электростанциями. Использование ветро-дизельных систем электроснабжения обеспечит экономию топлива, увеличит моторесурс дизельгенератора. При моделировании использовались вероятностно-статистические модели нагрузок автономного потребителя энергии воздушного потока, также энергетические модели ВЭУ и ДЭС.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что для обеспечения рационального энергетического баланса в автономной ВДЭС, а соответственно повышения ее энергетической эффективности, необходимо тщательным образом согласовывать установленные мощности ДЭС, ВЭУ и АБ с учетом ветровых условий в месте размещения электростанции и прогнозного графика электрических нагрузок. Тем не менее, даже при рационально выбранной схеме ВДЭС остаются излишки генерируемой ВЭУ электроэнергии, которые невозможно полностью утилизировать с помощью накопителей энергии, построенных на базе АБ. Следовательно, любая автономная ВДЭС должна содержать в своем составе регулируюмую балластную нагрузку, необходимую для согласования режимов производства и потребления энергии в режимах превышения мощности, вырабатываемой ВЭУ над текущей мощностью нагрузки.

С учетом приведенных выше положений автором разработан усовершенствованный алгоритм управления рабочими режимами автономной ВДЭС, в котором регулируемая балластная нагрузка используется не только для согласования режимов производства и потребления энергии, но и обеспечивает эффективные режимы эксплуатации ДЭС и АБ. Блок-схема предлагаемого алгоритма управления представлена на рис.8.

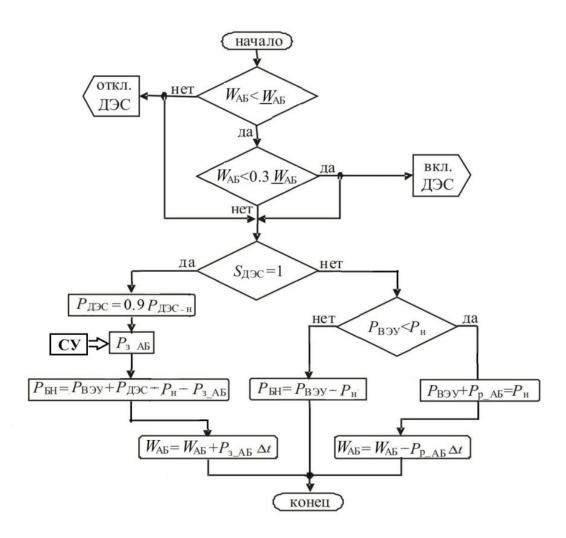


Рис. 8. Алгоритм управления режимами ВДЭС с управляемой балластной нагрузкой

На рисунке 9 представлен суточный режим работы ВДЭС, полученный по результатам имитационного математического моделирования по алгоритму с использованием балластной нагрузки.

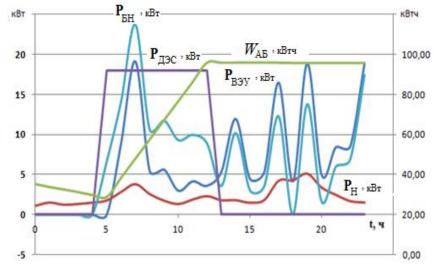


Рис. 9. Оптимизированный суточный рабочий режим ВДЭС с буферным накопителем энергии и балластной нагрузкой

Как и в рассмотренном выше алгоритме управления, силовые агрегаты ДЭС переводятся в рабочее состояние при снижении остаточной емкости аккумуляторных батарей ниже некоторого порогового значения (обычно не менее 30% от полной емкости) и остаются в работе до полного заряда аккумуляторов, после чего система управления формирует сигнал на отключение ДЭС.

Однако, в отличие от ранее предложенного алгоритма, в данном случае система управления во всех возможных рабочих режимах обеспечивает оптимальный режим заряда аккумуляторных батарей и неизменную загрузку дизель-генераторов на уровне 90% от их номинальной мощности. Обеспечение энергетического баланса между генерируемой и потребляемой мощностью во всех режимах работы ВДЭС осуществляется с помощью регулируемой балластной нагрузки.

Проведенный сравнительный анализ рабочих режимов ВДЭС с предложенными алгоритмами управления показывет, что в большинстве практических случаев использование первого алгоритма управления является более предпочтительным, ввиду значительно меньших потерь энергии и более экономичного расхода топлива ДЭС. Однако, ВДЭС со вторым алгоритмом управления могут оказаться конкурентоспособными в системах электроснабжения, в которых большая часть электроэнергии используется на отопление и горячее водоснабжение.

В рамках выполнения работы предложена универсальная обобщенная схема ВДЭС и разработан пакет прикладных программ, позволяющий моделировать рабочие режимы гибридной системы автономного электроснабжения с целью рационального выбора состава оборудования и определения эффективных алгоритмов управления.

Методика выбора оптимального варианта построения ВДЭС основана на расчете и сравнительном анализе энергетических характеристик автономной ДЛЯ электроснабжения электростанции, предназначенной потребителя с географической привязкой к месту ее размещения. Улучшение энергетических характеристик ВДЭС достигается за счет рационального установленных мощностей генерирующих выбора И аккумулирующих источников, определяемых параметрами ветрового режима в месте размещения электростанции и характером электрической нагрузки потребителя, а также оптимального управления потоками энергии в замкнутой энергетической которое обеспечивает единая система **управления** режимами. Так как рациональное соотношение установленных мощностей ДЭС, ВЭУ и БНЭ не является типовым, а определяется индивидуально для каждой ВДЭС с учетом конкретных условий ее размещения и эксплуатации, в качестве критерия выбора основного силового оборудования целесообразно использовать технико-экономические показатели.

Важным аргументом в принятии решения о целесообразности использования ВЭС для потребителя является оценка экономической эффективности проекта, расчет которой описан в четвертой главе. На рисунке

10 представлена блок-схема расчета оценки экономической эффективности применения ВЭС в системах автономного электроснабжения.

Основной подход к расчету экономических параметров установок возобновляемых источников энергии заключается в определении эффективности этих установок в современных рыночных условиях и конкуренции со стороны станций, работающих на органическом топливе.

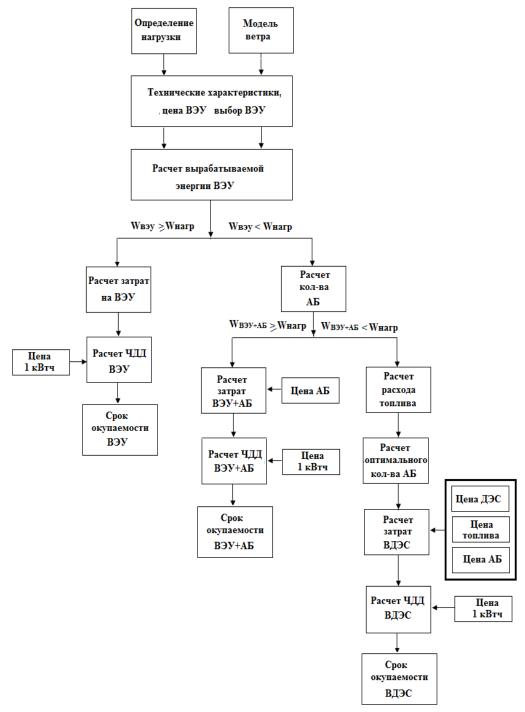


Рис. 10 Блок-схема выбора автономной системы электроснабжения и определения экономической эффективности выбранной системы.

Исходными данными в методике выбора автономной системы электроснабжения и определения ее экономической эффективности (рис.10)

являются: часовая нагрузка потребления и почасовая скорость ветра. По исходным данным определяем технические характеристики ВЭУ и ее стоимость. Расчитываем вырабатываемую энергию ВЭУ. При недостатке вырабатываемой энергии ВЭУ для покрытия нагрузки определяем необходимое количество АБ. Следует учесть, что при длительном отсутствии ветра для обеспечения нагрузки требуется большое количество АБ, что приводит к удорожанию системы и делает ее неэффективной. В систему включается ДГ, мощность которого определяется по пиковой нагрузке. Расчитываем затраты на приобретение и установку ВДЭС, с учетом стоимости кВтч электроэнергии расчитываем чистый дисконтированный доход (ЧДД) и определяем срок окупаемости системы.

Используя выше описанную методику, можно проводить сравнительную оценку экономической эффективности различных вариантов построения автономных энергетических систем с использованием для выработки электроэнергии ВЭС.

На рисунке 11 показан пример выбора рациональной мощности ВЭС при различной стоимости дизельного топлива и распределении скоростей ветра за разные годы наблюдений. Из результатов расчета видно, что при стоимости топлива 35 и 45 рублей за литр оптимальным вариантом будет выбор ВЭС мощностью 30 кВт, при стоимости топлива 60 рублей эффективнее использовать ВЭС мошностью 50 кВт.

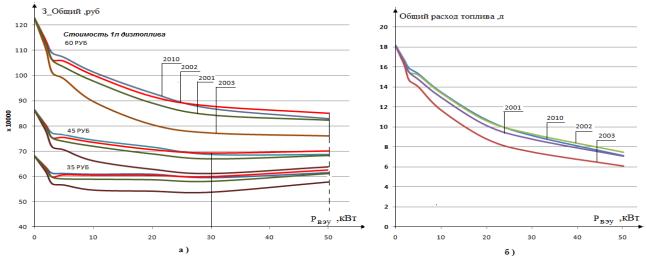


Рис. 11. Приведенные годовые затраты на систему автономного электроснабжения

- а) Выбор оптимального варианта ВЭС на основе зависимости общих затрат от мощности ВЭУ за период с 2001 по 2003 годы;
  - б) График зависимости расхода топлива в ветродизельной системе от мошности ВЭУ.

С помощью разработанной программы были рассчитаны оптимальные варианты выбора мощности ВЭУ для автономного энергоснабжения поселка Усть-Оленек Республики Саха (Якутия) (рис. 12).

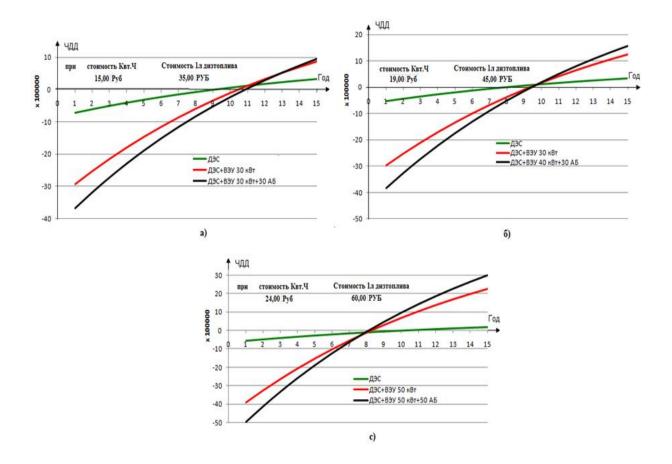


Рис. 12. График зависимости ЧДД от срока окупаемости инвестиционного проекта, оптимальные варианты гибридных систем электроснабжения п. Усть-Оленек при изменении стоимости дизельного топлива и кВтч вырабатываемой энергии

Исходя из данных представленных на графиках (рис.12) делаем вывод, что при скорости ветра 5,32 м/с, в исследуемом поселке за многолетний период наблюдений, оптимальным вариантом электроснабжения является ВДЭС с аккумуляторными батареями (табл. 1).

Таблица 1. Варианты электроснабжения п. Усть-Оленек

система показатели	Рис.12	ДЭС	ДЭС+ВЭУ	ДЭС+ВЭУ+АБ
Мощность ВЭУ	a	-	30	30
(кВт)	б	-	30	40
	c	ı	50	50
Количество АБ	a	1	-	30
(шт)	б	1	-	30
	c	1	-	50
Срок окупаемости (лет)	a	9	10,5	11
	б	7,5	9,5	9,5
	c	8	8	8

Стоимость 1 литра	a	35	35	35
топлива	б	45	45	45
(руб.)	c	60	60	60
Стоимость 1 кВтч	a	15	15	15
(руб.)	б	19	19	19
	c	24	24	24
Чистый	a	330918	883064	953825
дисконтированный	б	327666	1244930	1558953
доход (руб)	c	192496	2278448	3004504

В данной методике выбора системы автономного энергоснабжения рассчитаны основные экономические показатели: чистый дисконтированный доход и срок окупаемости проекта.

Предлагаемая методика основана на Excel программном решении для анализа проектов автономного энергоснабжения с использованием систем ВДЭС. Результатом исследования явилось создание програмного средства доступного и удобного для широкого круга пользователей.

## **ВЫВОДЫ**

Основные результаты проведенных в диссертационной работе исследований, направленных на повышение энергоэффективности системы автономного ветро-дизельного электроснабжения заключается в следующем:

- 1. Проведен анализ децентрализованной энергетики России, основу которой составляют дизелные электростанции. Выявлены негативные факторы, влияющие на надежность автономного электроснабжения, определяющие низкие технические показатели и экономические характеристики ДЭС. Определены основные направления повышения эффективности автнонмных электростанций с помощью возобновляемой энергетики.
- 2. Проанализированы варианты построения гибридных систем электроснабжения на базе ВДЭС, определена перспективная структурная схема построения ветро-дизельного электроснабжения автономного потребителя.
- 3. Проведен анализ методов определения основных энергетических параметров систем автономного электроснабжения с использованием ВЭС: ветроэнергетического потенциала и нагрузки потребления, определяющих выбор основных компонентов изолированной энергетической системы. Разработаны математические модели и предложена методика определения вырабатываемой энергии ВЭС с учетом реальных характеристик ветродизельной установки, и универсальная методика определения нагрузки электропотребления.
- 4. Разработаны эффективные алгоритмы управления режимами работы ветро-дизельных электростанций для автономного электроснабжения, позволяющие: максимально использовать потенциал ветра; обеспечить наиболее экономичный режим работы ДЭС; повысить эксплуатационный ресурс оборудования.

5. Предложена автоматизированная методика выбора компонентов децентрализованной ветро-дизельной системы электроснабжения, расчета основных показателей экономической эффективности применения ВДЭС.

# Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

- 1. Хошнау 3. П. Пути повышения энергоэффективности автономных ветроэлектростанций // Материалы Всероссийской научнотехнической конференции "Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования" Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 351с.
- 2. Обухов С.Г., Сурков M.A., Хошнау 3.П. Методика выбора мощности ветроэнергетических установок малой // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. -2011 - №2 - C. 25 - 30.
- 3. Хошнау З.П. Методика выбора ветроэлектростанции по функции распределения вейбулла и определение экономической эффективности инвестиционного проекта // Сборник трудов международной научнотехнической конференции "IV чтения Ш. Шокина" І том Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2010. 284 с.
- 4. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шутов Е.А., Хошнау З.П. Обоснование применения буферных накопителей энергии для повышения энергоэффективности ветро-дизельных электростанций // Электричество, 2012. − № 6 − С. 24 − 29.
- 5. Обухов С.Г., Хошнау З.П. Прогнозирование режимов потребления электрической энергии автономными энергетическими системами // Промышленная энергетика. (в печати).