

На правах рукописи

КИУШКИНА ВIOЛЕТТА РАФИК-ГЫЗЫ

**ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ РАЙОНОВ
ЯКУТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЕТРА**

Специальность 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Томск – 2005

Работа выполнена в Нерюнгринском техническом институте (филиале) Якутского государственного университета и Томском политехническом университете

Научный руководитель: – доктор технических наук, профессор
Лукутин Борис Владимирович

Официальные оппоненты: – доктор технических наук
Литвак Валерий Владимирович
– кандидат технических наук, доцент
Кладиев Сергей Николаевич

Ведущая организация: ОАО АК «Якутскэнерго», г.Якутск РС (Якутия).

Защита диссертации состоится «14» декабря 2005 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета К212.269.03 в 217 аудитории 8 корпуса Томского политехнического университета (634034, г. Томск, пр. Ленина, 30, ТПУ)

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ТПУ

Автореферат диссертации разослан «__» ноября 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент _____ Ю.Н. Дементьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На сегодняшний день 60% территории и 30% населения республики Саха (Якутия) остаются вне зон централизованного электроснабжения. Основными проблемами энергоснабжения децентрализованных потребителей являются недопустимый износ основных производственных фондов и энергетических объектов, определяющий их неудовлетворительное техническое состояние, низкую экономичность (удельный расход топлива на производство на дизельных электростанциях в отдельных пунктах достигает 500-600 г у.т./кВт·ч при КПД 20-25 %), что приводит к недостаточной надежности энергоснабжения и неоправданно высоким финансовым затратам; дальность, многозвенность и ограниченность процесса сезонного завоза топлива в труднодоступные районы, приводящие к высоким потерям и многократному его удорожанию.

Наличие большого количества рассредоточенных потребителей, электроснабжение которых может осуществляться только от автономных энергоисточников, и наличие множества негативных факторов в существующих зонах децентрализованного энергообеспечения требует решения актуальных вопросов развития и совершенствования децентрализованных зон. Очевидным путем повышения энергоэффективности таких зон является максимальное использование местных возобновляемых энергоресурсов.

Внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергобаланс республики, при разумном использовании, позволит частично или полностью заменить существующие на сегодняшний день автономные дизельные энергосистемы (с износом 70-80 %), добиться экономии дорогостоящего для республики топлива и обеспечить устойчивое, соответствующее современным, принятым в аналогичных климатических условиях уровням, электроснабжения населения и производства в зонах децентрализованного электроснабжения (преимущественно предприятия сельскохозяйственного, горнодобывающего и сырьевого использования – оленеводство, пушное звероводство, животноводство, промысел, рыболовство, очаговое земледелие, лесозаготовки и деревообработка, добыча руды, драгметаллов, топлива и т.д.). Из всего многообразия ВИЭ в республике по запасам, доступности, экологичности и масштабам использования в районах Якутии приоритетными являются энергия потоков воды и ветра, но использование установок для кочующих народов и особенности климатических условий республики определяет преимущества энергии ветра. Данное решение проблемы децентрализованного потребителя требует проведения ресурсных, технико-экономических, экологических и других исследований целесообразности и масштабов внедрения возобновляемой энергетики в систему электроснабжения республики.

Цель работы. Исследование системы децентрализованного электроснабжения районов Якутии и разработка рекомендаций по повышению ее энергоэффективности путем вовлечения в энергобаланс республики ветроэнергетического потенциала территории.

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

- проведен анализ структуры системы электроснабжения потребителей Якутии;
- показана роль, состояние и задачи развития децентрализованных зон электроснабжения районов республики;
- проведено исследование потенциала возобновляемых энергоресурсов территории Якутии и определены виды ВИЭ, целесообразные для приоритетного использования на территории республики, в целях производства электроэнергии;
- показана целесообразность первоочередного внедрения малых ветроэлектростанций в децентрализованных зонах электроснабжения потребителей;
- рассмотрены варианты построения автономных систем электроснабжения (АСЭС) с участием ветроэнергетических установок (ВЭУ) для децентрализованных потребителей;
- определены технические характеристики комбинированных АСЭС в широком диапазоне определяющих факторов (ветровые условия, характеристика потребителя);

- сформулированы региональные требования к ветроэлектростанциям (ВЭС) и проведена оценка масштабов их применения на территории Якутии;
- разработаны математические модели технико-экономических характеристик ВЭС с учетом региональных особенностей эксплуатации и прикладные программы, позволяющие оценивать их энергоэффективность;
- разработаны математические модели экономической эффективности внедрения ВЭС в децентрализованные системы электроснабжения, на основании которых определены условия целесообразности вовлечения ВЭС в энергобаланс децентрализованной системы электроснабжения;
- сформулированы предложения по коррекции топливно-энергетического баланса децентрализованных зон электроснабжения республики путем использования ветроэнергетического потенциала.

Предмет исследования. Повышение энергоэффективности децентрализованного электроснабжения районов Якутии с помощью ветроэлектростанций.

Объект исследования. Комплекс локальных систем электроснабжения районов Якутии с учетом технических, климатических, географических, инфраструктурных, социальных, экономических условий и энергетического потенциала ВИЭ территории.

Методы исследования. В диссертационной работе применены: методы компьютерной обработки массивов информации; методы расчета систем электроснабжения; методы структурного анализа комплекса систем децентрализованного электроснабжения; методики расчетов экономической эффективности ветроэнергетических объектов; численные методы расчетов исследуемых зависимостей; методы математической статистики и теории вероятности; методы многофакторного и кластерного анализа совокупности показателей; математическое моделирование технико-экономических показателей АСЭС.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Выявлены региональные особенности топливно- и энергоснабжения малых децентрализованных потребителей республики Саха (Якутия), отраженные в построенной карте схеме децентрализованных зон;
2. Определены районы республики целесообразные для практического использования ветроэнергоресурсов в децентрализованных системах электроснабжения;
3. Разработана методика выбора вариантов автономных систем электроснабжения и оценки их энергоэффективности;
4. Разработаны математические модели технико-экономических характеристик децентрализованных систем электроснабжения с участием ВЭУ, осуществляющие рациональный выбор их параметров.

Практическая ценность работы:

1. Определены ветропотенциальные зоны территории, предложен целесообразный объем первоочередного вовлечения ВЭУ в энергобаланс децентрализованных зон.
2. Разработаны технические решения использования ВЭУ для повышения энергоэффективности децентрализованных районов Якутии;
3. Предложены рекомендации по осуществлению выбора ВЭУ следующей установленной мощности, в зависимости от характера потребления электроэнергии и района:
 - от 0,2 до 5 кВт в прибрежных районах республики;
 - от 0,2 до 10 кВт в северных районах республики в вариантах АСЭС – ВЭУ; ВЭУ+АБ; ВЭУ+АБ+БЭС (АБ – аккумуляторная батарея, БЭС – бензоэлектростанция);
 - от 0,3 до 30 кВт в низкопотенциальных ветровых зонах в вариантах – ВЭУ; ВЭУ+АБ; ВЭУ+АБ+БЭС, ВЭУ+ДЭС (дизельная электростанция).
4. Разработана методика построения вариантов автономных электротехнических комплексов децентрализованного электроснабжения изолированных потребителей, реализованная в виде пакета прикладных программ.

Реализация результатов работы. Результаты работы использованы при подготовке планов внедрения ВЭУ малой мощности в улусах республики по соглашению РМЗ ОАО ХК «Якутуголь» (г. Нерюнгри) – Сельхозэнерго ОАО АК «Якутскэнерго» (г. Якутск).

Результаты выполненной работы использованы в учебном процессе на кафедре ЭПиАПП ТИ (ф) ЯГУ: ведение факультативной дисциплины «Малая энергетика Севера» и дисциплин «Общая энергетика», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» для студентов инженерного факультета специальностей «Электропривод и автоматизация производственных процессов», «Электроснабжение», «Энергообеспечение предприятий»; при разработке методических рекомендаций для выполнения практических работ; разработке учебно-методического пособия.

На защиту выносятся научные положения:

1. Рациональность зонирования территории Якутии с учетом совокупности проблем децентрализованного электроснабжения и ветроэнергоресурсов.
2. Целесообразность внедрения вариантов АСЭС с участием ВЭС мощностью от 0,2 кВт до 30 кВт, обеспечивающая повышение энергоэффективности комплекса децентрализованной энергетики Якутии.
3. Модель совокупности факторов, влияющих на себестоимость электроэнергии, вырабатываемой ВЭУ, характеризующая условия оптимального построения вариантов АСЭС в децентрализованных зонах.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на Ученом Совете, заседаниях кафедры «Электропривод и автоматизация производственных процессов» и научных семинарах Технического института (филиала) ГОУ ВПО «Якутский государственный университет» (1999-2005 г.г.); на объединенном научном семинаре кафедр «Электроснабжение промышленных предприятий», «Электрические машины», «Электропривод и электрооборудование» Электротехнического института Томского политехнического университета (г. Томск, 2005 г.); на международной конференции «Физикотехнические проблемы Севера» (Якутск, 2000 г.); на региональных научно-практических конференциях молодых ученых, аспирантов и студентов (Нерюнгри, 2001-2005 гг.); на региональной научно-практической конференции «Вопросы экологии и охраны окружающей среды Дальнего Востока» (г. Комсомольск-на-Амуре, 2002 г.); на международной конференции «Электромеханические преобразователи энергии и управляемые электромеханические системы» (г. Екатеринбург, 2003г.); на международных научно-технических конференциях (г. Томск, 2003-2005 г.г.); на международной конференции «Пути и технологии экономии и повышения эффективности использования энергетических ресурсов региона» (г. Комсомольск-на-Амуре, 2003 г.); на 2-ой интеграции междисциплинарной конференции молодых ученых Сибирского Отделения РАН и высшей школы «Научные взгляды Сибири: взгляд в будущее» (г. Иркутск, 2003 г.); на международной научно-технической конференции «Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт» (г. Тольятти, 2004); на Республиканской научно-практической конференции (г.Нерюнгри, 2004 г.); на международных конференциях молодых ученых, аспирантов, студентов «Актуальные проблемы современной науки» (г. Самара, 2003-2005 гг.); в отделе энергетики ИФТПС ЯНЦ РАН г. Якутск, в Хотуэлектрпроект ГУП «Сахасельхозэнерго», (г. Якутск).

По результатам исследования выиграны гранты ректора ЯГУ для молодых ученых, аспирантов и студентов на 2003 и 2004 г.г.

Публикации. Основные положения и результаты выполненных исследований опубликованы в 21 печатной работе.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, содержащих 180 страниц основного текста, 3 приложений, 38 таблиц, 65 рисунков и списка литературы из 192 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проводимых исследований, сформулирована цель диссертационной работы, основные задачи, раскрыта научная новизна и практическая ценность исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, структура и объем работы.

В первой главе проведен анализ состояния и перспектив развития децентрализованного электроснабжения Якутии.

Анализ системы энергообеспечения республики позволил выделить три составляющие структуры электроэнергетики:

- централизованный энергорайон с крупными тепловыми электростанциями;
- децентрализованная зона с локальными ДЭС мощностью более 100 кВт;
- децентрализованная зона с малыми ДЭС мощностью до 100 кВт.

Исследование составляющих децентрализованной зоны определило существование перечня негативных факторов, влияющих на возможность обеспечения надежности электроснабжения потребителей. Анализ исследуемых зон показал нецелесообразность централизации децентрализованных районов при существовании большого числа рассредоточенных изолированных малых населенных пунктов с численностью от 3 до 100 человек.

Проведенная оценка ряда особенностей функционирования и развития энергетического хозяйства республики позволила определить энергоэффективность децентрализованной системы при существовании централизованной: удаленность и труднодоступность изолированных потребителей; значительная площадь обслуживания; низкая плотность населения в децентрализованной зоне; малая требуемая мощность энергоисточников при работе существующих с низким коэффициентов использования установленной мощности; аграрная специализация пунктов децентрализованных зон; отсутствие крупных промышленных потребителей; суровые климатические условия.

Специфика региональных особенностей автономных систем электроснабжения выявлена в следующих показателях: установленная и технически вырабатываемая мощность ДЭС, годовые эксплуатационные затраты ДЭС, себестоимость электроэнергии в сочетании с топливной составляющей, средний тариф реализации электроэнергии, отпускная стоимость горючесмазочных материалов (ГСМ) на пунктах потребления, годовой и удельный расход дизельного топлива.

Классификация существующих энергоустановок (табл.1) по исследуемым признакам реализована в построенной карте-схеме зонирования децентрализованных зон рис.1.

Таблица 1

Классификация дизельных электростанций (стоимостный показатель на 2001 г.)

Показатели	Мощность, кВт			
	<30	30 – 50	50 – 100	> 100
Расположение (районы)	преимущественно северные	западные, юго-центральные, северо-восточные	южные, северные, центральные	рассредоточены по всей территории
Количество	30	5	11	155
Стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч	4,05-8,16	3,33-5,98	3,33-7,43	3,86-8,34
Потребляемое топливо, г/кВт·ч	375-576	289-448,9	292-454,5	256-665
Принадлежность	улусы	«Сельхозэнерго», «Сахаэнерго», «Якутскэнерго»		

В первой децентрализованной зоне лежат наиболее удаленные потребители с высокими характеристическими показателями – все северные улусы.

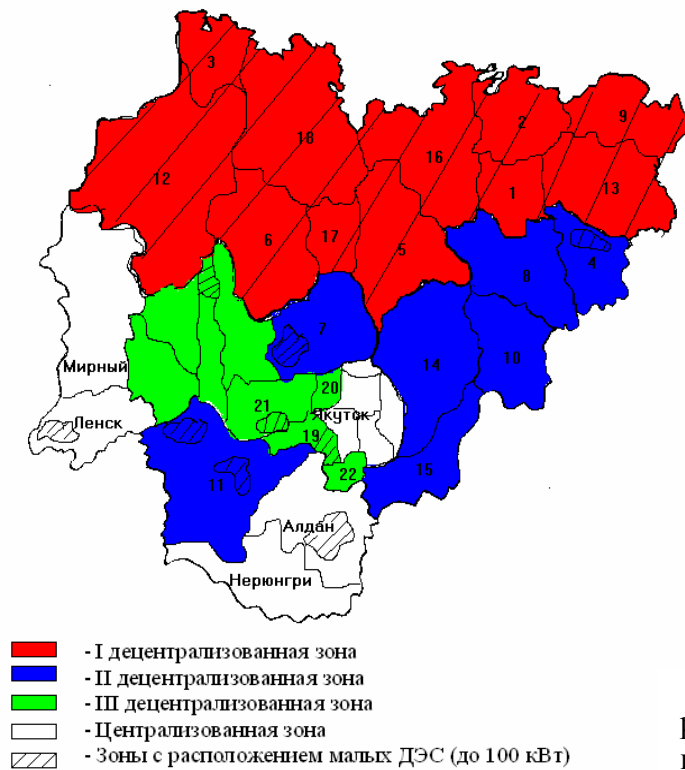


Рис.1. Зонирование территории республики

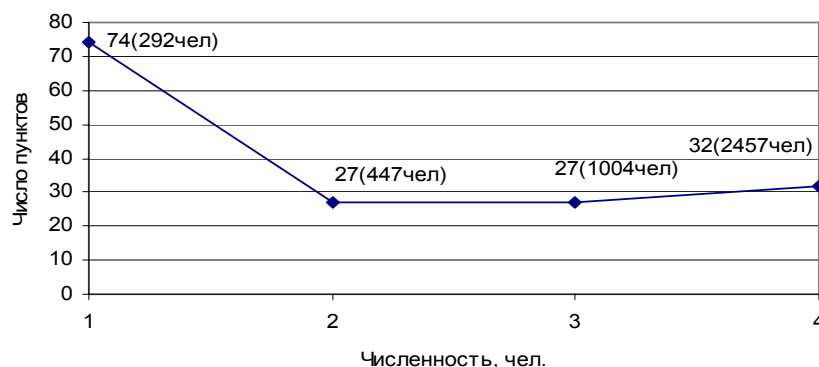


Рис. 2. Распределение с/н пунктов по числу жителей:

1-до 10; 2-от 11 до 25; 3-от 26 до 50; 4-от 51 до 100 чел.

- гелиоэнергетические ресурсы – ограничены продолжительностью дня, сезонностью в проблемных децентрализованных зонах, высоким стоимостным показателем энергоустановки и большим энергетическим потенциалом в основном в централизованной зоне республики;
- биоэнергетические ресурсы – использование биогаза крупного рогатого скота, фотосинтеза сельскохозяйственных культур имеет низкие показатели для энергетических целей, использование древесины является одним из перспективных видов данного направления, требующего технической проработки;
- гидроэнергетические ресурсы – наличие огромных запасов ограничивается северными климатическими условиями (ледовые явления, ледяные заторы), сезонностью использования малой длительности; условия благоприятствующие использованию потенциала характерны для районов централизованной и III децентрализованной зоны;

Основные потребители рассматриваемой системы – население малых сельских пунктов. Фактическая величина средней удельной мощности потребления электроэнергии в быту малых потребителей децентрализованных зон республики характеризуется значительным разбросом и изменяется в широких пределах (0,07–0,46 кВт/чел). Анализ совокупности расположения населенных пунктов, проблем электроснабжения, объемов и характера потребления электроэнергии, вида жизнедеятельности позволил сформировать выборку изолированных потребителей (160 пунктов представленного распределения рис.2, общей численностью 4200 чел.). Территории расположения таких потребителей, как исторически сложившийся фактор в своем большинстве находятся в I децентрализованной зоне.

Результаты исследования явились предпосылкой для поиска альтернативного существующему пути электроснабжения децентрализованных зон. Исследование потенциала возобновляемых энергоресурсов Якутии определило степень их возможного использования в энергобалансе на основании многих факторов:

- ветроэнергетические ресурсы – характеризуются высоким потенциалом в наиболее проблемных децентрализованных зонах (прибрежный район, I децентрализованная зона), энергоэффективны для использования во всей децентрализованной зоне республики по показателю среднегодовой скорости ветра, конкурентоспособны по стоимости электроэнергии с другими видами ВИЭ и традиционными автономными электростанциями с двигателями внутреннего сгорания.

На основе проведенного анализа возобновляемых энергоресурсов республики наиболее перспективным видом для приоритетного использования в автономном электроснабжении изолированных потребителей является ветер.

Во второй главе исследованы возможности децентрализованной ветроэнергетики в Якутии. Рассмотрены основные характеристики ветрового потенциала по сезонам и выявлен диапазон изменения средней годовой скорости ветра для большинства районов республики от 2,2 до 5,7 м/с. Анализ кадастра ветрового энергоресурса республики позволил получить следующие распределения:

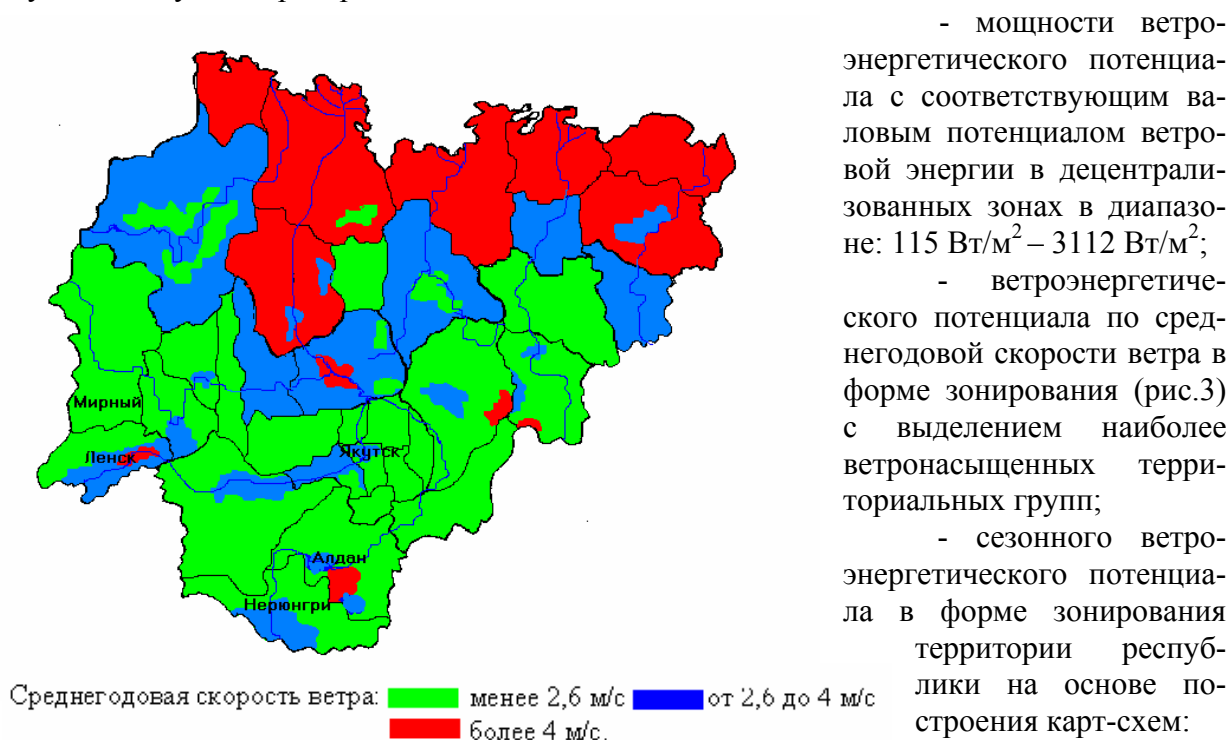


Рис.3. Зонирование территории по ветроэнергетическому потенциалу

зимний период (рис. 4а) – $142-603 \text{ Вт/м}^2$; весенний период (рис.4б) – $197-754 \text{ Вт/м}^2$; летний период (рис.4в) – $212-683 \text{ Вт/м}^2$; осенний период (рис.4г) – $170-730 \text{ Вт/м}^2$.

Произведенное распределение показателей скорости ветра характеризует перспективную возможность внедрения технического ресурса ветрового потока в энергобаланс I, II децентрализованных зон Якутии.

Для эффективной реализации ветрового потенциала проведена классификация современных ветроэнергетических установок с определением диапазона мощностных и рабочих характеристик, согласованных с ветровым кадастром исследуемых зон республики, показавшая: в I ветропотенциальной зоне могут получить распространение ВЭУ всех типов с начальной скоростью $V_{\min} = 5 \text{ м/с}$, высотой $h = 30-60 \text{ м}$, $V_{\text{ном}} = 10-12 \text{ м/с}$ и $N > 10 \text{ кВт}$ при $V_{\max} = 35-40 \text{ м/с}$; во II ветропотенциальной зоне могут быть размещены группы малых ВЭУ до 10 кВт с $V_{\min} = 2-3 \text{ м/с}$, высотой $h = 10-12 \text{ м}$, $V_{\text{ном}} = 7-8 \text{ м/с}$; в районах, где повышенные скорости ветра наблюдаются только в определенные сезоны, перспективны комбинированные системы с ДЭС.

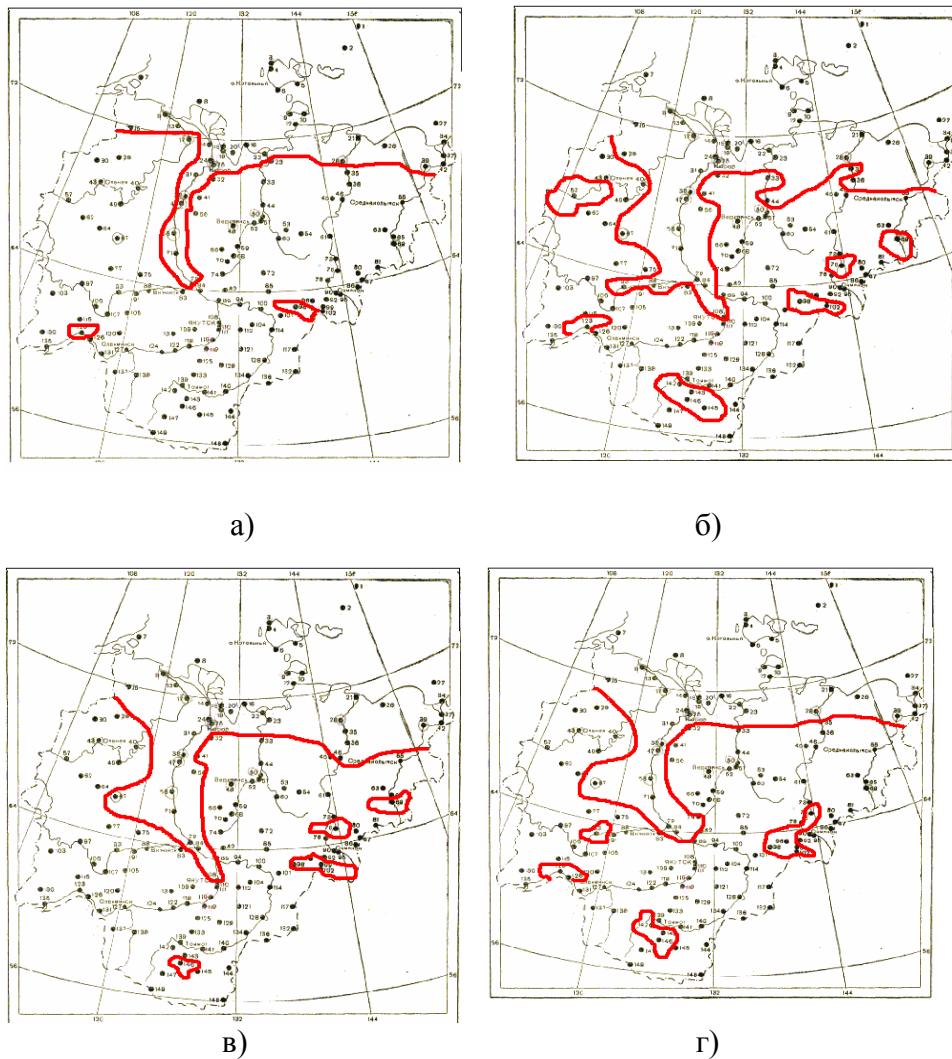


Рис.4. Карта-схема сезонного распределения удельной мощности ветрового потенциала

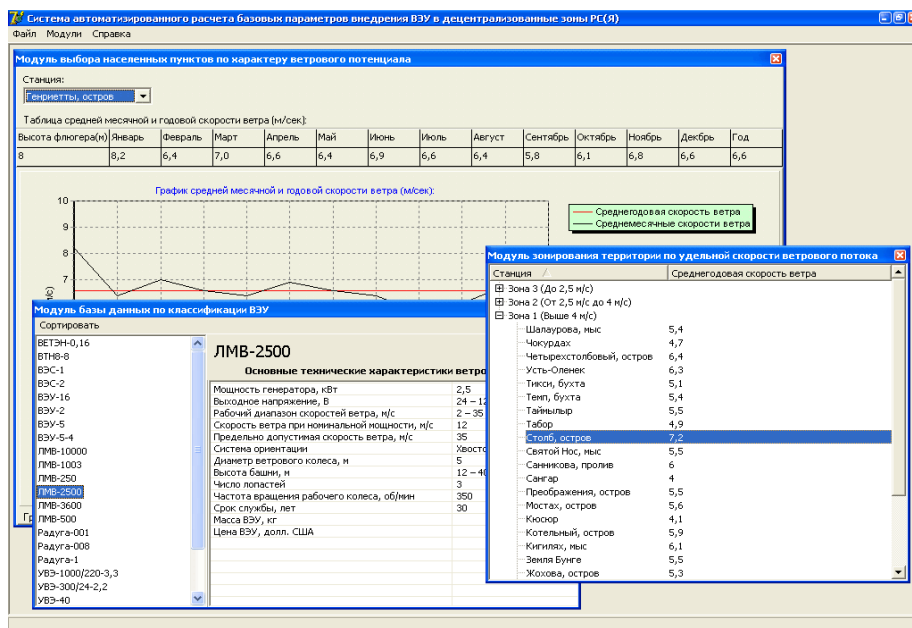


Рис. 5. Общий вид приложения и некоторых основных модулей.

Предложена методика выбора рассматриваемых типов ВЭУ, реализованная в виде комплекса программного обеспечения систематизации показателей ветрового потенциала

Расчеты показали, что выбор оптимальных типов ВЭУ для условий эксплуатации в Якутии наиболее эффективен из установок серии «ЛМВ», «Ветрозн», «Элмотрон», «УВЭ», «Радуга», «ВТН», «Жаворонок». При большом ветровом потенциале в I зоне с минимальной плотностью населения для внедрения целесообразны малые ВЭУ.

республики и технических характеристик установок, позволяющего производить сортировку составляющих баз данных (рис.5).

Расчет потенциальной выработки электроэнергии ветроэнергетическими установками различных типов выявил фактор обеспеченности рассматриваемой территории ресурсами ветра для энергетических целей (табл.2).

Таблица 2

Потенциальная годовая выработка ВЭУ в различных ветровых зонах, кВт·ч/год

Мощность ВЭУ, кВт	I – 3 группа	I – 2 группа	I,II – 1 группа
До 1	372 – 1 876	231 – 1 173	156 – 777
1	2 449 – 5 860	1 478 – 3 858	974 – 2 296
До 5	10 128 – 23 640	6 091 – 15 008	3 854 – 8 979
До 10	25 550 – 30 233	15 957 – 17 441	9 870 – 10 067
До 30	36 550 – 80 162	20 668 – 45 559	12 845 – 27 445

Возможность полного покрытия нагрузки потребителей ветроэлектростанциями может быть практически реализована в наиболее ветропотенциальных зонах (I ветропотенциальная зона – I децентрализованная зона) и пунктах децентрализованных зон с небольшой требуемой выработкой энергогенерирующих установок.

Проведено предварительное технико-экономическое обоснование, позволившее сделать вывод о конкурентоспособности ВЭУ в децентрализованных зонах с высокой топливной составляющей себестоимости электроэнергии, вырабатываемой существующими ДЭС.

В третьей главе диссертационной работы проведена оценка эффективности ВЭУ в энергетическом балансе децентрализованных зон Якутии. На первоначальном этапе исследуемые населенные пункты проранжированы (по численности и типу потребителя, виду и объему нагрузки) с целью выявления характерных электрических нагрузок. Рассмотрение графиков сезонного потребления электроэнергии в совокупности с производством электроэнергии ВЭУ позволило определить диапазон мощности установок в различных ветропотенциальных зонах для классификации потребителей (табл.3).

Таблица 3

Диапазон рекомендуемой мощности ВЭУ для объектов с максимумом электрической нагрузки Р кВт

Численность, чел.	3-10	3-10	3-10	11-25	26-50	50-100
Электропотребление, кВт·ч/год	378	1692	9054	19210,5	37872	86715
Зона-группа	P=0,2	P=1	P=3	P=5	P=10	P=27
$V_{min}=2-5$ м/с, $V_{ном}=7-12$ м/с						
I*	0,2-0,3	1	2,5-5	-**	-	-
$V_{min}=2-5$ м/с, $V_{ном}=7-10$ м/с						
I-3	0,3-0,5	1	2,5-5	5-10	8-10	10-30
$V_{min}=2-4,5$ м/с, $V_{ном}=6-10$ м/с						
I-2	0,5-1	1-2,5	3,6-5	8-10	8-10	10-30
$V_{min}=2-3$ м/с, $V_{ном}=5-7$ м/с						
I,II-1	1	1-2,5	3,6-10	10	10	30

Примечание. I* - прибрежные районы зоны; -** - отсутствие населенных пунктов с заданной нагрузкой

Полученный характер распределения выработки перспективных ВЭУ в прибрежных зонах для потребителей минимальных по численности пунктов и в летний сезон остальных зон является достаточным для покрытия объемов расчетного электропотребления. Возможный дефицит мощности ВЭУ определил варианты АСЭС для каждого типа рассматриваемого потребителя в различных ветровых зонах. Для зимне-осеннего и частично весеннего сезонов пиковые точки графиков электропотребления покрываются при участии АБ или ДЭС для пунктов классификации. АБ работает в смешанном режиме, переходящем с режима заряд-разряд в периоды отсутствия нагрузки или ветра, на режим постоянного подзаряда (буферный режим) при наличии ветра и нагрузки.

На основании проведенных расчетов потенциальная выработка ВЭУ предусматривает использование АБ большей емкости, энергия которой будет востребованной в часы энергосатиший. Неравномерное распределение потенциала ветрового потока в течение года приводит к варьированию емкости АБ. Расчет оптимальной емкости АБ для рассмотренных типов нагрузки и варианта электроснабжения ВЭУ+АБ основывался на соблюдении главного условия: ампер-часы разряда АБ должны быть меньше или равны ампер-часам заряда АБ. Необходимая энергоемкость АБ при разной степени обеспеченности энергоснабжения определялась путем составления баланса графиков суточного (в данном случае) поступления и потребления энергии в их наиболее неблагоприятном вероятностном сочетании (нагрузка потребителей, производство энергии ветра) с учетом допустимых величин глубины разряда и избыточного заряда аккумулятора.

Выбор определенной емкости АБ (рис.6) может снизить диапазон мощности выбираемой ВЭУ и соответственно отразиться на меньших капиталовложениях.

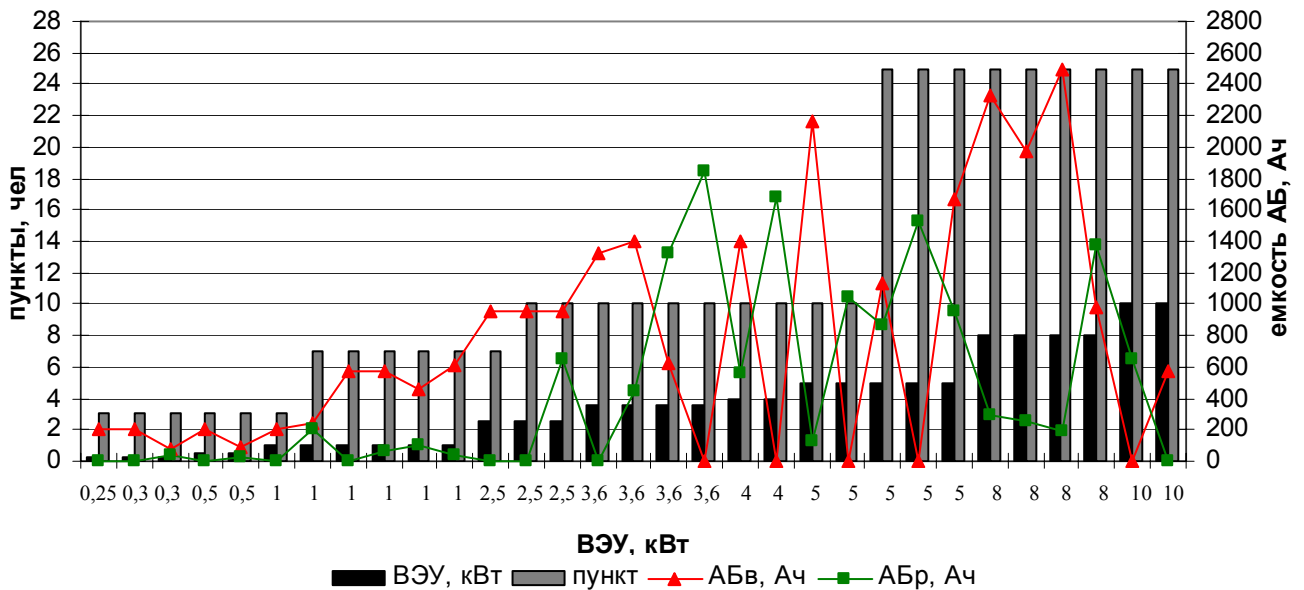


Рис. 6. Диаграмма выбора емкости АБ возможной по объему ветрового потенциала (АБв) и рекомендуемой по типу нагрузки потребителя (АБр) для рассматриваемых типов нагрузки

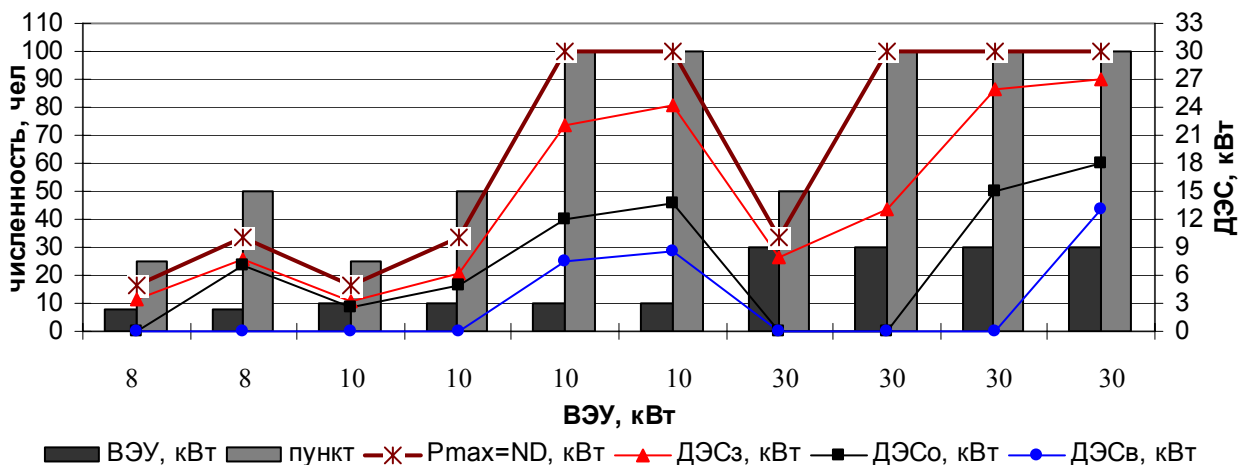


Рис. 7. Диаграмма использования мощности ДЭС для рассматриваемых типов нагрузки (при совместной работе с ВЭУ): ДЭСз — максимально необходимая мощность в зимний сезон; ДЭСо — осенний сезон; ДЭСв — весенний сезон.

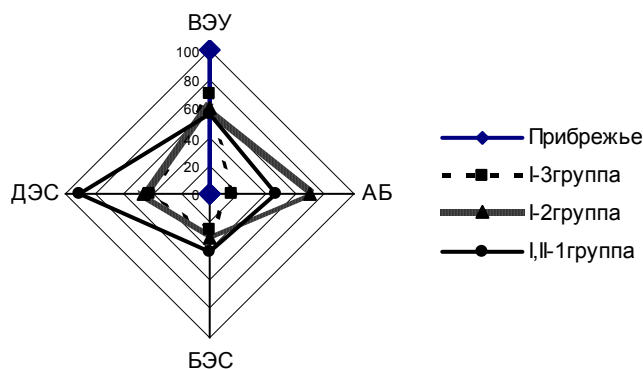


Рис. 8. Процентное распределение составляющих автономных систем электроснабжения изолированных потребителей.

Анализ произведенных расчетов показал целесообразность использования БЭС или ДЭС мощностью до 3 кВт в низкопотенциальных зонах для подзарядки АБ. Для пунктов численностью от 25-100 человек вариант АСЭС в низкопотенциальных зонах предусматривает совместную работу ВЭУ (10 кВт) + ДЭС (10;30 кВт) исключая летний период (рис.7), в высокопотенциальных зонах использование ДЭС как резервного источника электроэнергии.

Долю участия составляющих варианта АСЭС в выработке электроэнергии для различных типов нагрузки в ветропотенциальных зонах показывает диаграмма рис.8. Идеальный вариант электроснабжения потребителей от ВЭУ реализуется в прибрежных зонах, наиболее трудный вариант приходится в I,II зоне- 1 группе и в зимний период года практически во всех остальных зонах, так как в этот сезон года скорость ветра уменьшается на 30-40 %.

С учетом многообразия групп потребителей, экономических и технологических условий, вида топлива, энергоносителей и т.д. выбор оптимальной структуры варианта электроснабжения даже для одного объекта сопряжен с большим массивом сочетаний факторов.

В соответствии с этим, проведенные всесторонние исследования сведены к схеме рис. 9, позволяющей совместить исходные данные (характеристики зон и потребителей) с возможными вариантами АСЭС (ВЭУ; ВЭУ,АБ; ВЭУ,АБ,БЭС; ВЭУ,ДЭС; комбинированные варианты). Блок 1 предусматривает выбор вариантов АСЭС на основании критериев оптимизации: технические (установка оборудования, обслуживание, технические характеристики элементов комплекса), экономические (капиталовложения, затраты на эксплуатацию, себестоимость электроэнергии). Блок 2 – использование составляющих предложенных вариантов АСЭС в зависимости от сезона года. Схема представляет альтернативное использование вариантов комплекса для определенного потребителя в исследуемой ветровой зоне. То есть для одной группы потребителей, расположенной в зоне с характерными ветровыми условиями, может быть создан и введен в эксплуатацию автономный электротехнический комплекс, такой как, например ВЭУ установленной мощностью 10 кВт, либо ВЭУ (8 кВт) +АБ (емкостью 2500 А·ч в зимний сезон), либо ВЭУ (5 кВт) + АБ (1667 А·ч в осеннее-зимний сезон) + БЭС (мощностью 2 кВт для заряда АБ в зимний сезон).

В работе показана возможность варьирования технических характеристик ВЭУ, АБ, БЭС и ДЭС в различных вариантах в виде структурных схем составляющих элементов АСЭС. Возможность выбора структуры автономного электротехнического комплекса из предложенных вариантов может обеспечить эффективное функционирование системы в широком диапазоне внешних воздействий (объем нагрузки потребителя, показатель скорости ветра) и гарантированный минимум энергоснабжения населения и сельскохозяйственного производства. Технические данные элементов структурных схем, в зависимости от приведенных воздействий, показали, что для одного объекта может быть выбрана ВЭУ из широкого мощностного диапазона с различными показателями скорости трогания установки, как единственный источник электроэнергии, либо в комплексе с дополнитель-

ными источниками. Методом направленного перебора вариантов с различной структурой и соотношением энергоносителей может быть произведен поиск оптимального варианта АСЭС для децентрализованных пунктов.

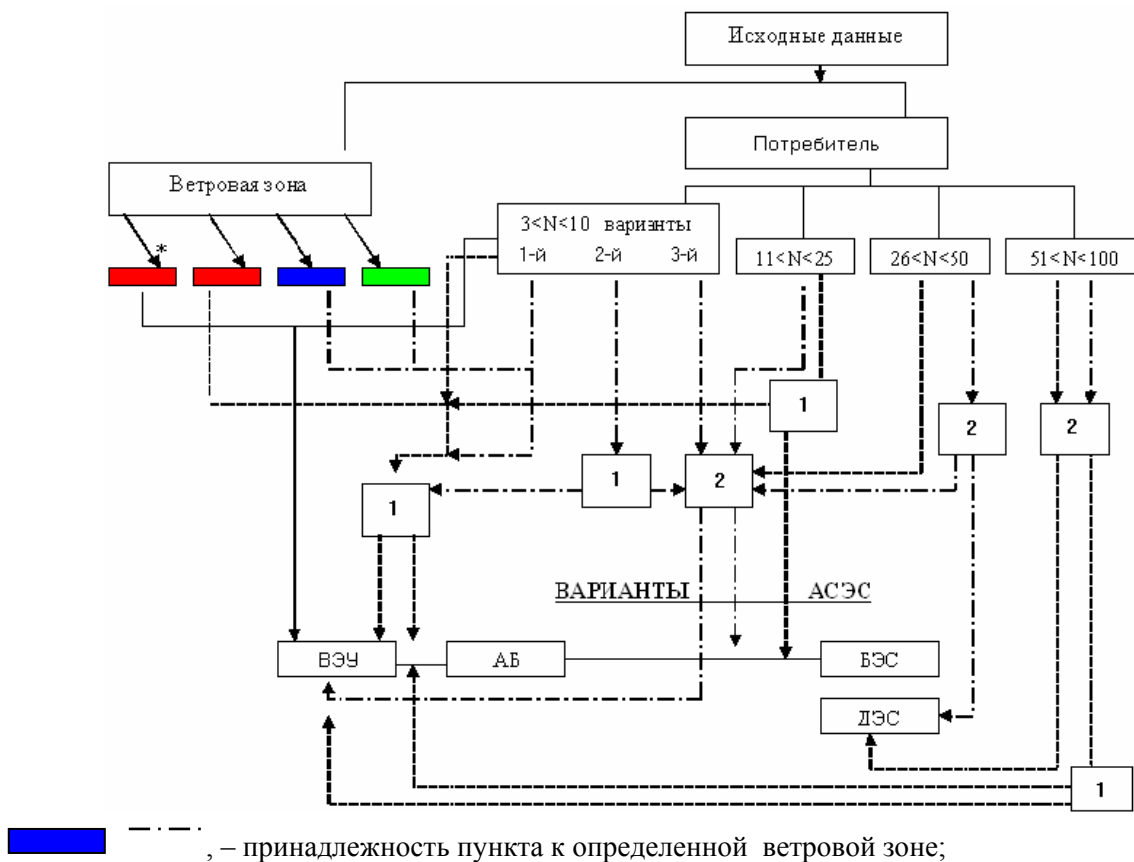


Рис. 9. Схема выбора вариантов АСЭС

Различные варианты систем электроснабжения требуют различных капитальных вложений в строительство установок. Для выбора перспективного, при соответствующих условиях, необходимо оценить экономический эффект от применения данных вариантов по сравнению с затратами на эксплуатацию ДЭС при существующих соотношениях цен на электроэнергию, топливо и оборудование.

Эффективность вовлечения автономных энергоисточников на базе ВИЭ в системы электроснабжения децентрализованных зон республики главным образом реализуется в окупаемости внедрения и дальнейшем сокращении северных дотаций за счет уменьшения объемов завозимого дизельного топлива.

Полученный ряд $\delta_{эi}$ распределения (1) возможных объемов экономии топлива (т.у.т./ t_1) в различных ветровых зонах описывался по методу наименьших квадратов. В качестве линии тренда, наилучшим образом аппроксимирующей полученные значения, использована линейная зависимость. Уравнения характеризуют потенциальный среднегодовой объем экономии топлива по усредненным данным определенного типа ВЭУ для индексов $i=1,2,3,4$ – прибрежная зона, I зона-3 группа, I зона-2 группа, I,II зона-1 группа соответственно, с оценкой погрешности σ . Каждому характеристическому уравнению соответствует диапазон ограничения мощности ВЭУ, перспективный к внедрению для соответствующего потребителя ветропотенциальной зоны. Полученная модель базируется на региональных особенностях ветрового потенциала и позволяет прогнозировать оценку экономической выгоды предлагаемого внедрения.

$$\begin{aligned}
\delta_{\mathcal{E}1} &= \left[-0,0138N_W + 0,0007N_W t_1 - 0,0029 \right] - N_D t_2 k \quad \sigma_1 = 0,015, \quad N_W = \overline{0,25; 5} \\
\delta_{\mathcal{E}2} &= \left[0,0011N_W + 0,0006N_W t_1 + 0,0006 \right] - N_D t_2 k \quad \sigma_2 = 0,0025, \quad N_W = \overline{0,25; 30} \\
\delta_{\mathcal{E}3} &= \left[0,0007N_W + 0,0007N_W t_1 + 0,0023 \right] - N_D t_2 k \quad \sigma_3 = 0,013, \quad N_W = \overline{0,3; 30} \\
\delta_{\mathcal{E}4} &= \left[0,0532N_W + 0,0006N_W t_1 + 0,0338 \right] - N_D t_2 k \quad \sigma_4 = 0,019, \quad N_W = \overline{0,5; 10}
\end{aligned} \quad (1)$$

где t_1, t_2 – число часов использования в год максимума мощности N_w, N_d соответственно источника ВЭУ или ДЭС в варианте АСЭС, k – коэффициент перевода между энергетическими единицами; δ_s – объем сэкономленного топлива альтернативных источников энергии, т.у.т.

В работе проведен поэтапный экономический анализ, необходимый для выбора оптимального комплекса АСЭС. Расчет капиталовложений в исследуемый объект на основании зависимости (2), позволяющей описывать изменения данного показателя (K , тыс. руб.), представлен в графической модели (рис.10).

$$K = 1,18K_W + K_{\mathcal{O}} + K_{\mathcal{S}} + t(m, s) + \Pi, \text{ тыс. руб.}, \quad (2)$$

где K_W – стоимость ВЭУ; $K_{\mathcal{O}}$ – стоимость дополнительных источников энергии (АБ, БЭС, ДЭС при наличии в варианте АСЭС); $K_{\mathcal{S}}$ – расходы на объем ГСМ для дополнительных источников энергии (стоимость, транспортировка); $t(m, s)$ – расходы по транспортировке составляющих АСЭС, зависящие от массы оборудования, m , и дальности поставки, s ; Π – прочие расходы (проектно-изыскательские, строительно-монтажные, пусконаладочные работы – предусматриваемые существующими нормативами, действующими на рассматриваемой территории).

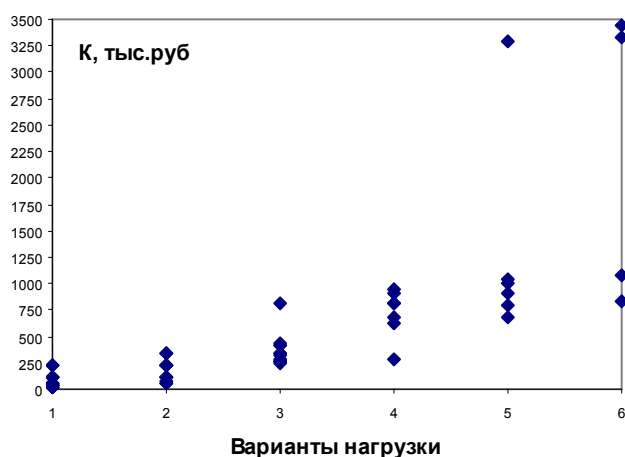


Рис.10. Объем капиталовложений в АСЭС различных потребителей: 1 – $3 < N < 10$ (вариант 1); 2 – $3 < N < 10$ (вариант 2); 3 – $3 < N < 10$ (вариант 3); 4 – $11 < N < 25$; 5 – $26 < N < 50$; 6 – $50 < N < 100$.

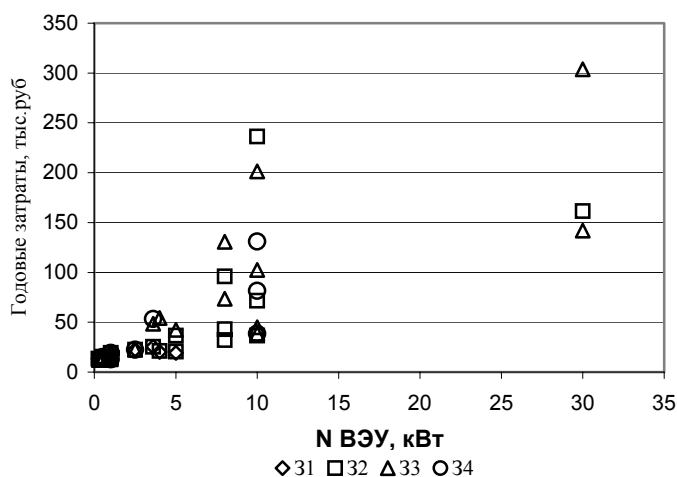


Рис.11. Годовые эксплуатационные затраты Z_i на варианты АСЭС в различных ветропотенциальных зонах

Расчетные затраты для ВЭУ включают в себя стоимость установки, укомплектованной регулятором напряжения, инвертором, аккумуляторной батареей (для «ЛМВ»).

Резкий скачок объемов капиталовложений для последних вариантов нагрузки обусловлен внедрением в низкопотенциальные зоны дорогостоящих комплексных установок и установок «ЛМВ», но перспективных по использованию коэффициента возрастания

средней скорости ветра с высотой. Варьирование показателя капиталовложений для одного класса ВЭУ обусловлено эксплуатацией в различных ветропотенциальных зонах при различных вариантах нагрузки, предполагающих необходимость присутствия топливной составляющей. Соответственно удовлетворительный для малых потребителей вариант АСЭС – ВЭУ характеризуется наименьшим объемом капиталовложений даже при высоком показателе дальности поставки.

Произведены расчетные исследования изменения годовых эксплуатационных затрат Z_i на различные варианты АСЭС, имеющих возрастающий характер в линейной зависимости от объемов капиталовложений, представленные на рис. 11. Полученные результаты в форме зависимостей усредненных затрат на приобретение, сооружение и эксплуатацию АСЭС для различных i -х ветропотенциальных зон республики от мощности аппроксимированы в виде полиномов (3).

$$\begin{aligned} Z_1(N_W) &= 9,984 + 7,848N_W - 1,191N_W^2, \quad \sigma_1 = 0,12; \\ Z_2(N_W) &= 20,242 - 8,906N_W + 2,409N_W^2 - 0,065N_W^3, \quad \sigma_2 = 0,55; \\ Z_3(N_W) &= 2,391 + 15,937N_W - 0,971N_W^2 + 0,022N_W^3, \quad \sigma_3 = 0,30; \\ Z_4(N_W) &= 4,874 + 12,751N_W - 0,479N_W^2, \quad \sigma_4 = 0,44; \end{aligned} \quad (3)$$

Полученные уравнения (1), (3) позволяют планировать и определять ограничения в выборе мощностного ряда ВЭУ при различной совокупности объемов производства и потребления электроэнергии в определенной ветропотенциальной зоне. Если в каждый момент времени мощностной показатель ВЭУ не обеспечивает максимум нагрузки потребителя, то затраты увеличиваются с ростом капиталовложений во введение и эксплуатацию ДЭС.

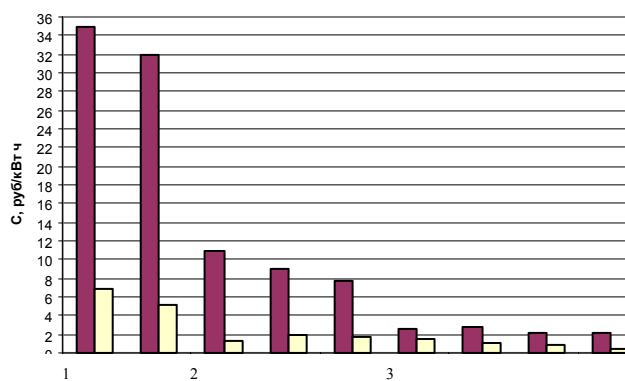
Расчеты основного показателя производства электроэнергии - себестоимости (C , руб/кВт·ч), для определенного варианта нагрузки, показали его варьирование в различных пределах, в зависимости от варианта АСЭС, что позволяет выбрать наиболее перспективные (рис. 12).

Сравнение расчетных данных вариантов автономных комплексов по окупаемости $T_{ок}$ и сроку службы $T_{сл}$ удовлетворяет неравенству $T_{сл} > T_{ок}$. Выполнимость данного условия соответствует положительному эффекту определения экономического потенциала ветровой энергии зон, рассматриваемых территорий, причем экономический эффект растет с увеличением срока службы установки.

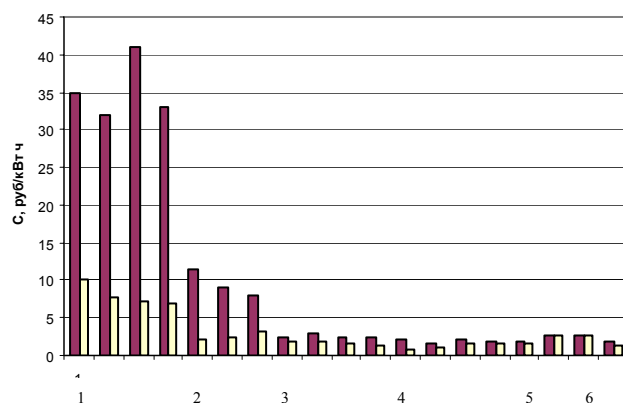
Модель общего (годового) экономического эффекта определена для совокупности наиболее значимых факторов (4)

$$ОЭЭ = 0,95Q_W\tau_p + Q_W\tau_\partial + C_{ГСМ}\delta_\partial \quad (4),$$

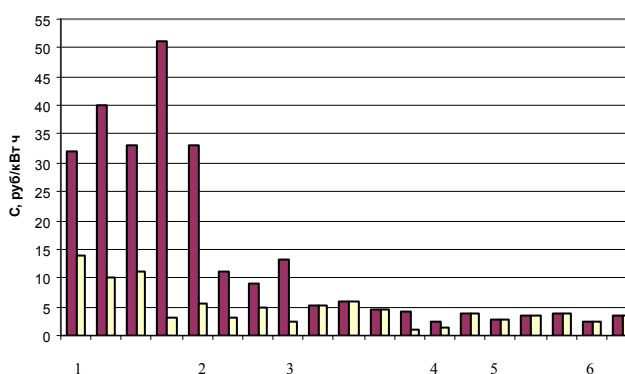
где $0,95Q_W\tau_p$ – годовой доход от реализации вырабатываемой электроэнергии, тыс. руб.; $Q_W\tau_\partial$ – объем сокращения бюджетных дотаций, тыс. руб.; $C_{ГСМ}\delta_\partial$ – объем стоимости экономии ГСМ, тыс. руб.; τ_p – тариф реализации электроэнергии; τ_∂ – дотации из бюджета на 1 кВт·ч для северных территорий республики; $C_{ГСМ}$ – стоимость ГСМ (дизельного топлива и масла) для конкретных децентрализованных зон, тыс. руб./тонну.



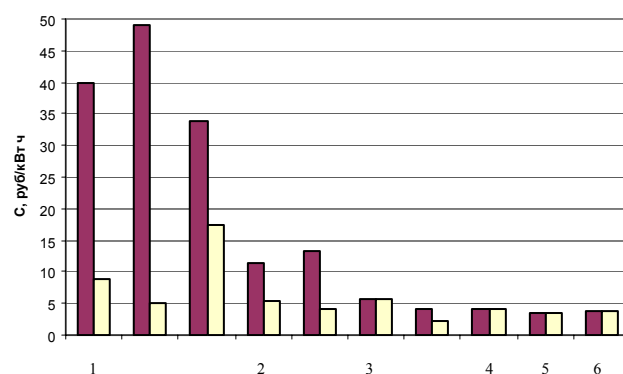
а) Прибрежная зона



б) I зона – 3 группа



в) I зона – 2 группа



г) I, II зона – 1 группа

Рис.12. Себестоимость электроэнергии для различных типов АЭС
при вариантах нагрузки: 1- 378; 2- 1692; 3- 9054; 4- 19210,5; 5- 37872; 6-86715 кВт·ч/год

Расчеты, проведенные для различных сочетаний факторов, влияющих на срок окупаемости вариантов АЭС, показали следующее: в прибрежной зоне приемлемый срок окупаемости (1,7–3 года) имеет место при удельных капиталовложениях 1700 долл./кВт и менее и числе часов использования установленной мощности 1300 и более в год; в I зоне-3 группе приемлемый срок окупаемости (1,5–3 года) имеет место при удельных капиталовложениях 2400 долл./кВт и менее и числе часов использования установленной мощности 1300 и более в год; в I зоне-2 группе приемлемый срок окупаемости (1,0–5,6 лет) имеет место при удельных капиталовложениях 3000 долл./кВт и менее и числе часов использования установленной мощности 1000 и более в год; в I,II зоне-1 группе приемлемый срок окупаемости (1,2–8,4 лет) имеет место при удельных капиталовложениях 6000 долл./кВт и менее и числе часов использования установленной мощности 1000 и более в год.

Для многих районов срок окупаемости сравнительно невелик (от двух до трех лет), для некоторых достигает большей величины. Если учесть немаловажный факт для бюджета республики - факт экономии дорогостоящего дизельного топлива и затраты на периодическую реновацию устаревшего дизельного оборудования, то ВЭУ являются практически единственным реализуемым способом обеспечения надежного электроснабжения. И в данном случае экономический эффект заключается в окупаемости новой системы за счет сокращения затрат на дизельное топливо, дотационные расходы по северным тарифам на электроэнергию и ремонт ДЭС.

Используя количественное распределение сельских населенных пунктов по числу жителей, соответственно по варианту нагрузки получена модель интегрального экономического эффекта (ИЭЭ) (5), устанавливающая взаимосвязь показателей, определяющих

возможность обеспечения эффективного вовлечения вариантов АСЭС в энергобаланс Якутии. Расчет ИЭЭ факторов ОЭЭ при функционировании n ВЭУ в выбранных вариантах АСЭС в различных зонах отражен графическим представлением рис.13, где m_i – количество пунктов в каждой ветропотенциальной зоне потребителей определенной типа. При конкретной привязке внедрения определенных вариантов АСЭС величину ИЭЭ всей рассматриваемой территории по всем зонам можно рассчитать более точно.

$$ИЭЭ = \sum_{i=1}^j m_i n ОЭЭ \quad (5)$$

Анализ показателей экономической эффективности ВЭУ в различных зонах в реальных случаях может выполняться в зависимости от значений КИУМ установок и региональной стоимости электроэнергии от установок на традиционном виде топлива C_m (долл./кВт·ч) при условии:

$$КИУМ \geq \frac{(1 + \gamma T_{сл}) C_W}{C_m T \cdot T_{сл}} = K_э, \quad (6)$$

где типичные величины: γ – значение нормы эксплуатационных издержек, 1/год; $K_э$ – коэффициент экономичности.

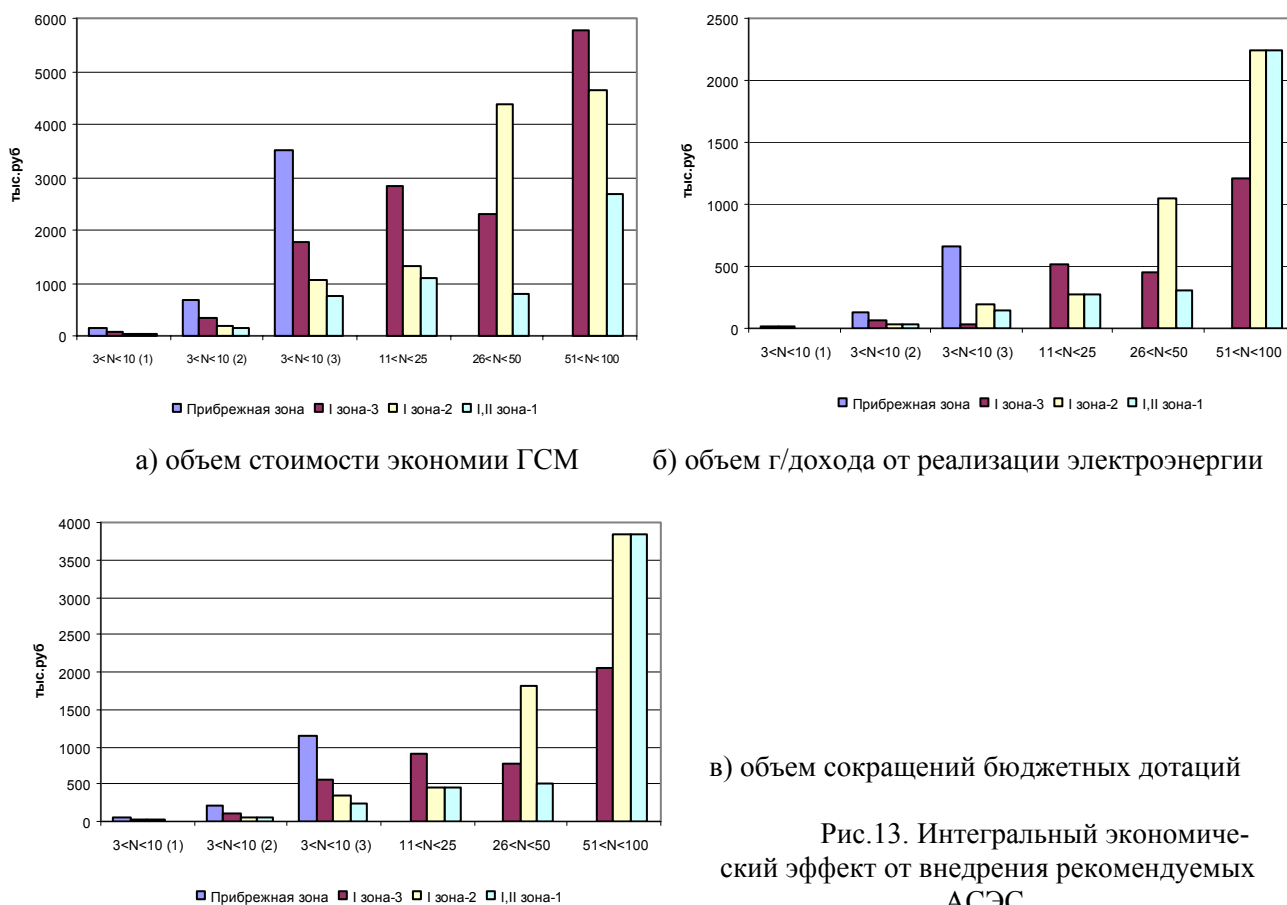


Рис.13. Интегральный экономический эффект от внедрения рекомендуемых АСЭС.

Произведенные расчеты коэффициента $K_э$ для выбранных вариантов АСЭС при $\gamma=0,05$, $C_W=1700$ долл./кВт, $C_m=0,50$ долл./кВт·ч, $10 \leq T_{сл} \leq 30$ и расчетном $0,1 \leq КИУМ \leq 0,90$ удовлетворяют условию (6) при исключении случаев, когда ВЭУ имеет

сезонное использование в комплексе с ДЭС. Характер распределения коэффициента K , (от 0,1 до 0,57), определяющего область экономической целесообразности использования установки, показывает экономическую обоснованность потенциальных доноров электроэнергии – ветропотенциальных зон региона. Экономический эффект внедрения ВЭУ в децентрализованные зоны Якутии, в первую очередь, можно определить вытеснением органического топлива альтернативных источников энергии.

Устойчивая тенденция роста стоимости электроэнергии от централизованных источников и стоимости строительства линий электропередачи повышает актуальность внедрения вариантов АСЭС с участием ветроэлектростанций.

Анализ полученных расчетных показателей, сведенный в построение математических моделей экономической эффективности внедрения различных вариантов АСЭС, при годовых затратах от 12,1 до 327 тыс.руб./год для различных типов ВЭУ показал: экономия топлива – 27-241 тонн/год; объем стоимости экономии ГСМ – 33,3-57,8 тыс. руб./год; годовой доход от реализации электроэнергии – 3,9-2243 тыс. руб./год; объем сокращений бюджетных дотаций – 10,3-3833 тыс.руб./год; себестоимость (при потенциальной/ полезной выработке) электроэнергии – (0,5-13,8)/(1,7-51) руб./кВт·ч; окупаемость внедрения вариантов АСЭС – 1-8,4 года. Полученный результат по себестоимости электроэнергии имеет широкий диапазон изменения. Данный показатель может быть оценен в зависимости от комплекса значимых факторов, что требует разработки математической модели.

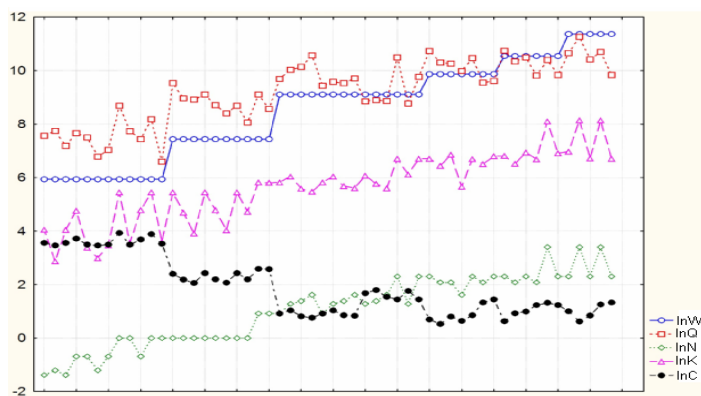


Рис. 14. График распределения факторов, влияющих на показатель себестоимости электроэнергии.

В четвертой главе диссертационной работы показаны перспективы автономных систем электроснабжения Якутии с участием ВЭУ. С целью оптимизации параметров таких систем и построения модели использован многофакторный анализ на основе множественной линейной регрессии. Регрессионный анализ показателей вариантов АСЭС основывался на факторах, влияющих на поведение исследуемого показателя – себестоимости электроэнергии, что подтверждается выявленной достаточно высокой

корреляционной связью.

Получена линейная модель (7) себестоимости электроэнергии в зависимости от наиболее значимых факторов (нагрузка потребителя, выработка и мощность ВЭУ, капиталовложения в АСЭС, срок службы),

$$C = -0,00000259W - 0,00029Q - 3,8877N + 0,03087K + 0,82787T_{сл} + 7,21255 \quad (7)$$

Отклонение данной функции в рассматриваемой области значений факторов потребовало получения уравнения регрессии более высокого порядка. Статистический анализ основывался на расчетных данных – значениях факторов, полученных в ходе исследования. Кластерный анализ факторов показал общую закономерность их изменения, что наблюдается по графику распределения (рис.14).

Полученные математические модели (8-9, 10-11), представленные в виде уравнений регрессии II порядка, отражают условие минимизации параметров себестоимости при рациональном изменении показателей факторов в своей области.

Реализация моделей осуществлена в виде диаграмм поверхностей зависимой переменной как функции факторов: модель $K = f(W, Q)$, $C = f(K, N)$ – соответствует полученной древовидной схеме кластерного анализа факторов (рис.15); модель $K = f(W, N)$, $C = f(K, Q)$ – численному моделированию варьирования значимых факторов (рис.16).

Модели конкретизированы для типовых населенных пунктов в трех ветропотенциальных зонах, относящихся к двум децентрализованным.

$$K = -0,44982W + 0,45643W^2 + 0,807729Q - 0,01645Q^2 \quad (8)$$

$$C = 0,763996K - 0,04877K^2 - 1,2421N + 0,179234N^2 \quad (9)$$

$$K = 1,05006W - 0,05489W^2 + 0,551475N + 0,104219N^2 \quad (10)$$

$$C = 1,9122Q - 0,1565Q^2 - 0,9783K + 0,097658K^2 \quad (11)$$

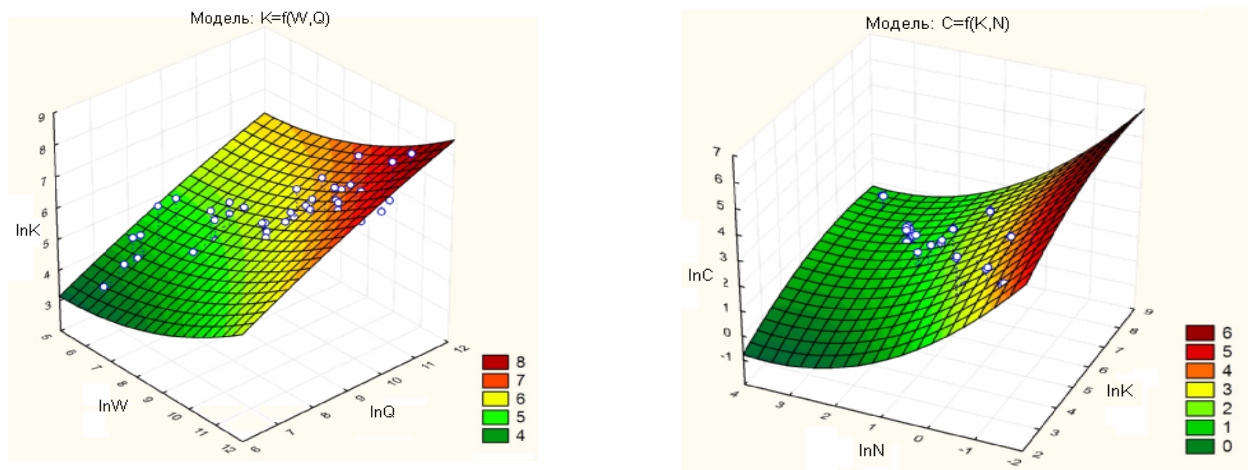


Рис.15. Модель капиталовложений (8) и себестоимости электроэнергии (9), вырабатываемой вариантом АСЭС

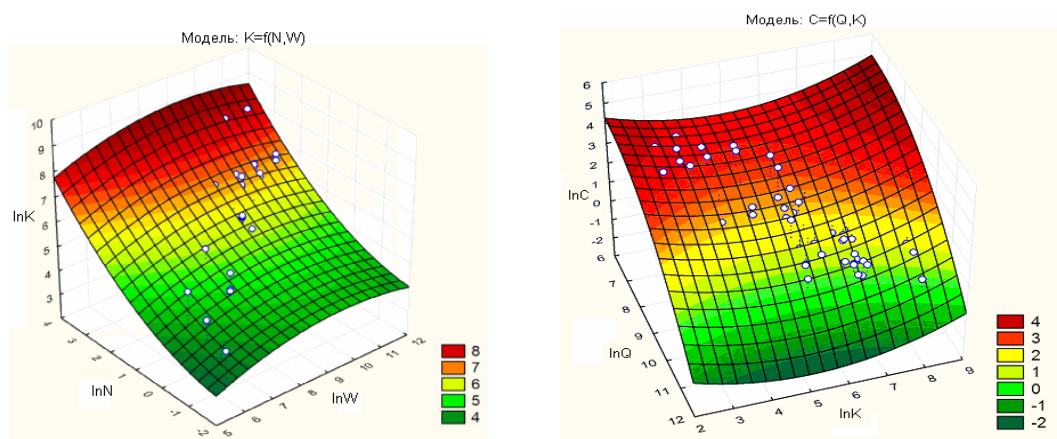


Рис.16. Модель капиталовложений (10) и себестоимости электроэнергии (11), вырабатываемой вариантом АСЭС

Разработанные модели экономической оценки вариантов АСЭС учитывают актуальные и наиболее перспективные задачи внедрения. Оценка полученных моделей показывает, что оптимальная ВЭУ в заданных условиях (в каждой ветропотенциальной зоне для потребителей заданного варианта нагрузки) должна обеспечивать минимальную величину расчетных затрат ($C \rightarrow \min$) при одинаковом удовлетворении потребителя энергией. Предложена методика, которая позволила разработать алгоритм программы исследований по внедрению ВЭУ в малую энергетику Якутии, представленный в виде схемы рис.17, где блок «Выбор варианта АСЭС» в развернутом виде иллюстрируется схемой рис.9.

Логика выбора вариантов АСЭС осуществляется взаимодействием оператор–ПВЭМ, определяемым следующим алгоритмом: ввод системы условных ограничений – автоматизированная составляющая комплекса по систематизации и сортировке баз дан-

ных – тестирование и обработка информации оператором – автоматизированная составляющая комплекса по экономической эффективности.

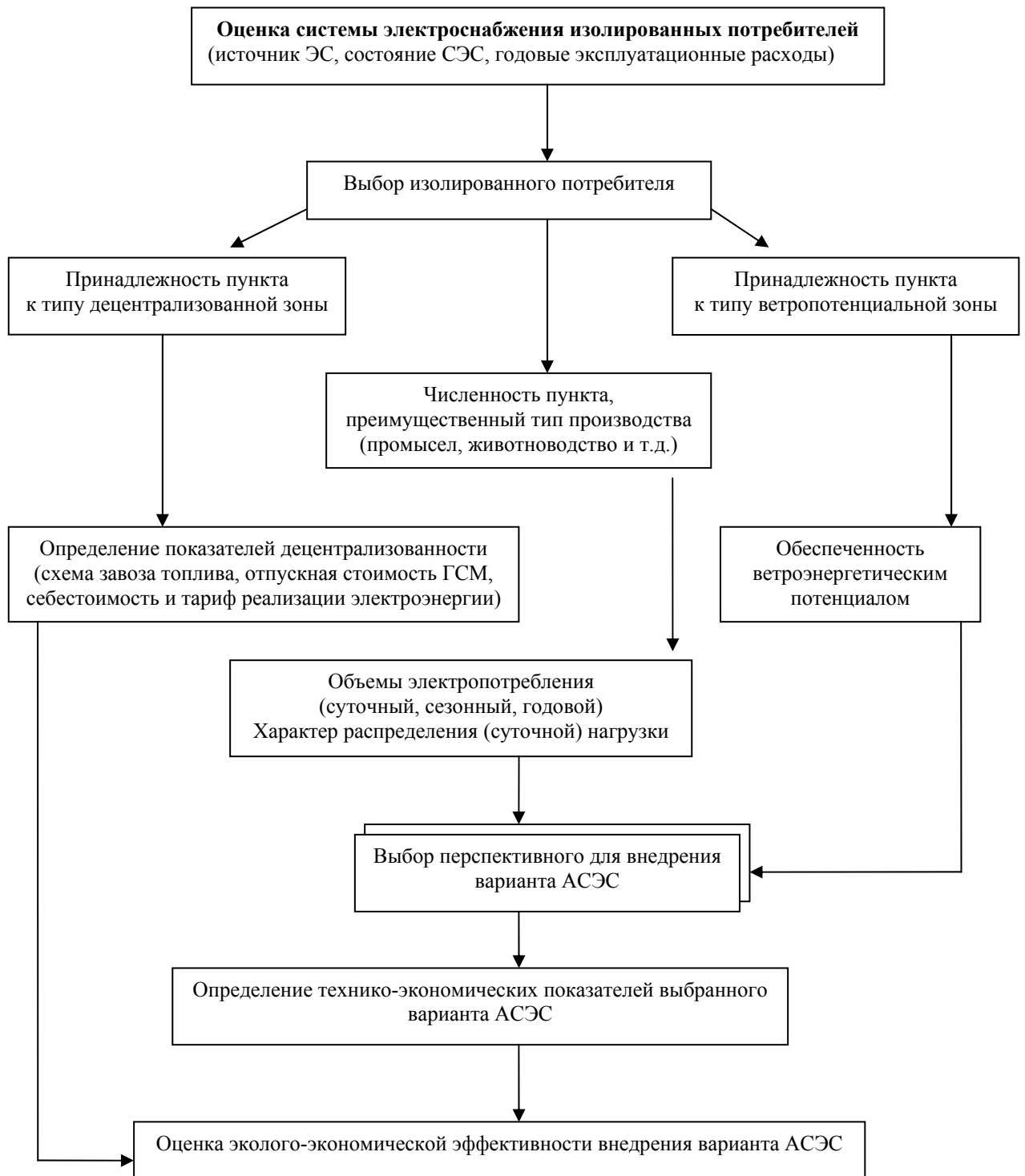


рис. 17. Схема комплекса внедрения варианта АСЭС.

Определены направления и пути повышения эффективности децентрализованного электроснабжения с участием ВЭС, разработаны рекомендации по условиям целесообразности их внедрения в децентрализованные районы республики: среднегодовая скорость ветра более 3,5 м/с; по экономическому эффекту: численность населения в пунктах более 10 чел; максимум нагрузки 10-15 кВт; электропотребление 9-90 тыс. кВтч/год; по социальному эффекту (обеспечение электроснабжения): численность населения в пунктах до 10 человек с перспективным улучшением жилищно-коммунальных условий с соответст-

вующим увеличением объемов электропотребления. Таким образом, проведенные исследования позволяют определить эффективные пути совершенствования децентрализованного электроснабжения при развитии ВИЭ, являющегося одной из важнейших составляющих долгосрочного, устойчивого развития республики и обеспечения ее энергобезопасности.

Заключение.

Результаты проведенных в диссертационной работе исследований, направленных на повышение энергоэффективности системы децентрализованного электроснабжения районов Якутии, заключаются в следующем:

1. Проведен всесторонний анализ составляющих структуры электроэнергетики Якутии, включающих централизованный энергорайон и децентрализованные зоны. Показано, что особенности функционирования децентрализованного энергетического хозяйства республики характеризуются негативными факторами, влияющими на надежность электроснабжения потребителей; низкими техническими показателями и экономическими характеристиками энергоисточников; низкой энергоэффективностью для малых рассредоточенных потребителей при существовании централизованной;

2. Проведен детальный анализ кадастра ветрового энергоресурса республики и предложены карты-схемы по распределению сезонного и годового потенциала с выделением наиболее ветронасыщенных территориальных групп. Получено зонирование территории по совокупности факторов проблем децентрализованного электроснабжения (себестоимости электроэнергии, стоимости топлива и т.д.) и ветрового потенциала, показавшее возможность повышения энергоэффективности комплекса децентрализованной энергетики Якутии при внедрении малых ветроэлектростанций.

3. Проведен выбор оптимальных параметров ВЭУ (диапазона рабочих скоростей ветра, высоты мачты, мощности) для различных ветровых условий и характеристик нагрузки. Для поставленных задач определены типы вариантов автономных систем электроснабжения с различной структурой и соотношением энергоносителей (ВЭУ; ВЭУ+АБ; ВЭУ+АБ+БЭС; ВЭУ+ДЭС). Предложена схема выбора вариантов и этапов внедрения вариантов АСЭС с приведением технических характеристик составляющих и учетом специфики региона – Якутии.

4. Рассчитаны показатели экономической эффективности создания электротехнического комплекса децентрализованного электроснабжения Якутии на базе ВЭУ на основе оценки:

- величины интегрально-экономического эффекта на перспективной основе замещения дорогостоящего топлива и сокращения бюджетных дотационных расходов на энергообеспечение северных потребителей;

- стоимости электроэнергии, полученной от ВЭУ и различных комбинированных вариантов с дополнительными источниками энергии;

- периода окупаемости, внедряемой системы.

5. Сформулированы условия перспективного внедрения вариантов автономного электротехнического комплекса на основе полученных математических моделей себестоимости электроэнергии, вырабатываемой ВЭУ. На основе полученных исследований показана экономическая эффективность первоочередного внедрения 24 ветроэнергетических установок в децентрализованные зоны Якутии. Согласно проведенным экономическим оценкам, планируемое получение интегрального экономического эффекта по критериям: объем экономии топлива – 227,75 т.у.т. (стоимостью 3622,32 тыс.руб.); объем экономии бюджетных дотаций – 1487,09 т.руб./год; срок окупаемости – 3-4 года; себестоимость вырабатываемой энергии – 1,69-2,73 руб./кВтч.

6. Разработано программное обеспечение систематизации показателей ветрового потенциала республики и технических характеристик ВЭУ, позволяющее производить сортировку составляющих, баз данных, для предварительного выбора типа установки.

7. Результаты исследований использованы в проекте внедрения малых ВЭУ для индивидуальных потребителей децентрализованного района республики и отражены в акте внедрения.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Киушкина В.Р., Зенков Д.Ф. Вопросы разработки ветровых движителей. // Материалы международной научно-технической конференции «Физико-технические проблемы Севера», посвященной 30-летию Института физико-технических проблем Севера и 10-летию Института неметаллических материалов. Якутск, 2000 г. - С 71–82
2. Киушкина В.Р., Зенков Д.Ф. Проблемы и вопросы по созданию автономных энергоустановок малой мощности. // Сборник научных трудов «Проблемы освоения и перспективы развития Южно-Якутского района». г. Нерюнгри-2001 г. - С 101–104
3. Киушкина В.Р. Использование энергии ветра для выработки электроэнергии в Якутии. // Материалы III городской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 10-летию Технического Института (филиала) Якутского государственного университета им. М.К.Аммосова, г. Нерюнгри-2002.- С.26-30.
4. Киушкина В.Р. Анализ эффективности использования ВЭС в районах Якутии. Материалы международной научно-технической конференции «Электроэнергетика, электротехнические системы и комплексы», посвященной 100-летию электротехнического образования Сибири. 3-5 сентября 2003 г., Томск: ТПУ 2003.-С. 233-236.
5. Киушкина В.Р. Анализ основных параметров ветроустановки для ветрового потенциала Якутии. // Труды 4-й Международной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов 10-12 сентября 2003 г. «Актуальные проблемы современной науки». Естественные науки. Части 12-16 «Электротехника, приборостроение, радиотехника и связь, энергетика, электроника». Самара, 2003.-С. 50-53
6. Киушкина В.Р. Зонирование территории республики с учетом ветроэнергетических ресурсов и проблем электроснабжения. Сборник трудов по материалам IV региональной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Нерюнгри, 2003.- С23-25.
7. Киушкина В.Р. Проблемы и перспективы децентрализованного электроснабжения районов республики Саха (Якутия). Труды 4-й Международной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов 10-12 сентября 2003 г. «Актуальные проблемы современной науки». Естественные науки. Части 12-16 «Электротехника, приборостроение, радиотехника и связь, энергетика, электроника». Самара, 2003.-С.47-50
8. Киушкина В.Р. Перспективность децентрализованной ветроэнергетики в Якутии. Материалы международной научно-технической конференции ЭЭЭ-2003 «Пути и технологии экономии и повышения эффективности использования энергетических ресурсов региона», посвященной 65-летию Хабаровского края. 23-27 сентября 2003. Часть 1 г. Комсомольск-на-Амуре 2003.-С. 42-44
9. Киушкина В.Р. Малая возобновляемая энергетика Якутии – еще один путь децентрализованного электроснабжения. Труды 2-й интеграции междисциплинарной конференции молодых ученых Сибирского Отделения РАН и высшей школы «Научные взгляды Сибири: взгляд в будущее», Иркутск, ИНЦ СО РАН, 6-10 октября 2003 г., Изд-во инст. геогр. СО РАН.
10. Киушкина В.Р. Энергосберегающий потенциал ветроэнергетики Якутии. Материалы международной конференции «Электромеханические и электромагнитные преобразователи энергии и управляемые электромеханические системы». Екатеринбург, 2003.- С.301-304.
11. Киушкина В.Р., Лукутин Б.В. Оценка возможности использования ветродизельной системы в удаленных районах Якутии. Материалы международной научно-технической конференции «Электроэнергия и будущее цивилизации», Томск: ТПУ 2004.-С. 98-100.
12. Киушкина В.Р., Лукутин Б.В. Выбор вариантов систем электроснабжения для малых потребителей Якутии. Сборник материалов II республиканской научно-практической

конференции «Пути решения актуальных проблем добычи и переработки полезных ископаемых Южной Якутии» // Инновационные аспекты освоения Южной Якутии. Нерюнгри, 2004.- Изд-во ЯГУ, 2005.-С 316-319.

13. Киушкина В.Р. Сергеев М.С. Система автоматизированного расчета базовых параметров программы внедрения ВЭС в децентрализованные зоны республики. Сборник трудов по материалам V региональной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Нерюнгри, 2004.- С26-29

14. Лукутин Б.В. Киушкина В.Р. Экологически чистый источник энергии для районов Якутии. Труды второй международной научно-технической конференции «Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт» Часть 1.Тобольск, 2004 (8-11 сентября).- С.261-253

15. Киушкина В.Р. Возможность децентрализованной ветроэнергетики Якутии на фоне проблем электроснабжения.// Журнал «Электрика».- 2004 .- №2.-С.6-12.

16. Киушкина В.Р. Сергеев М.С. Комплекс программного обеспечения систематизации показателей ветрового потенциала и технических характеристик ВЭУ. Труды 5-й Международной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Актуальные проблемы современной науки». Естественные науки. Части 14-17.«Электротехника, приборостроение, радиотехника и связь, энергетика, электроника». Самара, 2004.-С.76-78.

17. Киушкина В.Р., Старостина Л.В. Анализ и перспективы развития ТЭК республики. Сборник трудов по материалам IV региональной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Нерюнгри, 2004

18. Киушкина В.Р., Степанов А. Возобновляемый природный потенциал Республики Саха. Сборник трудов по материалам IV региональной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Нерюнгри, 2004

19. Киушкина В.Р. Буферное накопление энергии в системах автономного электроснабжения от ВЭУ. Сборник трудов по материалам VI региональной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Нерюнгри, 2005

20. Киушкина В.Р. Вариант автономного электроснабжения децентрализованных потребителей Якутии. Сборник трудов 1-го Международного форума «Актуальные проблемы современной науки». Естественные науки. Части 14-17.«Приборостроение, радиотехника и связь, энергетика, электроника». Самара, 2005.-С.47-50.

21. Киушкина В.Р., Лукутин Б.В. Исследование комплекса автономных систем электроснабжения с участием ВЭУ в децентрализованных зонах Якутии. Материалы международной научно-технической конференции «Электромеханические преобразователи энергии». 20-22 октября 2005 г., Томск: ТПУ 2005.

Личный вклад автора. 11 работ написаны автором единолично. В работах, написанных в соавторстве, автору принадлежат: расчет и построение кривых повторяемости и обеспеченности скоростей ветра, анализ ветроустановок малой мощности по конструктивному исполнению, постановка многовариантных проблем, связанных с использованием ВЭУ для групп потребителей малой мощности [1,2]; расчеты технических параметров составляющих АСЭС для произведенной классификации потребителей с характерными ветровыми условиями и графиками нагрузки [11,12]; разработка методики выбора ВЭУ, реализованной в комплексе программного обеспечения [13,16]; оценка экологической эффективности ветроэнергетики Якутии [14]; оценка состояния ТЭК республики [17], оценка потенциала ВПЭР Якутии [18], разработка схемы выбора вариантов АСЭС и расчет процентного распределения ее составляющих [21].