

*На правах рукописи*

**КОСЬЯНОВ Вадим Александрович**

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ, ОПТИМИЗАЦИЯ И  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО  
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ**

*Специальность 25.00.14 – Технология и техника  
геологоразведочных работ*

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук**

**МОСКВА  
2011**

Работа выполнена на кафедре Механизации, автоматизации и энергетики горных и геологоразведочных работ Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

**Научный консультант:** Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор,  
академик РАЕН  
**Лимитовский Александр Михайлович**

**Официальные оппоненты:** Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор,  
академик РАЕН  
**Калинин Анатолий Георгиевич**

Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор,  
академик РАЕН  
**Абрамович Борис Николаевич**

доктор технических наук, профессор,  
**Ляхомский Александр Валентинович**

**Ведущая организация:** ОАО «Тульское научно-исследовательское геологическое предприятие»

Защита состоится **«22» июня 2011 г. в 13<sup>00</sup>** часов ауд. **4-15<sup>A</sup>** на заседании диссертационного совета Д 212.121.05 при Российском государственном геологоразведочном университете.

Адрес: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета.

Автореферат разослан « 20 » мая 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук,  
советник РАЕН

Назаров А.П.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Одним из наиболее важных направлений повышения эффективности геологоразведочных работ является оптимизация и совершенствование их энергетической составляющей. Доля затрат на электро- и теплоснабжение технологических потребителей может превышать 50% от сметной стоимости всего объема проводимых геологических изысканий. Причем, около половины всей потребляемой энергии вырабатывается малоэффективными дизельными электростанциями, тепловые потери которых превышают 60%.

По данным Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) до 2030 года запланировано увеличение объемов бурения разведочных скважин на углеводороды, предусматривается расширение объемов бурения гидрогеологических и водозаборных скважин, а также намечено наращивание объемов бурения разведочных скважин на твердые полезные ископаемые, что еще в большей степени повышает значимость правильного обоснования оптимального энергообеспечения геологоразведочных предприятий.

Исходя из вышеизложенного, сегодня главным моментом, позволяющим решать проблемы энергетики локальных объектов, является изыскание путей наиболее эффективного использования энергоресурсов посредством применения экономически обоснованных технических решений. А это означает, в первую очередь - правильный выбор варианта энергоснабжения и его элементов, а также своевременный переход при необходимости к более экономичному варианту, применительно к изменяющимся условиям разведки.

Особенности производства геологоразведочных работ, вообще, и в современных условиях в частности, смена общественной формации и стратегии энергетического развития страны, повышение уровня различных достижений в вопросах энергоснабжения технологических потребителей предопределяет необходимость сконцентрировать исследования по энергоснабжению геологоразведочных работ по таким важнейшим направлениям как:

- оптимизация комплексного энергообеспечения объектов геологоразведочного профиля;
- обоснование области использования локальных энергоисточников в современных условиях;
- энергосбережение на основе использования вторичных и возобновляемых энергоресурсов;
- совершенствование энерготехнологических комплексов в части снижения энергозатрат.

Актуальным становится проведения исследований при комплексном подходе к вопросам энергоснабжения, обуславливающее рациональное использование энергетических ресурсов на основе уточнения имеющихся и разработки новых технических решений. Изменившиеся экономические условия требуют разработки новых научных принципов, на основе которых возможно создание оптимальных систем и комплексов энергоснабжения геологоразведочных работ.

Поэтому, проведение исследований с позиции комплексного подхода к вопросам оптимизации энергообеспечения технологических потребителей и

рационального использования имеющихся ресурсов, является актуальной проблемой, решение которой позволит повысить эффективность геологоразведочных работ и обеспечит укрепление минерально-сырьевой базы и безопасности страны.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности геологоразведочных работ на основе оптимизации и совершенствования системы комплексного энергообеспечения технологических потребителей.

**Идея работы** – разработка научных основ оптимизации и рекомендаций по совершенствованию систем энергообеспечения геологоразведочных работ посредством совместного решения вопросов электро- и теплоснабжения в современных условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить нижеследующие **основные задачи исследований.**

1. В области *оптимизации* систем комплексного энергообеспечения:

- анализ существующих систем энергоснабжения с установлением их основных классификационных признаков;
- разработка классификации систем комплексного энергообеспечения геологоразведочных работ;
- обоснование базовых вариантов комплексного энергообеспечения;
- разработка методических положений экономической оценки систем энергообеспечения технологических потребителей геологоразведочных работ;
- составление математических моделей затрат по базовым вариантам;
- обоснование нового технического критерия при выборе оптимального варианта;
- разработка методики технико-экономических расчетов по обоснованию оптимального варианта.

2. В области *теоретических* исследований по совершенствованию параметров систем энергообеспечения:

- исследования электрических и тепловых нагрузок технологических потребителей геологоразведочных работ;
- определение предельных расстояний передачи электрических и тепловых нагрузок от полустационарных энергетических комплексов;
- обоснование оптимальных параметров низковольтных распределительных электрических сетей технологических потребителей геологоразведочных работ;
- уточнение методики расчета проводов и обоснование их сортамента в линиях электропередач для геологоразведочных работ.

3. В области *экономии энергии*:

- снижение энергозатрат и повышение КПД энергоисточников за счет использования вторичных и возобновляемых энергоресурсов;

4. В области *совершенствования* систем комплексного энергообеспечения геологоразведочных работ:

- разработка энергосберегающих энерготехнологических комплексов бурения (ЭКТБ).

**Методы исследований.** Указанные задачи решались путем анализа экспериментальных и теоретических работ, проводимых в этой области, теоретических исследований с использованием современного экономического аппарата и методов математической статистики с последующей обработкой результатов исследований на ЭВМ с применением стандартных пакетов программ Excel, MathCAD.

#### **Научная новизна выполненной работы:**

- установлены основные классификационные признаки в структуре систем энергоснабжения геологоразведочных работ, положенные в основу разработки новой классификации, с помощью которой обоснованы базовые варианты комплексного энергоснабжения для их дальнейших технико-экономических исследований;

- получены зависимости величины приведенных затрат от технико-экономических факторов по базовым вариантам энергоснабжения;

- установлены основные закономерности изменения текущих затрат, что позволяет на основе финансовых потоков, изменяющихся во времени, выделить оптимальный в данный момент вариант энергоснабжения;

- установлены основные закономерности изменения коэффициента заполнения графика нагрузки, используемые для определения расхода теплоты при моделировании систем энергоснабжения геологоразведочных работ;

- получена зависимость площади экономически целесообразного сечения проводов распределительных линий электропередач от технико-экономических параметров системы энергоснабжения технологических потребителей геологоразведочных работ, позволившие разработать новый критерий оптимизации ее элементов;

- выявлены основные закономерности изменения стоимости одного километра распределительных линий электропередач от сечения проводов, числа опор и районного коэффициента, которые следует учитывать при математическом моделировании систем энергоснабжения;

- установлена зависимость предельного расстояния подключения потребителя к энергоисточнику от мощности, уровня напряжения и величины его допустимых потерь, что позволяет определить максимально допустимые расстояния передачи энергии без трансформации на генераторном напряжении;

- получена зависимость уровня напряжения на шинах энергоисточника от энергетических параметров (мощностей потребителей электроэнергии, расстояния их от энергоисточника, сечения используемых проводов) в целях обеспечения стандартного уровня напряжения на каждом из приемников и обозначения зоны возможного применения вольтодобавочных трансформаторов;

- выявлены основные соотношения изменения теплотребления в общем объеме энергопотребления буровой установки, оказывающие существенное влияние

на выбор оптимального варианта энергоснабжения технологических потребителей геологоразведочных работ;

- установлены основные закономерности изменения утилизированной теплоты от нагрузки дизель-агрегата и расхода теплоносителя, свидетельствующие о том, что получаемый тепловой поток полностью обеспечивает потребность буровой установки в необходимом количестве теплоты;

- получена расчетная зависимость определения предельного расстояния подключения к источнику централизованного энергоснабжения от технико-экономических параметров систем энергоснабжения, позволяющая установить область эффективного использования централизованного энергоснабжения;

- получены зависимости изменения величины предельного расстояния от электрической и тепловой нагрузки, стоимости электроэнергии и топлива, позволяющие прогнозировать изменение предельного расстояния при изменении указанных параметров.

### **Практическая значимость:**

- разработана методика технико-экономического обоснования оптимальной системы комплексного энергоснабжения технологических потребителей геологоразведочных работ в современных условиях, которая может быть использована при проектировании новых и реконструкции действующих предприятий геологоразведочного профиля;

- разработан энерготехнологический комплекс бурения (ЭТКБ), применение которого при бурении геологоразведочных скважин обеспечит минимальные энергозатраты при максимальных технологических преимуществах;

- предложен комплекс организационно-технических мероприятий по совершенствованию энергообеспечения геологоразведочных работ и повышению их эффективности;

- предложены расчетные зависимости для определения важнейших технических параметров систем энергообеспечения геологоразведочных работ;

- разработана методика выбора экономически целесообразного сечения проводов распределительных линий электропередач геологоразведочных работ, использование которой при проектировании сетей позволит минимизировать затраты на их строительство и эксплуатацию;

- предложена методика определения предельного расстояния подключения низковольтных технологических потребителей геологоразведочных работ, при заданной величине потерь напряжения;

- опубликован ряд учебных пособий по энергоснабжению геологоразведочных работ с использованием вышеизложенных научно-методических разработок, которые используются при чтении курсов «Электрооборудование и электроснабжение геологоразведочных работ», «Экономия топливно-энергетических ресурсов при ведении геологоразведочных работ».

**Апробация работы.** Основные положения диссертации обсуждались на международных научных конференциях «Новые идеи в науках о Земле», «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных

ископаемых», "Наука и новейшие технологии при освоении месторождений полезных ископаемых» (г.Москва, МГГА - РГГРУ, 2001 - 2011г.г.), «Будущее технической науки» (Н.Новгород, НГТУ, 2011), а также в рамках работы энергетической комиссии РАЕН.

**Публикации.** Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 42 печатной работе, в том числе в двух монографиях, 12 работ по теме диссертации опубликованы в перечне научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения, изложенных на 220 страницах машинописного текста, списка литературы из 171 наименования, содержит 33 рисунков, 8 таблиц и 3 приложения.

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, методы исследований, показана научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** проводится анализ научных работ отечественных и зарубежных исследователей работавших в этом направлении, выполнен анализ и рассмотрены особенности производства геологоразведочных работ, вообще, и в современных условиях в частности, определены важнейшие направления их оптимизации и совершенствования.

**Во второй главе** установлены классификационные признаки и разработана классификация комплексного энергообеспечения технологических потребителей при ведении геологоразведочных работ на основе, которой выделены основные базовые системы, получены их математические модели, позволяющие осуществлять технико-экономическое сравнение возможных вариантов энергоснабжения. На основе анализа определены главные технические параметры, определяющие основные затраты, по комплексному энергообеспечению объектов геологоразведочного профиля. Предложена методика выбора оптимального варианта путем сравнения финансовых потоков, изменяющихся во времени.

**В третьей главе** разработана методология моделирования и оптимизации элементов распределительных линий. Предложена и обоснована математическая модель, позволяющая получить расчетные зависимости для определения – экономически целесообразного сечения проводов линий электропередач, оценить влияние корректировки уровня напряжения на область рационального использования сетей низкого напряжения. Разработаны рекомендации по совершенствованию использования систем энергоснабжения на основе регулирования уровня напряжения, разработана методика расчета уровня напряжения источника электроэнергии для группы энергопотребителей при различных схемах их подключения.

**В четвертой главе** рассматриваются особенности систем теплоснабжения геологоразведочных работ. На основе анализа этих особенностей проводятся теоретические исследования по обоснованию мощности теплогенераторов

технологических потребителей и дается оценка влияния теплоты на выбор оптимальной системы энергоснабжения. Рассматриваются возможности совершенствования энергетических комплексов посредством использования вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии.

**В пятой главе** приводятся результаты исследования экономико-математических моделей систем энергоснабжения, анализ влияния различных параметров, входящих в модели, на предельное расстояние присоединения. В главе приводится методология выбора оптимального варианта энергообеспечения в современных экономических условиях. Анализ систем энергоснабжения на основе технико-экономических моделей дал возможность оценить влияние различных параметров на выбор оптимального варианта, обосновал широкое применение систем энергоснабжения технологических потребителей при ведении геологоразведочных работ при использовании передвижных ДЭС.

**В шестой главе** на основе проведенных исследований предлагается конструкция комплекса энергообеспечения, использование которого в условиях ведения геологоразведочных работ позволит значительно повысить их эффективность. Разработаны рекомендации по рациональному применению оборудования в современных условиях, сформулированы основные принципы и направления повышения эффективности энергетических комплексов и систем геологоразведочных работ.

**Заключение** отражает обобщенные научные выводы по результатам исследований в соответствии с целью и решенными задачами, их практическое использование и значимость.

Диссертация является результатом производственных и научно-исследовательских работ, выполненных на кафедре «Энергетики» (в настоящее время «Механизации, автоматизации и энергетики горных и геологоразведочных работ») Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе в соответствии с планом НИР Министерства образования Российской Федерации. Номер государственной регистрации 01.2.00 3 09048.

Работа базируется на анализе теоретических исследований и практических разработок отечественных и зарубежных специалистов, и исследованиях, выполненных лично автором в разные годы.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному консультанту – Заслуженному деятелю науки РФ, доктору технических наук, профессору А.М.Лимитовскому за консультации и постоянные помощь и поддержку при выполнении настоящей диссертационной работы.

Автор благодарит коллектив кафедры Механизации, автоматизации и энергетики горных и геологоразведочных работ и лично доктора технических наук, профессора М.В.Меркулова за ценную помощь и советы, оказанные на разных этапах работы.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

**Краткие сведения по изучаемому вопросу.** В 70<sup>ые</sup> годы прошлого столетия сформировалось новое научное направление – оптимизация разведочного бурения. Исследования, проводимые под руководством профессора Козловского Е.А., ставили своей целью дальнейшее повышение экономической эффективности геологоразведочных работ за счет оптимизации процесса разведочного бурения, что обеспечило переход научно-исследовательских работ в области разведочного бурения на новый качественный уровень.

Исследования, на основе планирования эксперимента, системного анализа, математического моделирования требовали качественного математического обоснования. В этой связи необходимо отметить работы профессора Башкатова Д.Н. по разработке и адаптации математических методов оптимизации применительно к условиям разведочного бурения.

Оптимизация режимов бурения неразрывно связана с автоматизацией производственного процесса и систем управления, что возможно только на основе использования современного электрифицированного привода и эффективных систем централизованного и локального электроснабжения.

Вопросы оптимизации электроснабжения промышленных предприятий детально рассматривались главным образом в работах Федорова А.А., Каменевої В.В. Именно в их трудах вводятся понятия системы электроснабжения, намечаются основные методы оптимизации отдельных элементов вновь проектируемых систем, даются технико-экономические основы моделирования электрических сетей с использованием приведенных затрат.

Проблемы электроснабжения в специфических условиях горных предприятий рассматриваются в исследованиях Багаутдинова Г.А., Белых Б.П., Гладилина Л.В., Маркова Ю.А., Озерного В.И., Плащанского Л.А., Щуцкого В.И., Пучкова Л.А., Пивняка Г.Г., Ляхомского А.В. и других авторов. Эти работы посвящены, главным образом, определению расчетных нагрузок, особенностям выбора оборудования и расчету режимов работы.

Системный подход к вопросам электроснабжения с учетом особенностей сельскохозяйственных предприятий, наиболее близких по условиям к геологоразведочным, прослеживается в работах Будзко И.А., Гессена В.Ю., Левина М.С. и др. Авторы сделали попытку выделить основные системы электроснабжения сельскохозяйственных предприятий и поставили вопрос об их моделировании на стадии проектирования, сформулировали основные требования к оптимальной системе электроснабжения. Но, как отмечают сами авторы, «...этот общий подход к вопросам оптимизации пока не может быть полностью реализован, главным образом, из-за большого числа искомых параметров и сложности существующих между ними зависимостей». Вопросы оптимизации систем электроснабжения решались путем разделения проблемы на отдельные, более простые задачи.

Вопросы экономии и нормирования топливно-энергетических ресурсов при ведении геологоразведочных работ рассматривались Алексеевым В.В., Ребриком Б.М., Жернаковым А.П., Наугольновым С.И. и др.

Таким образом, как видно в приведенных исследованиях рассматриваются главным образом вопросы, централизованного электроснабжения стационарных объектов от государственных линий, рассчитанных на длительные сроки функционирования и значительные электрические нагрузки, что могло быть лишь в незначительной степени использовано применительно к практике производства геологоразведочных работ, где имеет место своя особая специфика условий.

Исследования в области оптимизации электроснабжения геологоразведочных работ проводились и проводятся в МГРИ – РГГРУ под научным руководством профессора А.М.Лимитовского. Им в соавторстве с профессором М.А.Лимитовским (зав.кафедрой АНХ при Правительстве РФ) разработаны, исходя из современных условий, научные основы экономического обоснования методики технико-экономического сравнения вариантов систем электроснабжения.

Большой объем исследований в натуральных условиях Севера был выполнен коллективом кафедры в области использования вторичных энергоресурсов (ответственный исполнитель профессор М.В.Меркулов). Разработаны конструкции утилизаторов теплоты дизельных электростанций (ДЭС) с воздушным теплоносителем, которые позволили увеличить КПД локальных энергоисточников вдвое. Утилизационные установки прошли промышленное испытание в экстремальных зимних условиях Якутии и Северо-Востока.

В современных условиях производства геологоразведочных работ вопросы энергосбережения приобретают особое значение и в первую очередь решение их связано с оптимизацией комплексного энергообеспечения от энергоисточника до привода технологического оборудования.

Проведенные исследования позволили сформулировать следующие **защищаемые научные положения.**

#### **Первое защищаемое положение.**

*Технико-экономические обоснования варианта оптимальной системы энергообеспечения буровых работ следует производить на основе представленной классификации систем комплексного энергообеспечения технологических потребителей совместно по электрическим и тепловым нагрузкам с использованием разработанной методики, отражающей в отличие от ранее применяющихся методик такие экономические параметры, как фактор времени, систему налогообложения, уровень ожидаемой инфляции.*

В отличие от проектирования энергоснабжения большинства промышленных предприятий, когда ведется расчет элементов, как правило, известной системы, на геологоразведочных работах основным и наиболее сложным моментом является обоснование и выбор самой системы энергообеспечения.

Сложность такого обоснования, помимо рассмотренных выше особенностей производства геологоразведочных работ, усугубляется такими важными обстоятельствами, как то что:

- такое обоснование должно производиться совместно по электро- и теплообеспечению рассматриваемого объекта, поскольку альтернативой

региональной электросети является энергоисточник – дизельная электростанция (ДЭС), генерирующая тепло и электроэнергию одновременно;

- изменения общественного строя привело к коренному изменению организационных форм, состояния и стратегии общегосударственного энергообеспечения, что находит свое отражение на решении вопросов энергообеспечения конкретных производственных объектов, особенно локальных, к числу которых относятся объекты геологоразведки.

Поскольку, в настоящее время геологоразведочные работы на твердые полезные ископаемые производятся буровым способом, то и энергообеспечение их рассматривается применительно к бурению.

В качестве привода буровых установок может использоваться двигатель внутреннего сгорания, либо электродвигатель. В первом случае, как правило, это самоходные установки, в которых механическая и редко тепловая энергия передаются от дизеля транспортного средства на буровую установку без каких бы то ни было альтернатив с единственным преимуществом (мобильность) и большим количеством недостатков.

В случае же использования электропривода вопросы организации энергообеспечения, т. е. подвода электроэнергии и тепла, усложняются, и выбор оптимальной системы представляет собой не простую задачу. Действительно, электроэнергия может быть получена от региональных линий электропередач, от стационарной местной электростанции, от полустационарных или передвижных дизельных электростанций (ДЭС).

Тепловая же энергия, необходимость в которой в различных районах зачастую превышает потребности в электроэнергии, может быть получена от местных теплогенераторов, от утилизации тепла дизельных электростанций (ДЭС), где это возможно, от преобразования электроэнергии в тепло. При использовании ДЭС, КПД которых не превышает 0,4, последнее является крайне нерациональным.

Раздельное рассмотрение вопросов тепло- и электроснабжения при выборе энергоисточников может привести к серьезным дополнительным издержкам в процессе эксплуатации.

Чтобы сгруппировать системы энергообеспечения и дать основу для их оптимизации, разработана классификация систем по наиболее важным признакам, принципиально отличающим рассматриваемые варианты друг от друга.

В качестве классификационных признаков приняты:

1. варианты поступления энергии:

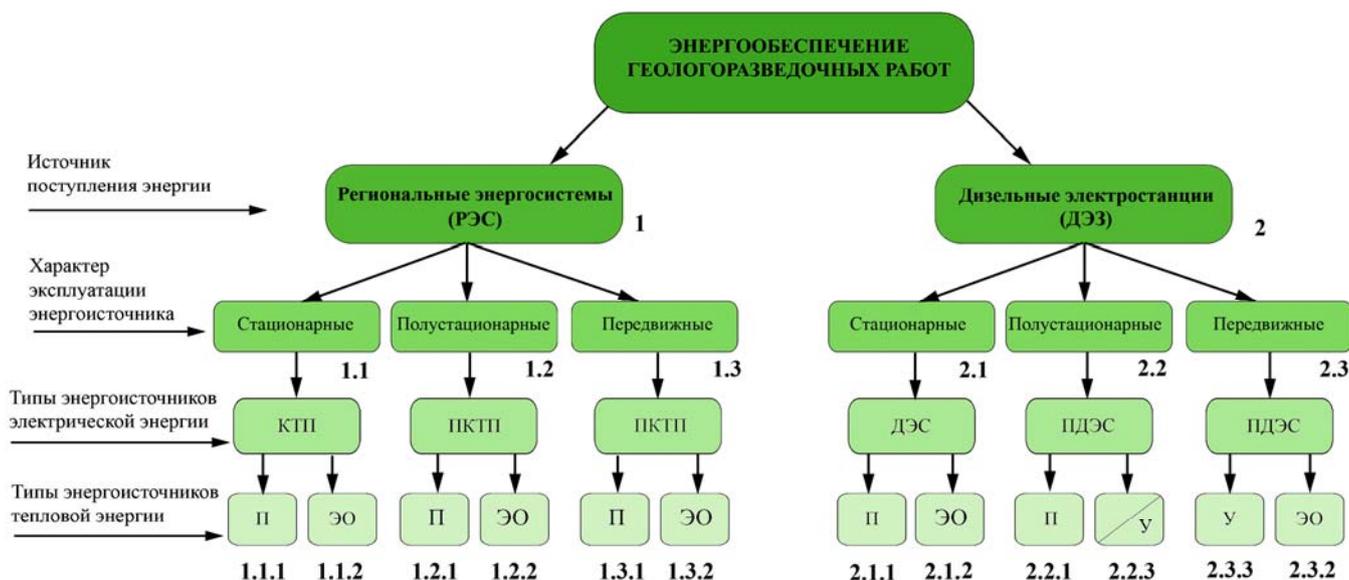
- региональные сети (1);
- дизельные электростанции (ДЭС) (2).

2. характер эксплуатации энергоисточников:

- стационарный (1);
- полустационарный (2);
- передвижной (3);

3. способ получения тепловой энергии:

- печное отопление (1);
- отопление электроприборами (2);
- обогрев за счет утилизации тепла дизельных электростанций (ДЭС) (3).



**Рисунок 1. Классификация систем комплексного энергообеспечения геологоразведочных работ.**

**Условные обозначения:** КТП (ПКТП) – соответственно: комплектная трансформаторная подстанция (передвижная); ДЭС (ПДЭС) – соответственно: дизельная электростанция (передвижная); П, ЭО, У – способы отопления: печное, электрообогрев, утилизация.

Главной особенностью проектирования систем энергообеспечения геологоразведочных объектов является то, что помимо энергетических расчетов, включающих в себя электротехнические и тепловые расчеты по обоснованию параметров оборудования и коммуникаций, в большинстве случаев требуются технико-экономические расчеты по обоснованию самой системы энергообеспечения, т.е. по выбору из всех возможных оптимального варианта электро- и теплоснабжения, обеспечивающего минимальный уровень приведенных затрат к обозначенному периоду времени.

Для определения оптимального варианта энергоснабжения предлагается следующая методика расчета, позволяющая оценить сегодняшнюю стоимость работ в увязке с временными их рамками, а также учесть инфляционные процессы происходящие в стране.

Основная формула затрат при этом может быть представлена в следующем виде:

$$Z = -K - K_0 - I - Ц + D + E + A, \quad /1/$$

где:  $K$  - начальные капиталовложения на покупку оборудования, его ремонт и транспортировку;  
 $K_0$  - начальный оборотный капитал (можно принять стоимость запасов топлива на рассматриваемый период), руб;

$I$  - стоимость текущих затрат, приведенная к исходному моменту, другими словами - издержки производства, руб;

$Ц$  - цена подключения к региональной линии, руб;

$D$  - сумма остаточных капиталовложений, приведенных к исходному моменту, руб;

$E$  - экономия на налоге на прибыль в связи с текущими затратами, руб;

$A$  - экономия на налоге на прибыль в связи с амортизационными отчислениями, руб.

Перед слагаемым  $K$ ,  $K_0$ ,  $I$ ,  $C$  показывающими отток средств, стоит отрицательный знак, а перед слагаемыми  $D$ ,  $E$  и  $A$ , несущими в себе экономию или приток средств - положительный. Последнее объясняется тем, что, произведя текущие затраты, сокращается прибыль, следовательно, и налог на прибыль.

Приведенные затраты рассчитываются по каждому базовому варианту электроснабжения и при этом расчетное время функционирования энергосистемы может быть принято переменной величиной.

После подстановки значений слагаемых основная формула затрат /1/ принимает вид:

$$Z = -K - K_0 - C - I_K \cdot \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} + \frac{K \cdot (1 - p \cdot n) + C(1 - \frac{n}{m})}{(1+i)^n} + I_K \cdot C_n \cdot \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} + K \cdot p \cdot C_n \cdot \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i}, \quad /2/$$

где  $C_n$  - ставка налога на прибыль, в долях единицы;

$p$  - квартальный коэффициент амортизации оборудования, в долях единицы;

$I_K$  - затраты за рассматриваемый период времени, руб;

$i$  - ставка альтернативного вложения за рассматриваемый период времени, в долях ед;

$n$  - количество временных интервалов (кварталов), за которое проводится анализ, ед;

$m$  - расчетный срок функционирования предприятия (кварталов), ед.

Эксплуатационные затраты за рассматриваемый отрезок времени слагаются из ряда издержек (в рублях):

$$I_K = I_{ЗП} + I_{Э} + I_{ПЭ} + I_{ПЭТ} + I_{РЛ} + I_{ТР} + I_{ПР}, \quad /3/$$

где:  $I_{ЗП}$  - издержки на зарплату персонала, обслуживающего энергоустановки, руб;

$I_{Э}$  - издержки на электроэнергию или топливо в зависимости от рассматриваемого варианта, руб;

$I_{ПЭ}$  - издержки, связанные с потерей энергии в линиях электропередач, руб;

$I_{ПЭТ}$  - издержки, связанные с потерей энергии в трансформаторных подстанциях, руб;

$I_{РЛ}$  - затраты на распределительные электрические сети, амортизируемые в течение года, руб;

$I_{ТР}$  - затраты на текущий ремонт, руб;

$I_{ПР}$  - прочие затраты, руб.

Пользуясь схемами базовых систем электроснабжения (рис.2) и расчетными зависимостями /1, 2, 3/, в развернутом виде составление математических моделей затрат по каждому варианту не представляет больших сложностей.

Так **затраты по варианту централизованного электроснабжения** (рис.2.г) от районной линии включают в себя:

- затраты по заработной плате за рассматриваемый период времени которые включают в себя: основную сменную зарплату по обслуживанию энергетических установок -  $Z_0$  (за одну трансформаторную подстанцию),  $Z_c$  (за одну печь),  $Z_{oy}$  (за одну утилизационную установку); единый социальный налог (ЕСН) — процент от зарплаты; доплату, определяемую районным коэффициентом  $K_p$ .

Всего по рассматриваемому варианту:

$$I_{ЗП} = (Z_0 \cdot 1,079) \cdot 1,26 \cdot K_p \cdot n_{см} = 1,36 \cdot Z_0 \cdot K_p \cdot n_{см}, \quad /4/$$

где  $n_{см}$  - число смен в рассматриваемом периоде времени (месяце, квартале, годе).

Стоимость электроэнергии:

$$I_{э} = W_c \cdot C_э = P_c \cdot T \cdot C_э, \quad /5/$$

где  $W_c$  - расход электроэнергии, кВт · ч;

$C_э$  — стоимость 1 кВт · ч электроэнергии, руб;

$P_c$  — средняя потребляемая мощность, кВт;

$T$  — средневзвешенное время работы потребителей в принятый период, ч.

Издержки, связанные с потерями электроэнергии в линиях электропередач

$$I_{пэ} = 3 \cdot I_c^2 R \cdot C_э \cdot 10^{-3} = \frac{P_c^2 \cdot l \cdot T \cdot C_э \cdot 10^{-3}}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \gamma \cdot s}, \quad /6/$$

где  $I_c$  - средняя нагрузка в линии, А;

$R$  - сопротивление линии, Ом;

$l$  и  $l'$  - протяженность магистральных и распределительных линии, м;

$s$  - площадь сечения проводов, мм<sup>2</sup>;

$\gamma$  - проводимость материала проводов, м/(Ом·мм<sup>2</sup>);

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

Издержки, связанные с потерями энергии в трансформаторах:

$$I_{пт} = 0,02 \cdot S_T \cdot T \cdot C_э, \quad /7/$$

где  $S_T$  - мощность установленных трансформаторов, кВт·А.

Затраты на распределительные электрические сети, т.е. на линии, подводящие энергию к скважинам, и демонтируемые по завершению бурения:

$$I_{рл} = 1,1 \cdot N \cdot p_a \cdot d \cdot K_{л} \cdot K_{п}, \quad /8/$$

где  $N$  - число скважин, пробуренных в принятый период, шт;

$d$  - расстояние между технологическими потребителями (скважинами), км;

$K_{л}$  - затраты на строительство 1 км распределительных сетей, руб;

$K_{п}$  – коэффициент передислокации распределительных сетей, в долях ед;

$p_a$  – коэффициент амортизации линий за принятый период, в долях ед.

Затраты на текущий ремонт и прочие затраты с некоторым допущением можно принять:

$$I_{тр} = 0,2 \cdot p \cdot K; \quad /9/$$

$$I_{пр} = 0,3 (I_{тр} + I_{зп}), \quad /10/$$

Технико-экономические исследования структуры затрат по типовым вариантам электроснабжения геологоразведочных работ показали, что разница в издержках  $I_{в}$ , связанных с простоями, не превышает 2% от общих затрат, а поэтому при технико-экономическом сравнении систем электроснабжения они могут не приниматься во внимание.

При электроснабжении от районной линии и применении индивидуальных подстанций на месте работ капвложения в вариант составят:

$$K'_1 = K'_л \cdot l + K'_{тj} \cdot j, \quad /11/$$

где  $K'_{тj}$  - стоимость индивидуальной трансформаторной подстанции, руб;  
 $j$  - число потребителей (подстанций буровых установок), ед;

Эксплуатационные расходы за принятый период (например, квартал) составят:

$$I'_{K1} = Q'_{лк} \cdot l + Q'_{тк} \cdot j + P_{с\Sigma} \cdot T \cdot C_3 + 0,02 \cdot S_{тj} \cdot T \cdot j \cdot C_3 + \frac{S_{с\Sigma}^2 \cdot T \cdot l \cdot C_3}{U_6^2 \cdot \gamma \cdot s_6} + \\ + \frac{S_{сj}^2 \cdot T \cdot l \cdot C_3}{U_{04}^2 \cdot \gamma \cdot s_{04}} j + 1,1N \cdot p_a \cdot d \cdot K'_л \cdot K'_п + 0,3 \cdot (Q'_{лк} \cdot l + Q'_{тк} \cdot j + 1,2 \cdot K'_1 \cdot p), \quad /12/$$

где  $Q'_{лк}$ ,  $Q'_{тк}$  - стоимость обслуживания за принятый период электроустановок (рублей за 1 км линии и 1 подстанцию), руб;

$S_{тj}$  - мощность передвижной трансформаторной подстанции, кВ·А;

$U_6$ ,  $U_{04}$  - напряжения в линиях соответственно 6 и 0,4 кВ;

$s_6$ ,  $s_{04}$  - сечение проводов линии 6 и 0,4 кВ, мм<sup>2</sup>;

$P_{с\Sigma}$  - общая средняя потребляемая мощность, кВт;

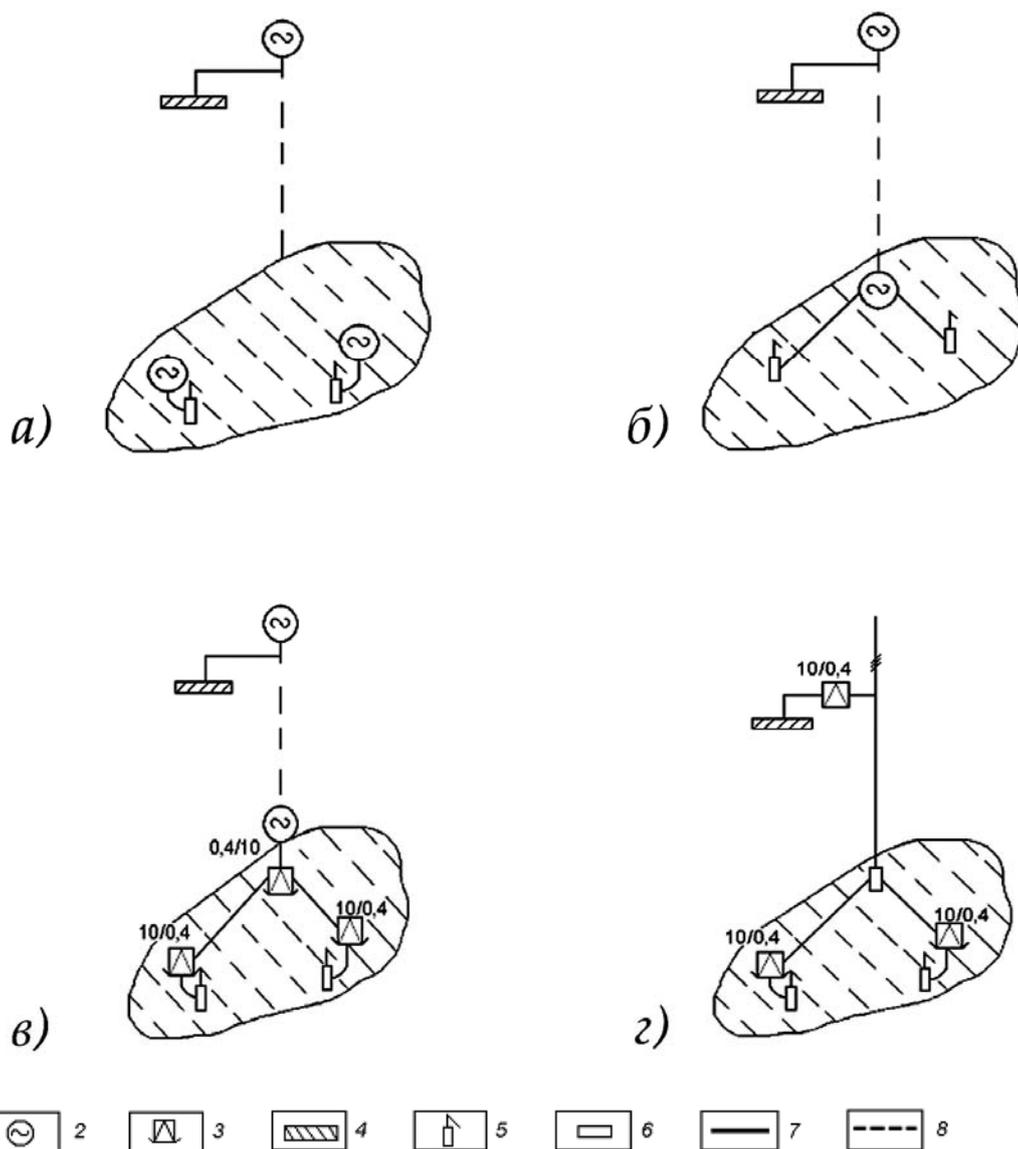
$S_{с\Sigma}$ ,  $S_{сj}$  - полная средняя потребляемая мощность соответственно всех и одной установки, кВ·А.

Затраты по варианту **централизованного электроснабжения**, приведенные к началу принятого периода, составят:

$$Z'_1 = -K'_1 - Ц + (C - 1) \frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i} \cdot I'_{K1} + K'_1 \cdot p \cdot C \frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i} + \frac{K'_1(1 - pn) + Ц(1 - \frac{n}{m})}{(1 + i)^n}, \quad /13/$$

Приведенные выше формулы являются математическими моделями затрат по базовым вариантам только электроснабжения, не учитывающими затрат на теплоснабжение.

Однако в локальных условиях ведения работ вопросы электро- и теплоснабжения не должны рассматриваться изолированно, ибо такое рассмотрение может привести к неправильному выбору наиболее экономически целесообразного варианта общего энергообеспечения. Например, если при сравнении затрат на энергообеспечение при различных вариантах не учитывать возможности использования вторичных ресурсов передвижных ДЭС, то область их экономически целесообразного применения резко сокращается, т.е. предельное по экономическим соображениям расстояние присоединения к районной сети неоправданно возрастает, что фактически приводит к увеличению затрат на электроснабжение.



**Рисунок 2. Электроснабжение участка геологоразведочных работ и поселка от: а) индивидуальных передвижных дизельных электростанций; б) полустационарных дизельных электростанций предусматривает групповое присоединение к ним буровых установок без трансформации электроэнергии; в) двух стационарных дизельных электростанций с трансформацией электроэнергии; г) районной линии электропередач.**

**Условные обозначения:** 1 – трансформаторная подстанция; 2 – электростанция; 3 – ПКТП; 4 – поселок ГРП; 5 – технологический потребитель; 6 – распределительный пункт; 7 – ЛЭП; 8 – дорога.

Поэтому затраты по вариантам электроснабжения должны быть дополнены слагаемыми, отражающими издержки на теплоснабжение одним из принятых способов: печное отопление, электрообогрев или утилизация тепла.

Так, при централизованном варианте электроснабжения и традиционном печном отоплении (1.1.1) в капиталовложениях следует учесть стоимость печей  $K_{п}$ , стоимость квартального запаса топлива  $K_{01п} = T \cdot P_{сп} \cdot q_{п} \cdot C_{тп}$ , а в эксплуатационных затратах надо учесть затраты на печное топливо  $I_{п} = T \cdot P_{сп} \cdot q_{п} \cdot c_{тп}$  и обслуживание печей  $I_{зпп} = 1,36 \cdot Z_c \cdot K_p \cdot n_{см}$ .

В варианте затрат на электроснабжение от передвижных ДЭС с утилизацией тепла (2.3.3) необходимо учитывать в капиталовложениях дополнительно стоимость утилизационных устройств -  $K_y$ , а в эксплуатационных затратах – только обслуживание утилизаторов  $I_{зв} = 1,36 Z_{ов} \cdot K_p \cdot n_{см}$ .

где  $P_{сп}$  – средняя тепловая мощность, кВт;

$q_{п}$  – удельный расход печного топлива на выработку 1 кВт · ч теплоты, кг.усл.топлива/кВт · ч;

$C_{тп}$  - стоимость 1 кг условного топлива для печей, руб.

**Последовательность расчетов** рекомендуется производить в соответствии с изложенными выше методическими разработками в следующем порядке:

1. На основе исходных данных намечается круг возможных вариантов энергообеспечения потребителей.

2. Производятся электротехнический и тепловой расчеты применительно к намеченным вариантам энергообеспечения, с обоснованием средних и расчетных нагрузок, по которым выбирается необходимое энергетическое оборудование и коммуникационные сети.

3. По-вариантно выстраиваются математические модели приведенных затрат, в которые вводятся стоимостные параметры принятого оборудования, коммуникаций, материалов (энергия, топливо).

4. Производится расчет приведенных затрат, по минимальному значению которых и выбирается оптимальный вариант комплексного энергообеспечения объекта.

5. Применительно к избранному варианту производится расчет технических деталей: аппаратуры управления, элементов автоматики, заземления и др.

## **Второе защищаемое положение.**

*Входящие в математические модели затрат по системам комплексного энергообеспечения буровых работ значения вводимых параметров, таких как сечение проводов, предельные радиусы распределения нагрузок, следует определять по предложенным уточнённым расчётным зависимостям, отражающим особенности технологического процесса.*

Расчет сечения проводов линий электропередач обычно ведется по нагреву и потерям напряжения с последующей проверкой по экономическому фактору и в тяжелых климатических условиях на механическую прочность. Но, исходя из того, что при проведении геологоразведочных работ передаются относительно невысокие нагрузки на большие расстояния, такой порядок расчета не может считаться объективным, поскольку по току (нагреву) приводит всегда к занижению сечений.

Производя расчет наиболее целесообразного сечения проводов используемых при строительстве распределительных линий следует иметь в виду, что чем меньше площадь сечения провода, тем меньше расход проводникового материала и меньше капитальные затраты на сооружение линии. Но при этом, больше потери энергии в линии при прохождении по ней тока, а, следовательно, и больше эксплуатационные расходы.

Формула затрат на сооружение линий электропередач и ее эксплуатацию за принятый период времени в увязке с сечением проводов имеет вид:

$$Z = Z_s l + I_s, \quad /14/$$

где  $Z_s$  – затраты на сооружение и демонтаж одного километра линий электропередач с проводами сечением  $s$ , мм<sup>2</sup>;

$I_s$  – издержки, связанные с потерями электроэнергии, зависящими от сечения проводов за принятый период времени, руб.

На основе регрессионного анализа выявлена корреляционная зависимость, позволяющая определить затраты на сооружение, эксплуатацию и демонтаж распределительных линий электропередач, в зависимости от сечения используемых проводов, которая имеет вид:

$$Z = [(2,19s + 2294.17 + 560m)K_p + 68.36s + 2396.9 + 7260m] \cdot l + \frac{P_c^2 \cdot T \cdot C_9 \cdot l}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \gamma \cdot s}, \quad /15/$$

Расчет сечения провода по экономическому критерию обычно определяют по расчетному току линии  $I_p$  и экономической плотности тока  $j$  (А/мм<sup>2</sup>):

$$s_{\text{эк}} = I_p / j. \quad /16/$$

Использование данной методики расчета сечения проводов для линий электропередач в вышеизложенном виде в настоящее время не может быть рекомендовано к применению в связи с тем, что величина экономической плотности тока  $j$  не отражает в настоящее время экономического смысла, поскольку при этом не учитывается фактор времени, ставка альтернативного вложения, налогообложение. Поэтому должна быть получена новая уточненная расчетная зависимость для определения экономически целесообразного сечения проводов с учетом отмеченных моментов.

Математические методы оптимизации дали возможность получить такую расчетную зависимость сечения проводов по экономическому критерию:

$$s = \frac{P_c}{U \cdot \cos \varphi} \cdot \sqrt{\frac{T \cdot C_9}{\gamma(2.19K_p + 68.36)}}, \quad /17/$$

Анализируя полученную зависимости можно сделать вывод, что на выбор сечения проводов распределительных линий электропередач помимо общеизвестных факторов, таких как средняя мощность потребителей и стоимость электроэнергии ( $P_c$  и  $C_9$ ), влияет районный коэффициент и проводимость используемого проводникового материала ( $K_p$  и  $\gamma$ ), и не влияет число опор на один километр линий электропередач  $m$ , зависящее только от региона проводимых геологоразведочных работ.

Рекомендованная методика расчета проводов обеспечивает сокращение издержек на эксплуатацию распределительных линий электропередач, а также снижение затрат на строительство и демонтаж энергосетей, связанное с экономией проводникового материала.

В распределительных линиях электропередач при электроснабжении

геологоразведочных работ применяются провода, преимущественно изготовленные из алюминия, сечением 16, 25, 35, 50 мм<sup>2</sup>. Экономия средств от перехода на одну ступень с большего сечения, на меньшее составляет порядка 10000 рублей с одной фазы на один километр линии.

Обычно, при проверке площади сечения проводников линий электропередач на потери напряжения, в качестве допустимых принимаются потери, равные 5 %. Исходя из энергетических параметров некоторых буровых агрегатов и проводимости используемого проводникового материала (провода марки АС), получены примерные предельные расстояния (в километрах) передачи электроэнергии от генерирующей электричество установки до потребителя без трансформации при допустимом уровне падения напряжения (**таблица 1**):

**Таблица 1**

<i>s</i>	<i>УКБ-3 с обогр.</i>	<i>УКБ-4 с обогр.</i>	<i>УКБ-5 с обогр.</i>	<i>УКБ-3</i>	<i>УКБ-4</i>	<i>УКБ-5</i>
<b>16 мм<sup>2</sup></b>	0,157	0,108	0,085	0,296	0,208	0,126
<b>25 мм<sup>2</sup></b>	0,230	0,155	0,124	0,424	0,298	0,179
<b>35 мм<sup>2</sup></b>	0,302	0,200	0,162	0,545	0,384	0,229
<b>50 мм<sup>2</sup></b>	0,394	0,258	0,210	0,692	0,489	0,288
<b>70 мм<sup>2</sup></b>	0,494	0,317	0,262	0,845	0,598	0,348
<b>95 мм<sup>2</sup></b>	0,704	0,374	0,313	1,005	0,703	0,409

Превышения полученных расстояний при электроснабжении на генераторном напряжении рассматриваемых буровых установок ведет к увеличению уровня потерь напряжения, а это недопустимо, следовательно, приведенные выше расстояния являются критическими. Но поскольку уровень падения напряжения у потребителей определяется не только потерями напряжения в линии электропередач, но и элементами системы электроснабжения, данные расстояния могут быть существенно увеличены без потери качества передаваемой энергии ГОСТ 13109-97. К числу таких элементов относятся генераторы, трансформаторы, конденсаторы.

Принимая во внимание, что перечисленные элементы системы электроснабжения значительно влияют на величину отклонения напряжения у потребителя, уровень допустимых потерь напряжения в линиях электропередач нельзя считать постоянным. Для каждой системы электроснабжения этот уровень должен быть определен отдельно.

Если обозначать надбавки напряжения в элементах системы электроснабжения через  $\delta$  (в %), а потери — через  $\varepsilon$  (в %), то отклонение напряжения от номинального у потребителя может быть определено как разность  $\Delta = \delta - \varepsilon$  (в %).

Взяв за основу это равенство и имея в виду нормативы отклонения напряжения на зажимах потребителя ( $\varepsilon_{\text{доп}}$ ,  $\delta_{\text{доп}}$ ), можно определить предельные значения потерь или увеличения напряжения в подводящих линиях.

При электроснабжении потребителей непосредственно от электростанции без трансформации напряжения надбавка напряжения может быть получена только за счет регулирования возбуждения генератора  $\delta_{\text{Г}}$ :

- в режиме постоянного напряжения  $\delta'_{\text{Г}} = 5 \%$ ;
- в режиме встречного регулирования  $\delta''_{\text{Г}} = 10 \%$ .

Допустимые потери напряжения в линии  $\varepsilon'_л$  (знак «+») до максимально удаленного потребителя в режиме постоянного напряжения:

$$\varepsilon'_л = \delta'_г - \varepsilon'_{доп} = 5 - (-5) = 10\% ;$$

в режиме встречного регулирования напряжения:

$$\varepsilon''_л = \delta''_г - \varepsilon_{доп} = 10 - (-5) = 15\% ;$$

Приведенный расчет свидетельствует о том, что при электроснабжении непосредственно от ДЭС потери напряжения в линии до наиболее удаленного потребителя могут достигать 15%, в зависимости от режима регулирования генератора. Это означает, что радиус группового присоединения увеличивается, а удельный вес систем полустационарного электроснабжения на генераторном напряжении без применения трансформации возрастает.

Исходя из вышеизложенного, получены уточненные предельные расстояния (в километрах) передачи электроэнергии от генерирующей электричество установки до потребителя (таблица 2):

Таблица 2

$s$	УКБ-3 с обогр.	УКБ-4 с обогр.	УКБ-5 с обогр.	УКБ-3	УКБ-4	УКБ-5
16 мм <sup>2</sup>	0,199	0,135	0,101	0,332	0,255	0,157
25 мм <sup>2</sup>	0,311	0,210	0,158	0,518	0,399	0,245
35 мм <sup>2</sup>	0,436	0,294	0,221	0,726	0,558	0,343
50 мм <sup>2</sup>	0,622	0,420	0,316	1,037	0,798	0,490
70 мм <sup>2</sup>	0,871	0,589	0,442	1,452	1,117	0,686
95 мм <sup>2</sup>	0,933	0,631	0,474	1,555	1,196	0,735

При электроснабжении потребителей от шин районной понижающей подстанции в режиме постоянного напряжения потери напряжения в линии могут быть 10%, в режиме регулирования — 20%.

При варианте электроснабжения от центральной дизельной электростанции с трансформацией напряжения в режиме постоянного напряжения потери напряжения в линии могут быть 10%, в режиме регулирования — 20%.

Таким образом, для каждого из типовых вариантов электроснабжения геологоразведочных работ характерен свой уровень допустимых потерь напряжения в линиях и соответствующий режим регулирования.

Для распределительных линий электропередач относительные потери напряжения, без учета индуктивной составляющей, так как она незначительна, равны:

$$\varepsilon = \frac{P \cdot l}{U^2 \cdot \gamma \cdot s} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{\Delta U}{U_{уст}} \quad /18/$$

Исходя из вышесказанного и учитывая, что стандартное допустимое значение напряжения должно находиться в пределах  $\pm 5\%$  от номинала (380 В), максимально допустимые превышения в распределительных линиях электропередач равны:

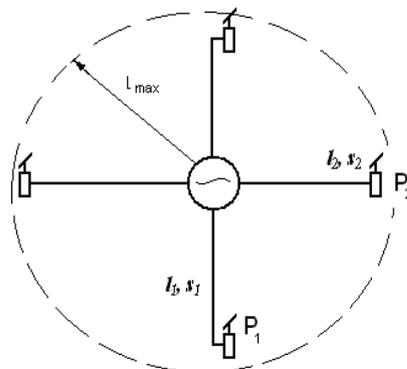
$$\varepsilon_{\max} = \frac{\Delta U}{U_{уст}} = \frac{U_{уст} - U_{доп}^{\min}}{U_{уст}} = 1 - \frac{U_{доп}^{\min}}{U_{уст}} = \frac{P \cdot l_{\max}}{U_{доп}^{\min 2} \cdot \gamma \cdot s}, \quad /19/$$

где  $U_{уст}$  – напряжение на шинах энергоисточника электроэнергии, В;  
 $U_{доп}^{\min}$  – допустимое минимальное напряжение у приемника, В;

$P$  - мощности приемника (буровой установки или другой техники), кВт;  
 $l_{max}$  – максимальное расстояние передачи электроэнергии без трансформации, км.

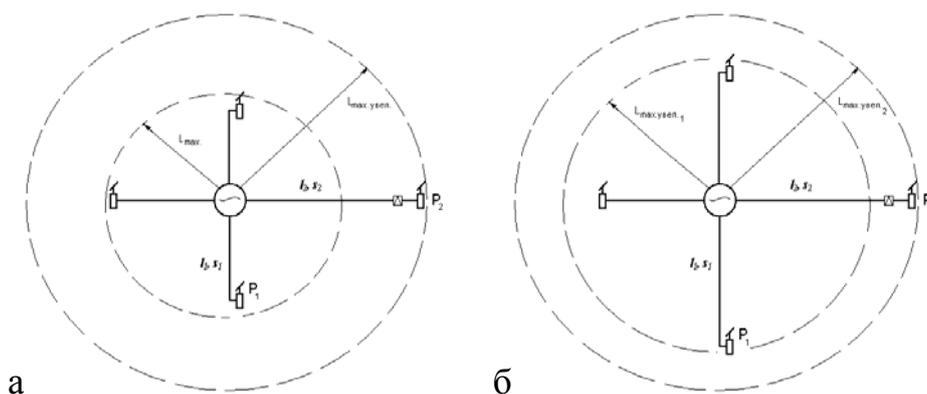
Отсюда максимальное расстояние передачи электроэнергии (рисунок 3), исходя из допустимых потерь напряжения, составляет:

$$l_{max} = \frac{\varepsilon_{max} U_{ДОП}^{min 2} \cdot \gamma \cdot S}{P} . \quad /20/$$



**Рисунок 3. Границы зоны возможного обеспечения электроэнергией группы потребителей на генераторном напряжении.**

При нахождении потребителя за границами рассчитанной зоны необходимо решать вопрос о применении вольтодобавочных трансформаторов, либо других энергетических установок способных, в возможных для этого случаях, компенсировать падение напряжения до стандартного значения у потребителя, что обеспечивает увеличения зоны передачи электроэнергии без трансформации на значительное расстояние (рисунок 4).



**Рисунок 4. а - вариант возможного увеличения границ зоны обеспечения электроэнергией группы потребителей на генераторном напряжении за счет применения вольтодобавочных трансформаторов; б - вариант возможного увеличения границ зоны обеспечения электроэнергией группы потребителей на генераторном напряжении за счет регулирования напряжения у энергоисточника и применения вольтодобавочных трансформаторов.**

В результате выполненных исследований разработаны рекомендации по увеличению зоны передачи электроэнергии без трансформации за счет регулирования напряжения у энергоисточника ( $L_{max,увел.1}$ ) и путем применения

вольтдобавочных трансформаторов ( $L_{\max,увел.2}$ ) в возможных для этого случаях (рисунок 4).

В результате проведенных исследований и выполненных преобразований для энергопотребителей мощностью  $P_1$  и  $P_2$ , находящихся на расстоянии  $l_1$  и  $l_2$  от энергоисточника, с линиями сечением проводов  $s_1$  и  $s_2$  соответственно, была получена система уравнений позволяющая произвести расчёт необходимого напряжения на шинах энергоисточника, при обеспечении стандартного ( $\pm 5\%$ ) уровня напряжения на обоих потребителях электроэнергии. Относительные потери напряжения в линиях электропередач, которые связывают источник энергии с данными потребителями, не равны.

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 \neq \varepsilon_2 \\ U_{ист} = \frac{U_2 - U_{доп}^{max} \cdot \frac{P_2 \cdot l_2 \cdot s_1}{P_1 \cdot l_1 \cdot s_2}}{1 - \frac{P_2 \cdot l_2 \cdot s_1}{P_1 \cdot l_1 \cdot s_2}}, \\ U_{доп}^{max} \geq U_2 \geq U_{доп}^{min} \end{array} \right. , \quad /21/$$

где  $U_{ист}$  – напряжение на шинах энергоисточника электроэнергии, В;  
 $U_{доп}^{max}$  – допустимое максимальное напряжение у приемника, В;  
 $U_{доп}^{min}$  – допустимое минимальное напряжение у приемника, В;  
 $U_2$  – напряжение у второго приемника, мощностью  $P_2$ , В;

**Третье защищаемое положение.**

*Основными параметрами, при использовании вторичных энергоресурсов, определяющими предельный радиус подключения технологических потребителей к региональной сети являются тепловая и электрическая нагрузка, длительность ведения работ, стоимость энергоносителей.*

Исследование технико-математических моделей ставит своей задачей выбор оптимального варианта энергоснабжения. Сравнение технически равнозначных вариантов можно проводить на основе функций экономических затрат, разработанных применительно к основным вариантам энергоснабжения в предыдущем параграфе. Критерием оптимизации в этом случае будет минимум приведенных затрат.

С другой стороны, иногда важно выяснить, в каких условиях тот или иной вариант будет оставаться оптимальным. Для решения этой задачи в качестве критерия оптимизации может быть выбран технический параметр. Сравнивая реальные значения такого параметра с критическими значениями для данных условий, можно судить о том, какая система энергоснабжения будет оптимальной, т.е. иметь меньшие приведенные затраты в этих условиях.

При сравнении варианта энергоснабжения от государственной сети таким параметром может служить расстояние от места работ до проходящей линии. Критическое значение этого параметра - предельное расстояние подключения к государственной сети - это такое расстояние, при превышении которого данный вариант энергоснабжения перестает быть оптимальным. Эта величина может быть найдена из условия равенства затрат.

$$Z_1 = Z_2,$$

где  $Z_1$  - затраты по энергоснабжению от государственной сети, руб;  
 $Z_2$  - затраты по альтернативному варианту, руб.

Анализ предельного расстояния позволит выявить влияние других параметров на выбор оптимального варианта. Сопоставляя затраты по вариантам энергоснабжения от государственной сети и от передвижных дизельных электростанций выделим те параметры, которые зависят от расстояния  $l_p$ :

$$Z_1 = Z_1' + Z' \cdot l_p, \quad /22/$$

Тогда равенство затрат по варианту централизованного энергоснабжения и от передвижных ДЭС примет вид:

$$Z_2 = Z_1' + Z' \cdot l_p, \quad /23/$$

где  $Z_1'$  - затраты по варианту централизованного энергоснабжения не зависящие от расстояния до линии, руб;

$Z'$  - доля затрат, зависящих от расстояния до государственной сети, руб.

Исходя из вышеизложенного, предельное расстояние подключения может быть рассчитано следующим образом:

$$l_p = (Z_2 - Z_1') / Z', \quad /24/$$

Рассмотрим влияние различных параметров на предельное расстояние подключения к районной энергетической системе.

График зависимости величины предельного расстояния от стоимости печного топлива и мощности отопления приводится на рисунке 5 (а, б).

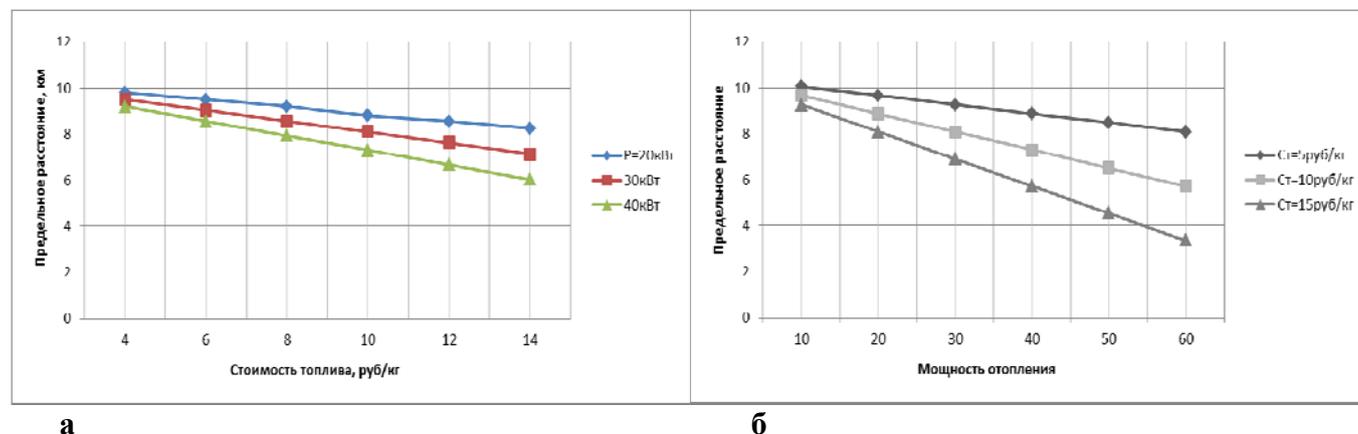


Рисунок 5. а - зависимость величины предельного расстояния от стоимости печного топлива; б - зависимость величины предельного расстояния от мощности отопления.

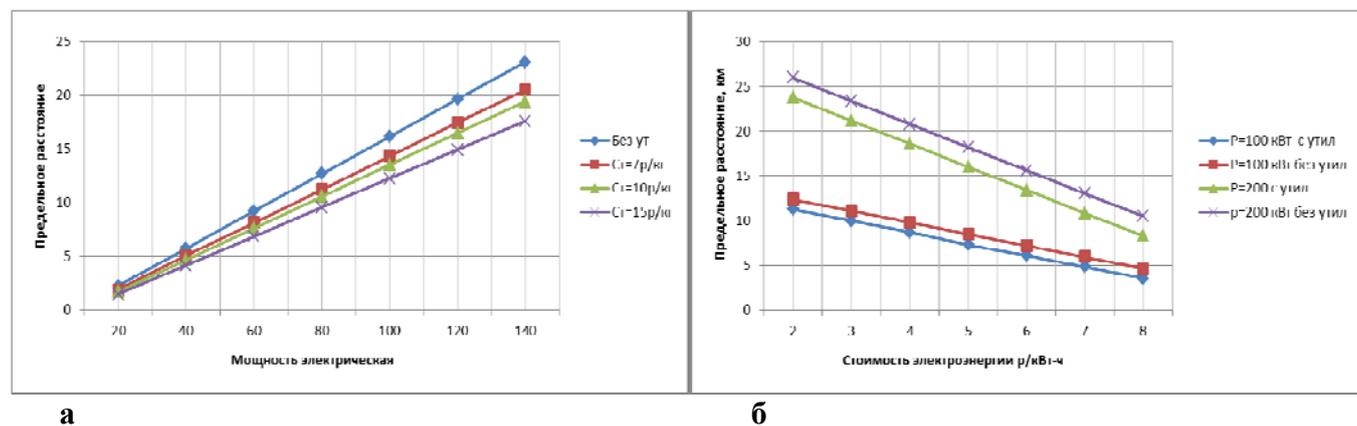
Увеличение стоимости топлива с 6 до 10 руб/кг приводит к тому, что при мощности отопления 20 кВт, предельное расстояние снижается на километр, а при мощности 40 кВт – вдвое больше.

Таким образом, чем выше мощность тепловых нагрузок, тем более интенсивно снижается предельное расстояние под действием увеличения стоимости печного топлива. И наоборот, чем выше стоимость топлива, тем больше влияние мощности отопления на предельное расстояние.

Это свидетельствует о том, что с ростом стоимости топлива и мощности отопления более привлекательным становится вариант энергоснабжения от передвижных ДЭС с утилизацией теплоты, что ограничивает область использования централизованного энергоснабжения, определяемую предельным расстоянием подключения.

Влияние электрической мощности потребителей на величину предельного расстояния, показана на **рисунке 6. а**. Увеличение электрической мощности приводит к увеличению предельного расстояния. Это объясняется тем, что издержки, связанные с обеспечением энергоснабжения от передвижных ДЭС в большей степени увеличиваются при увеличении мощности потребителей, чем затраты на централизованное энергоснабжение. Интенсивность изменения без использования утилизированной теплоты составляет 0,18 км/кВт, т.е. при изменении мощности на 1 кВт предельное расстояние уменьшается на 0,18 км.

При сравнении варианта централизованного энергоснабжения с энергоснабжением от передвижных ДЭС с утилизацией теплоты влияние потребителей на величину предельного расстояния снижается до 0,15 км/кВт при стоимости печного топлива 7 руб/кг и до 0,13 км/кВт при увеличении стоимости до 15 руб/кг.

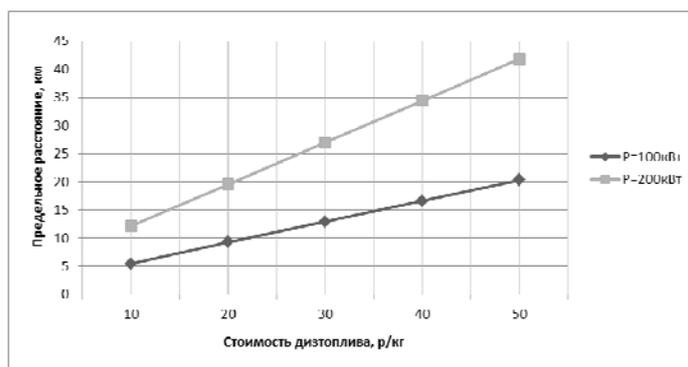


**Рисунок 6. а** - влияние электрической мощности потребителей на величину предельного расстояния подключения; **б** - зависимость предельного расстояния подключения от стоимости электроэнергии в районе проведения работ.

Таким образом, при использовании утилизации теплоты передвижных ДЭС влияние электрической мощности на предельное расстояние снижается тем сильнее, чем выше стоимость печного топлива.

Зависимость предельного расстояния от стоимости электроэнергии приводится на **рисунке 6. б**. С увеличением стоимости электроэнергии предельное расстояние

снижается тем сильнее, чем больше электрическая мощность потребителей. Такой характер зависимости можно объяснить увеличением затрат на централизованное энергоснабжение, что делает этот вариант менее привлекательным по сравнению с энергоснабжением от передвижных ДЭС. С увеличением мощности потери электроэнергии в ЛЭП увеличиваются в квадрате, поэтому изменение стоимости электроэнергии с учетом ее потерь сильнее влияют на предельное расстояние. Так увеличение стоимости с 2 до 4 руб/кВт·час при мощности 100 кВт вызывает снижение предельного радиуса на 2,5 км, а при мощности 200 кВт, такое же изменение стоимости приведет к снижению предельного расстояния на 5 км. Следует отметить, что утилизация теплоты передвижных ДЭС несколько снижает влияние стоимости электроэнергии на выбор варианта энергоснабжения.



**Рисунок 7. Зависимость предельного расстояния подключения от величины стоимости дизельного топлива.**

Одним из наиболее динамичных внешних факторов, наряду со стоимостью электроэнергии, является стоимость дизельного топлива. Этот параметр определяет затраты на топливо при энергоснабжении от передвижных ДЭС, что составляет порядка 10% от общих затрат по этому варианту. Влияние стоимости дизельного топлива на предельное расстояние приводится на **рисунке 7**.

При увеличении стоимости дизельного топлива с 20 до 30 руб/кг расстояние предельного подключения увеличивается на 5 км при мощности потребителей 100 кВт. С увеличением электрической нагрузки потребителей интенсивность влияния стоимости топлива на предельное расстояние увеличивается и составляет 0,75 км на 1 руб изменения стоимости топлива при мощности потребителей 200 кВт. Таким образом, с увеличением электрической нагрузки влияние стоимости дизельного топлива растёт.

Исследования величины предельного расстояния позволили выявить основные факторы, влияющие на него и оценить степень их влияния на выбор системы.

Установлено, что в наибольшей степени на величину предельного расстояния оказывают влияние: мощность потребителей, как электрическая, так и тепловая, стоимость электроэнергии и дизельного топлива.

Проведенный анализ показал, что использование утилизированной теплоты ДЭС значительно снижает затраты на энергообеспечение потребителей, поэтому дальнейшая модернизация систем локального энергоснабжения должна проводиться при условии комплексного энергообеспечения буровых работ.

#### Четвертое защищаемое положение.

*Использование рекомендованной системы утилизации теплоты позволит повысить КПД комплексного энергоисточника, полностью обеспечить электрические и тепловые нагрузки буровой установки, вывести вариант энергоснабжения технологических потребителей от передвижных ДЭС в число преобладающих.*

Система отопления должна компенсировать теплопотери здания и обеспечивать заданный уровень температуры в обогреваемом помещении. Уровень температуры в рабочей зоне определяется требованиями производственной санитарии и составляет  $17\div 22^{\circ}\text{C}$  при легкой работе и  $13\div 18^{\circ}\text{C}$  при тяжелой работе.

Испытания макетного образца установки утилизации теплоты показали, что уже при нагрузке дизель-генератора 20 кВт утилизированный тепловой поток составляет 75 кВт и обеспечивает тепловые потребности буровой установки в самых экстремальных климатических условиях. Поэтому испытания опытного образца установки были направлены на исследования температурного режима в рабочей зоне буровой.

Предварительные и приемочные испытания установки утилизации теплоты проводились на участке колонкового бурения Янской геологоразведочной экспедиции. Испытания ставили своей целью оценить возможности установки утилизации теплоты обеспечить отопление буровой УКБ-4 в реальных производственных условиях.

Температурный режим в рабочей зоне буровой установки характеризовался тремя значениями температуры воздуха:  $t_1$  – температура на уровне пола буровой,  $t_2$  – температура на уровне 750 мм над полом,  $t_3$  – температура на высоте 1,5 м над полом. Температуры замерялись в рабочей зоне бурильщика и помощника бурильщика при температуре окружающей среды  $-25^{\circ}\text{C}$ . Нагрузка дизель-генератора - 60 кВт, утизируемый тепловой поток, подаваемый в здание буровой, составлял 17,9 кВт.  $t$  – температура в системе отопления на входе в здание буровой.

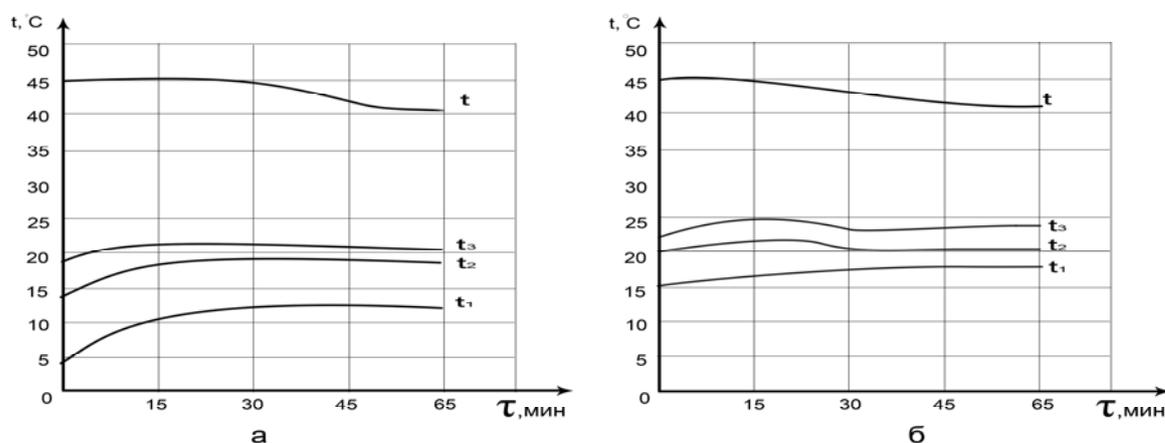
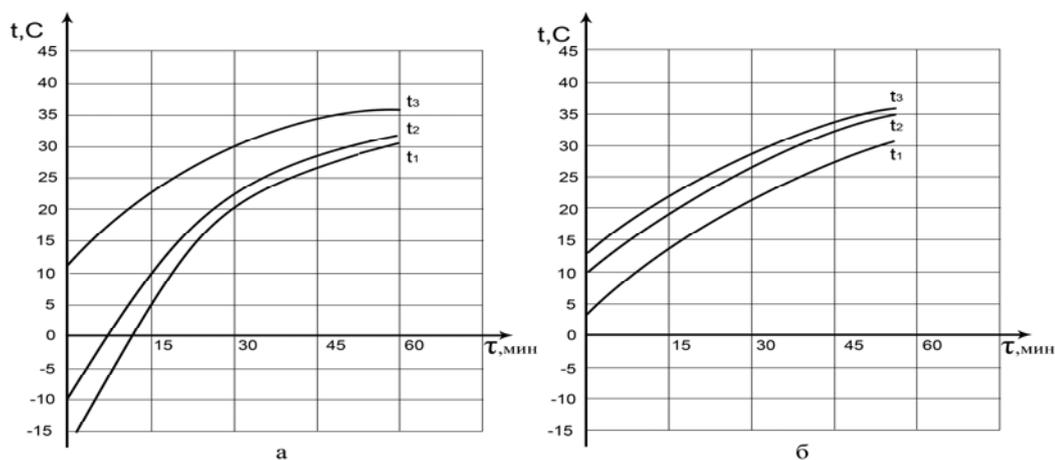


Рисунок 7. Распределение температур в рабочей зоне буровой установки при величине утилизированного теплового потока 17,9 кВт: а – в рабочей зоне помощника бурильщика; б – в рабочей зоне бурильщика.

На графике **рисунке 7.а** показано изменение температуры в рабочей зоне помощника бурильщика. При работе традиционной системы отопления температура у пола составила  $3^{\circ}\text{C}$ , в средней точке замеров –  $13^{\circ}\text{C}$  и в верхней  $18,5^{\circ}\text{C}$ . Перепад температур по высоте составил  $15,5^{\circ}\text{C}$ . После включения установки утилизации теплоты температурный режим стабилизировался и в дальнейшем менялся незначительно. Температура на уровне пола достигла  $12^{\circ}\text{C}$ , т.е. увеличилась на  $9^{\circ}\text{C}$ . Температура на уровне 750 мм от пола повысилась до  $18^{\circ}\text{C}$ , а в верхней точке до  $20,5^{\circ}\text{C}$ . При этом перепад температур по высоте снизился до  $10,5^{\circ}\text{C}$ , т.е. в 1,5 раза.

Распределение температуры на рабочем месте бурильщика представлено на **рисунке 7.б**.

При увеличении расхода воздуха, подаваемого в здание буровой, распределение температуры в рабочей зоне носит более динамичный характер (**рисунок 8**). До включения установки утилизации теплоты на рабочем месте помощника бурильщика температура воздуха составляла  $-18^{\circ}\text{C}$  на уровне пола,  $-10^{\circ}\text{C}$  на уровне 750 мм от пола и  $12^{\circ}\text{C}$  на уровне 1,5 метров от пола (**рисунок 8.а**). Замеры температуры выполнялись при включенных электронагревателях. Температура окружающей среды  $-20^{\circ}\text{C}$ , скорость ветра достигала 4 м/с. Нагрузка дизель-генератора – 50 кВт, тепловой поток, поступающий в здание буровой 61,7 кВт при температуре  $37^{\circ}\text{C}$ . Через 30 минут после включения установки утилизации теплоты температура в рабочей зоне помощника бурильщика достигла следующий значений: на уровне пола  $22^{\circ}\text{C}$ , на высоте 750 мм от пола  $23,5^{\circ}\text{C}$  и  $30^{\circ}\text{C}$  на высоте 1,5 от пола. Температурный режим выровнялся, перепад температур по высоте снизился до  $8^{\circ}\text{C}$ .



**Рисунок 8. Распределение температур в рабочей зоне буровой установки при величине утилизированного теплового потока 60 кВт: а – в рабочей зоне помощника бурильщика; б – в рабочей зоне бурильщика.**

Температурный режим в рабочей зоне бурильщика (**рисунок 8.б**) изменялся менее интенсивно, характер изменения температуры во времени близок к линейному. После включения температура на уровне пола увеличилась в течение получаса на  $18^{\circ}\text{C}$  и достигла значения  $21,5^{\circ}\text{C}$ . Температура в средней точке поднялась до  $26^{\circ}\text{C}$ , т.е. увеличилась на  $16^{\circ}\text{C}$ . Наибольшая температура отмечалась на высоте 1,5 м от уровня пола –  $28^{\circ}\text{C}$ . Перепад температур по высоте составил  $6,5^{\circ}\text{C}$ , т.е. понизился в 1,5 раза.

Использование утилизированного теплового потока передвижных ДЭС посредством разработанной системы воздушного отопления способно создать оптимальный уровень температур в рабочей зоне буровой установки, снизить перепад температур по высоте, обеспечить выполнение санитарно-гигиенических требований к микроклимату производственных зданий. Кроме этого, при использовании системы воздушного отопления в здании буровой создается избыточное давление, что снижает возможность инфильтрации холодного воздуха через технологические отверстия и проемы. Установка может быть использована для разогрева масла в гидросистеме станка, ледяных пробок в циркуляционной системе и т.п., в тех случаях, когда применение открытого огня запрещается.

Следует отметить необходимость автоматизации установки для поддержания заданной температуры в обогреваемом помещении; возможности, при необходимости, дозагрузки дизель-генератора электронагревательными приборами и надежной системой газоанализации с подачей сигнала в случае малейшей утечки выхлопных газов в систему воздушного отопления.

Высокая эффективность установок утилизации теплоты передвижных дизельных электростанций оказывает существенное влияние на выбор оптимального варианта энергоснабжения при ведении буровых работ на твердые полезные ископаемые.

Использование утилизированной теплоты для отопления буровой установки снижает предельное расстояние подключения к ЛЭП региональной сети (рисунок 9), ограничивает область оптимального использования централизованного электроснабжения. Это подтверждает необходимость комплексного подхода к вопросам энергоснабжения при выборе варианта системы.

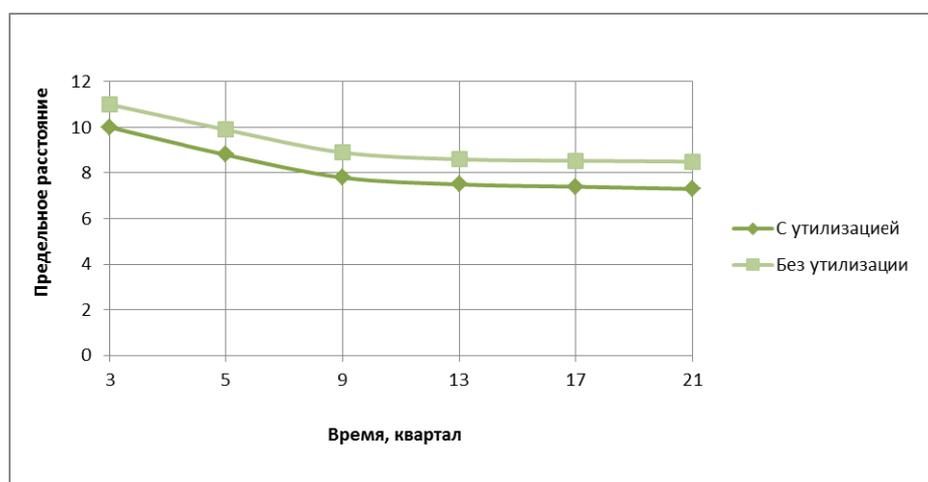


Рисунок 9. Предельное расстояние подключения к ЛЭП региональной сети.

Степень влияния систем утилизации теплоты зависит от величины экономии топлива, используемого для теплообеспечения буровых установок. Экономия топлива, в свою очередь, определяется стоимостью топлива и мощностью отопления.

Таким образом, использование утилизированной теплоты дизельных электростанций позволит:

- полностью обеспечить тепловую нагрузку буровой установки, как на отопление, так и для подогрева зумпфа;
- обеспечить комфортный уровень температур в здании буровой установки;
- позволит повысить КПД дизельной электростанции вдвое;
- обеспечит экономию топлива до 14 кг условного топлива/час.
- рекомендовать вариант энергоснабжения от передвижных ДЭС с утилизацией теплоты, как один из наиболее эффективных вариантов энергоснабжения технологических потребителей.

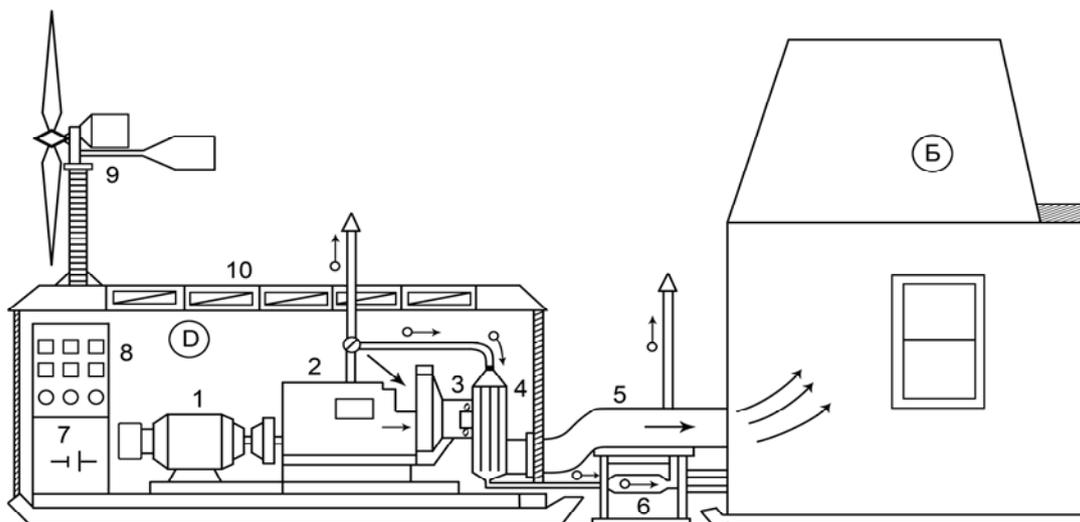
#### **Пятое защищаемое положение.**

*Наиболее эффективным направлением решения энергетических вопросов в бурении, обеспечивающим комплексное электро- и теплоснабжение при максимальном КПД энергосистемы, маневренность, всесезонность работы, комфортность труда, высокий уровень автоматизации и стандартизации оборудования является освоение энерготехнологических комплексов бурения (ЭТКБ).*

Проведенный технико-экономический анализ систем энергообеспечения буровых работ свидетельствует о том, что сегодня на фоне утраты ценовых преимуществ и доступности централизованного энергоснабжения на первые позиции выдвигается локальное комплексное энергообеспечение объектов.

В качестве локальных комплексных энергоисточников могут с успехом использоваться стандартные передвижные дизельные электростанции соответствующей мощности (50-100 кВт) с кузовами закрытого типа на колесном или санном основании, доукомплектованные воздушным утилизатором тепла (ТО-1) для обогрева помещения буровой и утилизатором остаточной теплоты выхлопных газов для подогрева бурового раствора. В принципе такая комплексная энергоустановка для выработки электрической и тепловой энергии, прошедшая испытания в экстремальных условиях Севера, позволяет полностью покрыть энергетические потребности технологических потребителей и обеспечить комфортные условия труда при суммарном коэффициенте полезного действия энергоисточника  $\eta = 0,7 - 0,8$  (КПД ДЭС без утилизаторов составляет 0,3 - 0,4). В благоприятных природных условиях с точки зрения использования возобновляемых энергоресурсов (ветра, солнца) подобного рода энергоустановка может быть конструктивно просто дооснащена соответствующими приставками в виде солнечных батарей на крышах и небольших ветроагрегатов (ВИЭ) с комплектом аккумуляторных батарей. Использование ВИЭ позволяет применять их при снижении нагрузок, повысить эффективность энергоисточника и существенно снизить расход энергии.

Применение такого индивидуального энергоисточника в сочетании с буровой установкой можно рассматривать как единый энерготехнологический комплекс бурения (ЭТКБ), позволяющий на любой стадии разведочных работ осуществлять технологические операции с минимальными суммарными энергетическими затратами, всесезонно и в любых регионах страны (**рисунок 10**).



**Рисунок 10. Схема энерготехнологического комплекса бурения (ЭТКБ):**

Б – буровая установка; D – дизельная установка; → - направление движения воздушного потока; ○→ направление движения выхлопных газов; 1 – генератор; 2 – дизель; 3 – осевой вентилятор; 4 – утилизатор тепла с воздушным теплоносителем для обогрева здания буровой установки; 5 – вентиляционные резиновые трубы; 6 – утилизатор зумпфа для подогрева промывочной жидкости; 7 – аккумуляторные батареи; 8 – щит управления; 9 – ветроагрегат; 10 – блок солнечных батарей.

Освоение ЭТКБ позволяет:

- сохраняя маневренность практически отказаться в большинстве случаев от самоходных установок на базе ДВС, а это означает повсеместное использование в бурении высокоэффективного плавнорегулируемого электропривода, обеспечивающего максимальный уровень производительности и автоматизации, всесезонную работу с обеспечением необходимой комфортности условий труда, исключение задерживания большого количества транспортных средств, поскольку передислокация ЭТКБ может производиться совместно с буровой единым на всю разведываемую площадь транспортным средством (тягачом);

- обеспечить комплексное электро- и теплоснабжение при максимальном КПД энергоустановки, т.е. с минимальными потерями энергии;

- исключить необходимость замены системы энергоснабжения при смене стадийности производства разведочных работ, т.е. исключить необходимость энерго-технического переоснащения, связанного с дальнейшими материальными затратами;

- сократить при выборе число возможных вариантов энергоснабжения технологических потребителей, поскольку системы со стационарными и полустационарными электростанциями являются неконкурентоспособными из-за сложности утилизации тепла при передвижном характере работ и стационарном энергоисточнике;

- использовать вырабатываемую электроэнергию на обогрев, поскольку КПД энергоустановки в данном случае является высоким;

- существенно снизить значения уровней предельных расстояний, т.е. экономически обоснованных расстояний присоединения к региональным ЛЭП.

Однако все эти отмеченные позитивные моменты не следует рассматривать как безусловную рекомендацию повсеместного применения только ЭТКБ. В каждом конкретном случае принятию решения о применении того или иного варианта должно предшествовать комплексное технико-экономическое обоснование. Если же, например, предварительную разведку намечается проводить сезонно, без необходимости обогрева, бурением неглубоких скважин, то может оказаться, что в таких условиях более рациональным будет использование традиционных самоходных установок с дизельным приводом.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящей диссертации приведены разработанные автором теоретические и практические положения, которые в совокупности можно квалифицировать как решение научно-технической проблемы по повышению эффективности геологоразведочных работ за счет оптимизации и совершенствования систем комплексного энергоснабжения технологических потребителей геологоразведочных работ в современных условиях.

Основные **научные выводы и практические рекомендации**, полученные в результате проведенных исследований, заключаются в следующем:

1. Обоснование оптимального варианта комплексного энергоснабжения геологоразведочных работ должно производиться на основе рекомендованной классификации систем комплексного энергообеспечения технологических потребителей по разработанной методике, учитывающей такие важнейшие экономические категории, как фактор времени, систему налогообложения, прогнозы инфляции.

2. Затраты по математическим моделям вариантов комплексного энергообеспечения объектов геологоразведочных работ определяются, главным образом, величиной энергетических нагрузок, затратами на энергию и потерями энергии. Поэтому достоверности и точности определения расчетных значений этих параметров должно быть уделено особое внимание.

3. На основании анализа сметной документации на строительство распределительных линий электропередач получена зависимость для определения сечения проводов по экономическому фактору.

4. Получены расчетные зависимости для определения оптимального уровня напряжения группового энергоисточника и предельных расстояний передачи электроэнергии по допустимому уровню потерь напряжения.

5. Установлено преобладание тепловой нагрузки в энергетическом балансе буровой установки в условиях Северо-Востока, проведена оценка их влияния на выбор оптимальной системы энергоснабжения.

6. Установлена зависимость коэффициента заполнения графика тепловой нагрузки от времени отопительного периода, что позволит установить уточненные значения расхода теплоты через установленную мощность теплогенератора.

7. На основе промышленных экспериментов в экстремальных условиях Севера, установлено, что разработанная система воздушной утилизации теплоты ДЭС позволяет:

- полностью обеспечить тепловую нагрузку буровой установки на отопление и технологические нужды;

- вдвое повысить КПД дизельной электростанции (энергоустановки);

- обеспечить необходимую комфортность условий труда;

- обеспечить экономию топлива до 14 кг у.т./час.

8. Высокая эффективность разработанных установок утилизации теплоты передвижных ДЭС оказывает существенное влияние на выбор оптимального варианта энергоснабжения при ведении буровых работ на твердые полезные ископаемые.

9. Удаленность от энергосистемы, разнообразие условий, большие потребности как в электрической, так и в тепловой энергии создают на геологоразведочных работах реально перспективные предпосылки к широкому использованию возобновляемых энергоисточников (малых ГЭС, ветроустановок, геосистем, биоэнергетики).

10. Выбор варианта энергоснабжения следует проводить на основе использования технико-экономических моделей, разработанных применительно к основным системам комплексного энергоснабжения, включающих в себя технико-экономические факторы, уточненные применительно к рассматриваемым условиям.

11. Полученные модели учитывают фактор времени, существенно влияющий на выбор варианта, что позволяет прогнозировать изменение финансовых потоков при различных сроках ведения работ.

12. В качестве технического критерия эффективности, отражающего область применения того или иного варианта энергоснабжения, может быть использовано предельное расстояние подключения к централизованным системам электроснабжения.

13. Предложена зависимость, позволяющая оценить величину предельного расстояния от технико-экономических параметров, характеризующих условия ведения геологоразведочных работ.

14. Установлено, что в наибольшей степени на величину предельного расстояния оказывают влияние: мощность потребителей, как электрическая, так и тепловая, стоимость электроэнергии и дизельного топлива.

15. Основным стратегическим направлением энергоснабжения геологоразведочных работ в постперестроечный период становится использование локальных комплексных энергоисточников.

16. Разработаны конструктивные рекомендации по обустройству энерготехнологических комплексов бурения (ЭТКБ), позволяющих с наибольшей эффективностью осуществлять технологические операции.

17. Предложен рациональный род энергетического и электротехнического оборудования для специфических условий и параметров технологии производства геологоразведочных работ.

18. Сформулированы основные направления повышения эффективности энергообеспечения геологоразведочных работ, снижение энергозатрат и повышение экологической чистоты производства.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

1. Косьянов В.А. Особенности технико-экономического обоснования системы энергообеспечения геологоразведочных работ в современных условиях. Материалы V Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Часть 3. М.: МГГА, 2001.
2. Косьянов В.А. Основные направления оптимизации энергоснабжения при проведении горных выработок. Материалы конференции Факультета техники разведки и разработки месторождений полезных ископаемых МГГРУ "Наука и новейшие технологии при освоении месторождений полезных ископаемым в начале XXI века». Часть 2. М.: МГГРУ, 2002.
3. Косьянов В.А. Обоснование методики выбора проводов линий электропередач по экономическому критерию. Материалы VI Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Часть 2. М.: МГГРУ, 2003.
4. Косьянов В.А. Совершенствование методики технико-экономического сравнения вариантов электроснабжения геологоразведочных работ. Материалы конференции Факультета техники разведки и разработки месторождений полезных ископаемых МГГРУ "Наука и новейшие технологии при освоении месторождений полезных ископаемым». Часть 2. М.: МГГРУ, 2004.
5. Косьянов В.А. Обоснование предельных расстояний размещения приемников от энергоисточника по условиям обеспечения необходимого уровня напряжения. Материалы VII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Часть 2. М.: МГГРУ, 2005.
6. Лимитовский А.М., Косьянов В.А. Электрооборудование и электроснабжение геологоразведочных работ. М.: МГГРУ, 2005.
7. Косьянов В.А., Меркулов М.В. Обоснование оптимального сечения проводов распределительных пиний электропередач напряжением до 1кВ и рекомендуемого порядка их расчета. Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». М.: РГГРУ, 2006.
8. Косьянов В.А., Бадулин О.В. Тенденция развития системы энергоснабжения отдаленных районов в современных условиях. Материалы VIII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том 6. М.: РГГРУ, 2007.
9. Меркулов М.В., Соловьев Н.В., Косьянов В.А. Повышение эффективности буровых работ путем совершенствование системы их электроснабжения. «Разведка и охрана недр». Выпуск 11. М: ФГУП ВИМС, 2007.
10. Косьянов В.А. Особенности расчета сечения проводов электрических сетей при ведении геологоразведочных работ. Материалы Международной научно-практической конференции «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы». М.: РГГРУ, 2008.

11. Косьянов В.А., Меркулов М.В., Чернов Д.А. Повышение эффективности использования передвижных дизельных электростанций при ведении геологоразведочных работ. Материалы Международной научно-практической конференции «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы». М.: РГГРУ, 2008.
12. Меркулов М.В., Косьянов В.А. Обоснование оптимального варианта энергоснабжения на основе технико-экономического моделирования. «Горный информационно-аналитический бюллетень», №8, 2008. М: МГГУ. Справка о деп. № 645/08-08 от 28 апреля 2008 г.
13. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Косьянов В.А. Энергообеспечение технологических потребителей геологоразведочных работ. М: ИПЦ «МАСКА», 2008.
14. Лимитовский А.М., Косьянов В.А., Гуляева Л.А. Внедрение воздушных линий с покрытыми изоляцией проводами при энергообеспечении геологоразведочных работ. Материалы IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том 2. М.: РГГРУ, 2009.
15. Косьянов В.А. Экономическая оценка систем энергоснабжения геологоразведочных работ. Материалы IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том 2. М.: РГГРУ, 2009.
16. Меркулов М.В., Косьянов В.А. Теплотехника и теплоснабжение геологоразведочных работ. Волгоград: ИД «Ин-Фолио», 2009.
17. Лимитовский А.М., Косьянов В.А. Электрооборудование и электроснабжение геологоразведочных работ. М: РУДН, 2009.
18. Косьянов В.А., Башкуров А.Ю. Энерготехнологический комплекс бурения. Материалы VI Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». М.: РГГРУ, 2010.
19. Косьянов В.А., Бадулин О.В. К вопросу уточненного определения средних и расчетных мощностей буровых установок. Материалы VI Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». М.: РГГРУ, 2010.
20. Лимитовский А.М., Косьянов В.А., Соловьев А.М. О классификации систем энергообеспечения буровых работ на твердые полезные ископаемые. Материалы VI Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». М.: РГГРУ, 2010.
21. Косьянов В.А., Меркулов М.В. Оптимизации технических решений на основе экономико-математического моделирования. «В мире научных открытий», № 2, Часть 3. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2010.
22. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Косьянов В.А., Ивченко И.А. Особенности обоснования оптимальных систем энергоснабжения геологоразведочных работ в современных условиях. «Разведка и охрана недр». Выпуск 6. М: ФГУП ВИМС, 2010.

23. Меркулов М.В., Косьянов В.А., Ивченко И.А. Перспективы использования возобновляемых источников энергии на геологоразведочных работах. «Разведка и охрана недр». Выпуск 8. М: ФГУП ВИМС, 2010.
24. Лимитовский А.М., Косьянов В.А., Скачков П.А. Об электроснабжении геологоразведочных электрических сетей в современных условиях. «Горный информационно-аналитический бюллетень», №2, 2011. М: Издательство МГГУ. Справка о деп. № 786/02-11 от 02 ноября 2010 г.
25. Косьянов В.А. Исследование уровней потерь напряжения в распределительных линиях электропередач при ведении геологоразведочных работ. «Горный информационно-аналитический бюллетень», №4, 2011. М: Издательство МГГУ. Справка о деп. № 805/03-11 от 14 декабря 2010 г.
26. Косьянов В.А., Лимитовский А.М. Классификация систем комплексного энергообеспечения геологоразведочных работ и выбор оптимального варианта. Известия ВУЗов «Геология и разведка». № 1. М: РГГРУ, 2011.
27. Косьянов В.А., Меркулов М.В. Анализ энергопотребления при ведении геологоразведочных работ в условиях Крайнего Севера. «Разведка и охрана недр». Выпуск 2. М: ФГУП ВИМС, 2011.
28. Косьянов В.А. Стратегия и основные направления совершенствования энергетики геологоразведочных работ в современных условиях. «Горный информационно-аналитический бюллетень», №4, 2011. М: Издательство МГГУ. Справка о деп. № 822/04-11 от 27 января 2011 г.
29. Косьянов В.А., Меркулов М.В. Технические критерии оптимизации при выборе систем энергоснабжения геологоразведочных работ. «Горный информационно-аналитический бюллетень», №4, М: Издательство МГГУ, 2011.
30. Косьянов В.А., Лимитовский А.М. Оптимизация и совершенствование комплексного энергообеспечения геологоразведочных работ в современных условиях. М.: РИО РГГРУ, 2011.
31. Косьянов В.А. Основные направления повышения эффективности энергообеспечения геологоразведочных работ. Известия ВУЗов «Геология и разведка». № 2. М: РГГРУ, 2011.
32. Лимитовский А.М., Косьянов В.А. Особенности расчета и устройства электрических сетей на геологоразведочных работах. Материалы X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том 2. М.: РГГРУ, 2011.
33. Косьянов В.А., Лимитовский А.М. Классификация систем комплексного энергоснабжения геологоразведочных работ. Материалы X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том 2. М.: РГГРУ, 2011.
34. Лимитовский А.М., Косьянов В.А., Скачков П.А. Особенности централизованного электроснабжения геологоразведочных работ от региональных сетей. Материалы X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том 2. М.: РГГРУ, 2011.
35. Лимитовский А.М., Косьянов В.А., Башкуров А.Ю. Проблемные вопросы и их решение при освоении систем полустационарного энергоснабжения на буровых работах. Материалы X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том 2. М.: РГГРУ, 2011.

36. Косьянов В.А., Лимитовский А.М., Бадулин О.В. Методические уточнения по определению средней и расчетной электрической мощности на буровых работах. Материалы X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том 2. М.: РГГРУ, 2011.
37. Косьянов В.А., Лимитовский А.М. О перспективе энерго-технологических комплексов буровых работ в современных условиях. Материалы X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том 2. М.: РГГРУ, 2011.
38. Косьянов В.А., Лимитовский А.М. Перспектива и область использования возобновляемых энергоресурсов при ведении геологоразведочных работах. Материалы X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Том 2. М.: РГГРУ, 2011.
39. Косьянов В.А., Лимитовский А.М. Разработка классификации систем комплексного энергообеспечения буровых работ в современных условиях. Научно-технический журнал «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». № 5. М: ВНИИОЭНГ, 2011.
40. Косьянов В.А., Лимитовский А.М. Обоснование классификации систем комплексного энергоснабжения технологических потребителей геологоразведочных работ. Материалы XI Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». Н.Новгород: НГТУ, 2011.
41. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Косьянов В.А. Использование возобновляемых энергоресурсов при ведении геологоразведочных работах. Материалы XI Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». Н.Новгород: НГТУ, 2011.
42. Косьянов В.А., Лимитовский А.М. Энерготехнологические комплексы буровых работ. Материалы XI Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». Н.Новгород: НГТУ, 2011.