

На правах рукописи

НУРБОСЫНОВ ДУЙСЕН НУРМУХАМЕДОВИЧ

**МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСАХ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕДОБЫЧИ**

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой
степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург
2003

Работа выполнена в Альметьевском нефтяном институте

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Ершов М.С.

доктор технических наук, профессор

доктор технических наук, профессор

Смоловик С.В.

Ведущая организация:

Открытое Акционерное Общество

«Татэнерго»

Республика Татарстан, г. Казань

Защита состоится "13" ноября 2003 г. в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.212.229.20 в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, главный корпус ауд. № 151.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке университета.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2003 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета, кандидат техн. наук, доцент

Курмашев А.Д.

АЛЬМЕТЬЕВСКИЙ НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи
УДК 681.3+681.518:519.24
621.316.1:622.012

НУРБОСЫНОВ ДУЙСЕН НУРМУХАМЕДОВИЧ

**МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСАХ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕДОБЫЧИ**

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Альметьевск
2003

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние годы резко возросла роль нефтяных предприятий в экономике страны и в ее народнохозяйственной системе в целом. Поэтому исследования, проводимые в нефтедобывающей отрасли и направленные на повышение эффективности нефтедобычи, являются весьма актуальными. Одно из важнейших направлений этих исследований – минимизация потерь электроэнергии при добыче, транспортировке и переработке углеводородного сырья.

Нефтегазодобывающие комплексы (НГДК) являются крупными и ответственными потребителями электрической энергии. Сумма расходов на электроэнергию на различных НГДК составляет от 30 до 50% от общей суммы затрат при нефтедобыче. В целом, по России эти расходы достигают нескольких десятков миллиардов рублей.

Снижение энергопотребления на промыслах даже на единицы процентов за счет организационно-технических мероприятий, не требующих высоких единовременных капитальных вложений, ведет к экономии для народного хозяйства страны огромных финансовых средств.

В данной работе основное внимание уделено анализу режимов работы действующих систем электрооборудования и электроснабжения нефтепромыслов, оптимизации структур электроснабжения и обеспечению оптимальных с позиций энергосбережения значений напряжения и законов их регулирования на различных уровнях этих систем. Диссертационная работа базируется на фундаментальных исследованиях отечественных и зарубежных ученых, которые проводились как в академических и отраслевых институтах, так и в учебных вузах. В ряде исследований, выполненных в Санкт-Петербургском государственном горном институте и Альметьевском нефтяном институте, принимал участие автор данной работы. За рубежом наибольших успехов в области энергосбережения при нефтедобыче достигли фирмы Westinghouse Electric, Ventura, General Electric и ряд других.

В результате этих исследований был создан ряд новых современных элементов систем электроснабжения:

- трансформаторы с регулятором напряжения под нагрузкой (РПН), включающими в себя устройства автоматического регулирования коэффициента трансформации напряжения (АРТ-1Н);
- синхронные двигатели с эффективными системами самовозбуждения и бесщеточными системами возбуждения (ССВ и БСВ);
- установки продольной компенсации (УПК) с устройствами защиты от перенапряжений.

Получили дальнейшее развитие установки поперечной компенсации (УПЕК) и различного рода подсистемы АСУ с принципиально новыми функциональными свойствами. Значительно расширилось применение микропроцессорной техники, использование автоматических и автоматизированных систем различных уровней.

Внедрение указанных разработок несомненно повышает эффективность использования электроэнергии на нефтепромыслах. Но, анализируя итоги

завершенных исследований, следует отметить их существенный недостаток – отсутствие системного подхода при решении проблемы минимизации затрат электроэнергии в системах электроснабжения и электрооборудования нефтепромыслов.

Еще в 1991 году автор, совместно со своими коллегами, предложил комплекс мероприятий, направленных на повышение эффективности предприятий нефтедобычи [7,10-15]. К сожалению, учитывая произошедшую за последнее десятилетие децентрализацию народного хозяйства, потребовались значительные корректировки принятых в прошлом рекомендаций и решений.

Наблюдения за эффективностью предприятий нефтедобычи, в частности предприятий Волго-Камского региона, проведенные в последнее время показывают следующее:

1. На фоне общего истощения эксплуатируемых месторождений резко возрастает число скважин, находящихся в поздней или завершающей стадии функционирования. Как правило, при этом нефть характеризуется высокой вязкостью, большим содержанием асфальто-смоло-парафинистых компонентов. Очевидно и снижение роли естественных пластовых давлений. Только в ОАО "Башнефть" таких скважин уже 80 %, в ОАО "Татнефть" - 20 %.

Практика показывает, что на таких промыслах затраты на электроэнергию возросли особенно резко, достигая 50% от всех затрат предприятия нефтедобычи.

2. Нарушение системно обоснованных принципов автоматизации различных структур, разрыв связей по компонентам обеспечения структур, которые целесообразно было бы оставить централизованными, и невнимание к созданию контуров самообеспечения отразились как на составе основного и вспомогательного технологического оборудования промыслов, так и на формировании эффективных локальных контуров энергообеспечения.

3. Следует отметить, что нефтегазодобывающие комплексы Волго-Камского района характеризуются все более возрастающей территориальной рассредоточенностью при недостаточном уровне информационного взаимодействия технологических объектов различного уровня и пунктов диспетчерского управления. Ожидать коренного улучшения ситуации за счет развития иерархической системы управления энергоснабжением, основанной на переработке большого количества управляющей информации, в ближайшие годы не приходится.

4. Внедрение новых, перечисленных выше узлов и элементов в системы электрооборудования и электроснабжения не приносит, как правило, ожидаемого экономического эффекта. Это связано, прежде всего, с отсутствием системного подхода при внедрении новых разработок. Системы электроснабжения и электрооборудования являются кровеносной и двигательной системами единого живого организма – НГДК. Замена отдельных элементов на более совершенные без перенастройки всего комплекса в целом, чаще всего ведет к недоиспользованию возможностей новых элементов.

Попытки комплексного подхода при внедрении новых разработок предпринимались [23,24,26,27], но неудачно выбранные "границы"

исследуемого объекта приводили к смещению понятий "цель – средство". Объективное существование в такой сложной системе как НГДК не формализуемых аналитически связей приводит к тому, что разработанные математические модели отдельных фрагментов систем и процессов в них сложно математически строго оптимизировать.

Применительно к рассматриваемой здесь проблеме минимизации потерь электроэнергии это означает, что термин "оптимизация системы" следует рассматривать как понятие семантическое, а не математическое. Пока вряд ли возможно вообще формализовать аналитический векторный функционал качества (критерий оптимизации) и ограничения на параметры пространственных координат и состояния объекта, имея в виду, что при комплексном (системном) рассмотрении должны быть отражены во взаимосвязи не только технико-технологические, но социально-экономические и экологические факторы.

Поэтому в основу методологии исследований, представленных в данной работе были положены общие принципы системного анализа сложных динамических объектов. Так как непосредственной целью этих исследований является формирование системно обоснованных рекомендаций по энергосбережению на предприятиях нефтедобычи, то необходимо было предварительно решить следующие задачи:

- конкретизировать используемые принципы системного подхода;
- отобразить эти (общие) принципы на предметную область нашего объекта исследования;
- сформировать системно обоснованный перечень технико-технологических задач и последовательность их решения так, чтобы их совокупность дала решение проблемы энергосбережения в целом.

Основной проблемой настоящего исследования, определяющей его **научную значимость и новизну**, является комплексное решение задач энергосбережения в нефтяной промышленности России.

Данная работа выполнялась в соответствии с планом реализации комплексных научно-технических программ, ориентированных на создание и освоение новых подсистем АСУ, автоматизированных линий, электроустановок, аппаратов, агрегатов и другого оборудования, а также на совершенствование систем электроснабжения, электрооборудования, повышение эффективности, безопасности и экономичности использования электрической энергии в народнохозяйственной системе.

Диссертационная работа направлена на изучение процессов передачи и распределения электрической энергии, а также принципов и средств управления объектами, определяющими функциональные свойства создаваемых и действующих электротехнических комплексов и систем специального назначения в нефтяной промышленности.

Цель исследования:

- разработка и обоснование концепции минимизации потерь электроэнергии в электротехнических комплексах и системах электроснабжения (ЭС), обеспечивающих при внедрении полученных

рекомендаций снижение потребления электрической энергии при сохранении на заданном уровне производительности нефтедобывающего оборудования;

- выявление причин неоправданных потерь и выработка рекомендации по их устранению;

- разработка математических моделей электротехнических комплексов и систем электроснабжения, позволяющих оценить составляющие потерь в них и исследовать зависимость этих потерь от режимов работы электрооборудования;

- разработка методов и алгоритмов управления электротехническими комплексами нефтедобывающих предприятий, базирующихся на предложенных математических моделях этих комплексов и обеспечивающих минимизацию потерь электроэнергии в них.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие задачи, касающиеся:

- минимизации потерь электроэнергии основного технологического оборудования – исполнительного модуля добычной скважины (ИМ);

- минимизации потерь электроэнергии за счет согласования параметров исполнительного модуля и компонентов модуля преобразования, распределения и обеспечения (МПРО);

- минимизации потерь электроэнергии и повышения устойчивости СЭС при коммутации добычных установок с погружными приводами;

- минимизации потерь электроэнергии и повышения устойчивости при коммутации добычных установок с поверхностными (наземными) приводами;

- разработки методов измерения и усовершенствования технических средств контроля и учета активной и реактивной составляющих электрической энергии;

- разработки технических средств централизованного и автономного регулирования режимов напряжения и электропотребления.

Методологической основой исследований являются: теория системного подхода к решению вопросов о системе, структуре, функциях и системообразующих связях; методы теории электрических цепей; методы математического моделирования; прикладная гидродинамика; методы теории управления и оптимизации технических систем.

Объектом исследования является система энергообеспечения нефтегазодобывающего комплекса (управления, предприятия) – электротехнические комплексы и системы генерирования электрической энергии, электроприводы, системы электроснабжения и электрооборудования предприятий нефтедобычи и специальная техника (погружные электродвигатели (ПЭД), винтовые насосные установки (ВНУ) с асинхронным электродвигателем на поверхности, т.е. поверхностным приводом (ПП)).

Объект рассмотрения является неотъемлемой составной частью технических систем более высокого уровня. Методом декомпозиции технические системы высокого уровня разделены на составные части.

На **первом** этапе исследованы режимы работы электротехнического комплекса добычной скважины (ЭКДС), на **втором** - электротехнического комплекса предприятия (ЭКП), на **третьем** этапе - электротехнического

комплекса крупного узла электрической нагрузки (ЭККУЭН).

Область исследования: развитие общей теории электротехнических комплексов и систем НГДК, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое и компьютерное моделирование электротехнических комплексов и систем; обоснование совокупности технических, технологических и экономических критериев оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов и систем всех рассматриваемых уровней и в целом объекта рассмотрения; разработка структурного и параметрического синтеза электротехнических комплексов и систем, минимизация потерь энергии в них и разработка алгоритмов эффективного управления; исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах при разнообразных внешних и внутренних воздействиях (при возмущениях входного напряжения и изменениях гидродинамических свойств нефтедобывающих скважин).

Научная новизна и теоретическая значимость исследований заключается в следующем:

- в разработке методов расчета и математических моделей, позволяющих обосновать и оценить принимаемые решения в области проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов и систем электроснабжения;

- в развитии общей теории физического, математического и компьютерного моделирования режима работы электротехнических комплексов и систем электроснабжения при различных внешних и внутренних воздействиях;

- в разработке структурного и параметрического синтеза электротехнических комплексов и систем электроснабжения, их оптимизации, а также в разработке алгоритмов эффективного управления.

Основные результаты настоящего исследования:

1. Установлена специфика режимов работы электротехнических комплексов НГДК и сформулированы требования к питающей электрической сети, разработаны методы расчетов и математические модели СЭС, а также методы расчетов режимов регулирования напряжения и электропотребления.

2. Предложена научно обоснованная концепция регулирования режимов работы электротехнических комплексов СЭС, которая обеспечивает снижение потребления электрической энергии при сохранении на заданном уровне производительности нефтедобывающего оборудования.

3. Предложены локальные быстродействующие автоматические устройства, обеспечивающие запуск и самозапуск электроприводов при воздействии на электрическую сеть внешних и внутренних возмущающих факторов.

4. Разработаны методы измерения и измерительные устройства, позволяющие оценить потери электрической энергии на различных структурных уровнях СЭС и систем электрооборудования.

5. Впервые выполнены исследования в установившихся и переходных

процессах винтовой насосной установки с поверхностным приводом (ВНУсПП) и доказана техническая и экономическая целесообразность ее широкого применения.

Практическая ценность диссертационной работы:

- разработка технических средств для измерения энергетических параметров исполнительного модуля ЭКП;
- разработка технических средств местного и централизованного автоматического управления и регулирования режима напряжения и электропотребления;
- проведение экспериментально-промышленного исследования с использованием статических компенсаторов потерь напряжения и реактивной мощности и блока автоматического регулирования привода РПН, подтвердившего теоретически полученные законы регулирования режимов напряжения СЭС и систем электрооборудования, обеспечивающие минимизацию электрических потерь в нефтедобывающих комплексах;
- получение граничных значений энергетических характеристик установившихся и переходных процессов, позволяющих повысить степень автоматизации системы электроснабжения НГДК, уменьшить прямые и косвенные затраты на электроэнергию, улучшить режим работы всего электрооборудования, сетевой автоматики и релейной защиты;
- разработка дифференциальных устройств по определению параметров режимов напряжения и электропотребления, обеспечивающих непрерывный контроль за отклонением напряжения и изменением потребления активной и реактивной мощности, а также контроль за регулирующими параметрами;
- создание теплового расходомера жидкости и газа, который дополняет подсистему АСУ и расширяет ее функциональные возможности;
- создание статического компенсатора потерь напряжения, который обеспечивает местное, независимое, быстродействующее автоматическое регулирование уровня напряжения;
- разработка методов измерения и измерительных устройств, позволяющих осуществлять текущий анализ постоянной и переменной составляющих потерь мощности в СЭС и системах электрооборудования.

Апробация исследования.

Основные положения и результаты диссертационной работы обсуждались: на II Коми Республиканском научно-техническом семинаре "Разработка полезных ископаемых и горно-шахтное строительство в условиях Крайнего Севера" (г. Ухта, 1988 г.); на IV Коми Республиканском научно-техническом семинаре "Передовые технологии разведки и добычи полезных ископаемых, особенности строительства и экологии в условиях Крайнего Севера" (г. Воркута, 1990 г.); на V Коми Республиканском научно-техническом семинаре "Новые достижения в технологии разведки и добычи полезных ископаемых, вопросы строительства и экологии на Крайнем Севере" (г. Ухта, 1991г.); на Всесоюзном научно-техническом совещании "Технико-экономические проблемы повышения надежности и безопасности систем энергоснабжения промышленных предприятий" (г. Санкт-Петербург, 1991г.); на

научно-технической конференции "Проблемы стандартизации в энергетике и энергоснабжении" (г. Киев, 1991г.); на VI научно-технической конференции "Технико-экономические проблемы оптимизации режимов электропотребления промышленных предприятий" (г. Челябинск, 1991г.); на I Международном симпозиуме "Автоматическое управление энергообъектами ограниченной мощности" (г. Санкт-Петербург, 1991г.); на II Международном симпозиуме "Автоматическое управление энергообъектами ограниченной Мощности" (г. Санкт-Петербург, 1992г.); на Automated control device for monitoring electric power supply of a mining enterprise load node //Proceedings of the second international symposium on mine mechanization and automation / Lulea / Swedn / 7-10 JUNE 1993. Mine Mechanization an Automation; на Российско-Финляндском семинаре "Автоматизированные системы управления электропотреблением для предприятий горнодобывающей промышленности и перерабатывающего комплекса" (г. Санкт-Петербург-Хельсинки, 1994 г.).

Публикации.

Общее количество публикаций по теме диссертации – 33 печатные работы, в том числе 2 монографии и 2 авторских свидетельства. Результаты научных исследований отражены в 4 отчетах, прошедших государственную регистрацию, и в 10 методических разработках для студентов СПГИ и Альметьевского нефтяного института.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Требования к режимам работы электрооборудования, питающей электрической сети и к качеству электрической энергии, продиктованные спецификой применяемого электрооборудования и технологией добычи нефти.

2. Аналитические соотношения, методы расчетов и математические модели исполнительных приводных модулей электротехнических комплексов НГДК, позволившие исследовать статические и динамические режимы работы. В частности, математическая модель модулей ЭКДС с ВНУсПП, используемых для извлечения вязкой и высоковязкой нефти и битума на дневную поверхность.

3. Концепция режимного регулирования исполнительных приводных модулей электротехнических комплексов, обеспечивающая минимизацию потерь электроэнергии при сохранении на заданном уровне производительности нефтедобывающего оборудования.

4. Теоретические и методические основы проектирования исполнительных модулей электротехнических комплексов НГДК с учетом технологических особенностей их применения и специфики протекания статических и динамических режимов их работы.

5. Закономерности регулирования параметров электропотребления при автоматическом управлении режимом электроснабжения и обеспечении информационно-управляющего взаимодействия между СЭС и исполнительными модулями электротехнических комплексов НГДК.

6. Комплексный метод измерения электрической нагрузки разветвленной системы электропотребления, метод наложения суточных графиков напряжения по определению оптимальных зон нечувствительности, количества

переключений привода РПН и времени выдержки на переключение. Совокупность технических средств измерения, основанных на ортогональном и дифференциальном методах, позволяющих измерять и контролировать параметры режима напряжения в составе подсистемы АСУЭ.

7. Совокупность усовершенствованных технических средств компенсаций реактивной мощности и потерь напряжения и схем их включения, обеспечивающих запуск и самозапуск электроприводов исполнительных модулей электротехнических комплексов НГДК при любом сочетании факторов, воздействующих на электрическую сеть; результаты практического применения подсистемы БАР-РПН.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения и содержит 115 рисунков, 29 таблиц, библиографический список из 235 наименований и 6 приложений, изложенных на 327 страницах машинописного текста.

Во **введении** обоснован выбор темы диссертации, ее актуальность, определены цель, задачи, предмет и объем исследования, представлена методология исследования, сформулированы новизна, теоретическая и практическая значимость результатов данной работы.

В первой главе в основу системного подхода к решению «проблем энергосбережения на предприятиях нефтедобычи» путем минимизации потерь электроэнергии в исполнительных модулях электротехнических комплексов НГДК положена методология «системного анализа и принятия решений».

В научных исследованиях, на которые опирается методология, выделены необходимые основные принципы системного подхода к объекту рассмотрения. Они отображены на предметной области исследуемой конкретной народно-хозяйственной проблемы. Сформулированы основные задачи, решение которых позволило выработать системно обоснованные рекомендации по минимизации потерь электроэнергии в исполнительных модулях электротехнических комплексов НГДК.

Изучен вопрос об адекватности моделей объектов рассмотрения, которые использованы для анализа и синтеза систем или процессов в них - самим объектам рассмотрения. Показано, что кроме проблемы размерности на адекватность модели влияет и вид формализации объекта рассмотрения. Минимизировано разночтение в отображении реального объекта рассмотрения в виде построенной семантической модели. При построении моделей объекта рассмотрения в общем плане, отмечено следующее:

1. Поскольку модель - не цель исследования, а средство, то рассмотрение уже существующих (ранее разработанных) моделей, но под другим углом зрения (например, вариации ранее неизменяемых параметров) дает новые результаты.

2. Определены два положительных момента при построении семантических моделей. Первый момент - это точное определение границ объекта рассмотрения, т.е. возможность вычленения из среды системно обоснованной целостности. Второй момент - это возможность учитывать действительно существенные факторы и оставлять без внимания факторы

несущественные.

Выделенные (существенные) связи объекта рассмотрения со средой позволили конкретизировать причины возникновения, точки приложения различного рода возмущений (это возмущения входного напряжения и хаотичное изменение электрической нагрузки).

Рассмотрены принципы отображения (моделирования) внутренней структуры объекта рассмотрения и выделены в ней некоторые целостности - модули. Это модули технологические, технические и информационные.

Основным отличием модуля от простой целостности является наличие у него совокупности свойств, позволяющих, не разрушая системы (структуры), в которую он входит, при необходимости изымать его, заменяя на другой, имеющий то же функциональное назначение, но обладающий, например, большей эффективностью (смена исполнительного модуля - привода возвратно-поступательного действия на привод вращательного действия при использовании технологии добычи высоковязкой нефти).

Технические объекты рассмотрения, обладающие свойством управляемости, имеют минимум четыре функциональных модуля: модуль преобразования, распределения и обеспечения, исполнительный модуль, модуль управления (МУ), модуль сбора и предварительной обработки информации (МСПОИ).

Необходимо помнить, что некоторые объекты рассмотрения могут иметь какие-то функциональные модули в неявной форме, (по аналогии с системами, управляемыми по разомкнутому циклу, т.е. системами с параметрическим управлением).

В данной главе рассмотрены лишь некоторые аспекты проблемы автономии и централизации. В общем виде описан алгоритм формирования системно обоснованных рекомендаций по минимизации потерь электроэнергии в исполнительных модулях электротехнических комплексов НГДК каких бы то ни было структур сложных динамических объектов и процессов, в них происходящих.

В общем случае, процесс решения этих задач итерационный.

Показано, что этот алгоритм методологически подобен процедуре построения (синтеза) технических систем управления, оптимизируемых по какому-либо критерию качества, формализованному соответствующим функционалом.

Частично решены оптимизационные задачи в математической и в семантической трактовке этого понятия, на основании чего достигнуто повышение эффективности работы объекта рассмотрения путём минимизации потерь электроэнергии в исполнительных модулях электротехнических комплексов НГДК.

На базе перечисленных атрибутов системного анализа обосновано условное вычленение объекта рассмотрения из среды таким образом, что:

- с одной стороны, не нарушены принципы системно обоснованного вычленения;

- с другой стороны, построены машинные модели вычленяемой

структуры, достаточно адекватные реальному объекту рассмотрения - исполнительным модулям электротехнических комплексов НГДК

В результате исследования определены методы и технические средства, позволяющие обеспечить энергосбережение на предприятиях нефтедобычи, произведено системно обоснованное вычленение объекта рассмотрения (ОР), определены границы ОР, включающая в себя, по существу, все элементы функциональных модулей.

При этом предметная область ограничена рамками такой условно автономной народно-хозяйственной структуры, как Открытое Акционерное Общество «Татнефть». По существу, вся нефтедобывающая промышленность Волжско - Камского региона структурирована как совокупность таких ОАО. Проблемы, с которыми сталкиваются эти ОАО, во многом схожи, хотя есть и достаточно важные отличия, которые далее оговорены отдельно.

Выполнен анализ научной литературы обо всех известных способах улучшения энергетических показателей электрооборудования нефтедобычи. Установлено, что наиболее эффективными являются способы, основанные на применение местных установок поперечной и продольной компенсации (УПЕК и УПК), подключенных непосредственно к каждому электроприемнику исполнительного модуля.

Задачи автоматического управления и регулирования режима напряжения и электропотребления решены комплексно с учетом возможностей всех основных элементов системы электроснабжения и компенсирующих установок (КУ). А проблемы обеспечения требуемых показателей качества электрической энергии в современных электрических сетях практически решены с использованием всех существующих на предприятиях нефтедобычи устройств автоматического управления и регулирования режима напряжения, путем децентрализации УПЕК в центре питания (ЦП) и определением его параметра в индивидуальной УПЕК, с реактивной мощностью равной $Q_{\text{упек}} = 0,6 \Sigma S_{\text{н}}$ или $Q_{\text{упек}} = 0,7 \Sigma Q_{\text{н}}$, при таком значении реактивной мощности режим перекомпенсации в электрической сети не возникает, где $\Sigma S_{\text{н}}$ и $\Sigma Q_{\text{н}}$ номинальные полная и реактивная мощности исполнительного модуля ЭКДС. Определены параметры индивидуального УПК, с реактивным сопротивлением $X_{\text{упк}} = 0,8 \Sigma X_{\text{ЭКДС}}$. Определено, для обеспечения нормального режима работы всего электрооборудования ЭКП доля индивидуальной компенсации реактивной мощности должна составлять 90 % при заданном значении тангенса 0,25.

В этом плане весь объект рассмотрения представлен в целом на рис.1. При его рассмотрении констатируем, что нефтегазодобывающий комплекс, по существу, является одним из исполнительных модулей ОАО.

Поскольку основным вопросом данной работы являются проблемы, связанные с минимизацией энергозатрат, проведена декомпозиция всей системы электроснабжения, вычленив попутно локальные объекты рассмотрения. При этом будем иметь в виду реально существующее основное оборудование (насосные установки с электроприводами) и вспомогательное

оборудование (дожимные, кустовые, буровые установки и электро- или паронагреватели), а также компоненты (участки) электрических сетей от магистральной ЛЭП до потребителей и системы всего комплекса энергообеспечения (в соответствии с рис.1).

Произведено целесообразное вычленение в объекте рассмотрения следующих подсистем:

1. Подсистема, включающая в себя исполнительный модуль ЭКДС и сопряженный с ними участок питающей линии.

2. Исполнительный модуль ЭКП, включающий в себя несколько различных по параметрам потребителей, т.е. групповую нагрузку (силовой трансформатор промышленной подстанции, исполнительные модули ЭКДС, вспомогательные модули - отходящие линии).

3. Исполнительный модуль ЭККУЭН в рамках установившихся процессов преобразования энергии.

Произведён полный системный анализ объекта рассмотрения, приведённого на рис.1. Результаты анализа систематизированы и классифицированы по исполнительным модулям, полученным в результате декомпозиции.

В терминологии теории автоматического управления, технической кибернетики, объект рассмотрения есть, в общем случае, система с переменной структурой и переменными параметрами.

Рассмотрены циклограммы функционирования основного и вспомогательного технологического оборудования и выявлено, что они – кусочно-непрерывные. В результате анализа выявлено, что при разрывах непрерывности происходят включения (выключения) весьма энергоёмкого оборудования.

Необходимо сказать, что в силу общей бессистемной децентрализации народно-хозяйственной системы и ее топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в целом, из-за усугубившихся противоречий между производителями электроэнергии, энергосбытовыми предприятиями и конкретными объектами рассмотрения, из-за отсутствия системно обоснованного регламента прогнозирования и планирования процесса устойчивости и развития и, наконец, из-за отсутствия самой теории (методологии) системно обоснованного анализа и синтеза конкретных объектов рассмотрения - исполнительных модулей электротехнических комплексов НГДК - переключения в их структурах происходят случайным образом.

Переключения мощных потребителей приводят к «провалам напряжения» в электрической сети и нарушению режимов работы остальных электроприемников. При изменениях параметров электрических нагрузок уровень напряжения в различных точках электрической сети также меняется.

В первую очередь решены вопросы минимизации потерь электроэнергии, связанные с исполнительным модулем системы - объекта рассмотрения.

Таковыми в нашем случае являются единицы (подсистемы), полученные в результате декомпозиции объекта рассмотрения - исполнительные модули электротехнических комплексов добычных скважин, предприятий и крупных

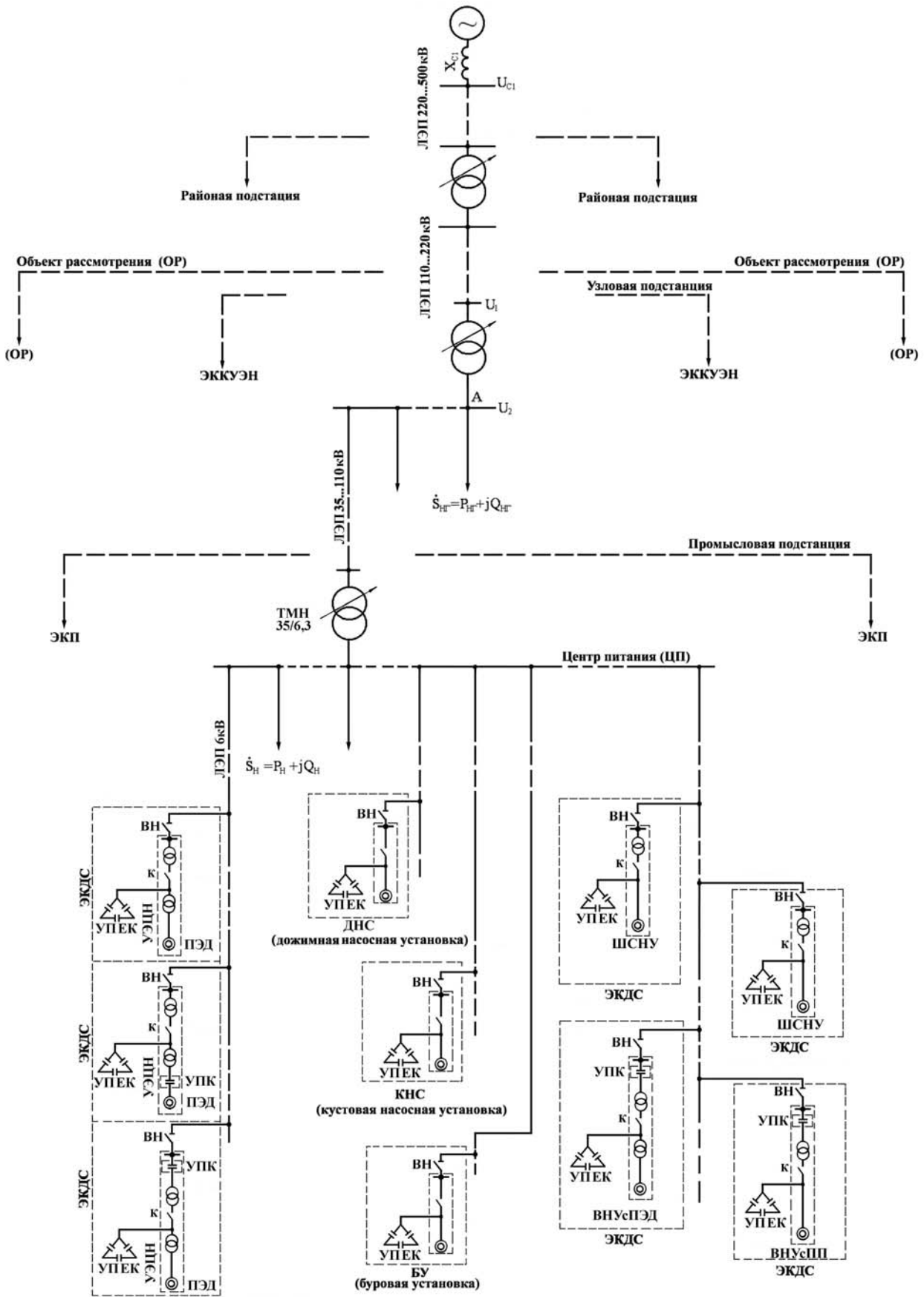


Рис.1. Система энергообеспечения (система электроснабжения) объекта рассмотрения.

узлов электрической нагрузки.

Решены вопросы минимизации потерь электроэнергии в исполнительном модуле ЭКДС и МПРО эти задачи решены с использованием исполнительных модулей ЭКП и ЭККУЭН. На практике совокупность ИМ и МПРО работает как система с переменной структурой и параметрами, вариации в которой происходят по-разному при изменении нагрузок в различных типах добычных установок, и при одновременных отклонениях и колебаниях питающих напряжений.

Известно, что качество управления системами во многом зависит от информации, получаемой от ИМ и МПРО в соответствии с заданиями на управление. В связи с этим, далее рассмотрен модуль сбора и предварительной обработки информации. В целом объект рассмотрения – это исполнительный модуль НГДК, который является системой централизованной, но с автономными подсистемами.

Данная работа посвящена исследованиям в области технических наук, системный подход к рассматриваемой здесь проблеме требует хотя бы краткого обращения к общим экономическим, экологическим и социальным проблемам энергосбережения.

В главе представлены основные результаты работы и конкретные рекомендации по проблеме энергосбережения в НГДК.

Во второй главе определены параметры среды, входящей в границы выделяемого объекта рассмотрения – исполнительного модуля системы.

В результате анализа гидродинамических свойств пласта (среды) определены потенциально возможные дебиты скважины в режиме непрерывной откачки.

Формализованы параметры среды - гидродинамические параметры пласта (среды) добычной скважины.

Параметры среды согласованы с параметрами исполнительного модуля ЭКДС, т.е. подсистемы двигатель-нагрузка.

В результате исследования установлено, что в условиях истощения запасов нефти в пластах, увеличения в них процента вязких компонентов, откачка требует либо установки более подходящих насосов (работающих по вязкой нефти), либо согласованной организации дополнительного давления вытесняющих жидкостей на пласты с помощью дожимных насосных станций (ДНС).

При этом большое значение приобретает обеспечение закачки вытесняющей жидкости с добавлением реагента через нагнетательную скважину с постоянным перепадом давления между нагнетательными и добычными скважинами.

Определено, что основным потребителем энергии на нефтепромыслах является не только основное технологическое оборудование по добыче, но и оборудование вспомогательных технологий. Это технические средства, обеспечивающие согласование гидродинамических свойств пласта с характеристиками насосной установки.

Полученные результаты подземных гидродинамических исследований и

результаты расчета такого режима работы насоса доказывают необходимости практического внедрения новой технологий эксплуатации скважин, т.е. замены циклического режима на непрерывный режим. Экспериментально доказано, что такая технология позволяет с максимальной эффективностью эксплуатировать малодебитные обводненные скважины на старых нефтяных площадях на поздней стадии разработки нефтяного пласта.

Доказано, что по мере истощения пластов, увеличения в них потенциала «тяжелой» нефти (вязкой и высоковязкой нефти), ее откачка с прежней производительностью, в режиме непрерывной работы, становится невозможной. Число остановок приводов ШСНУ и установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) и их последующих запусков резко возрастает. Использование УЭЦН при работе с «тяжелой» нефтью, которая содержит более высокий процент сернистых соединений, оказывается экономически и экологически нецелесообразным.

Имея в виду перспективность использования ВНУсПП как наиболее эффективно сопрягаемых с физико-химическими и гидродинамическими параметрами пластов в их нынешнем состоянии, далее иллюстрацию системного подхода к проблеме энергосбережения мы будем проводить в значительной степени относительно этого вида основного технологического оборудования исполнительного модуля ЭКДС.

До сих пор такое технологическое оборудование производилось лишь за рубежом.

Решены вопросы согласования параметров оборудования с параметрами среды и разработана математическая модель режима работы исполнительного модуля ЭКДС с ВНУсПП. Произведена оценка ее производительности в функции ее конструктивных параметров.

При формировании нагрузки на валу поверхностного привода ВНУ момента сопротивления необходимо учитывать реактивный крутящий момент, который накапливает штанга, работающая как торсион в момент пуска (остановки) из-за своей протяженности (0,8...1,5) км. Это, при отключении поверхностного привода от питания, может привести к отворотам насосно-компрессионных труб и, в конечном итоге, к рассоединению их звеньев и обрушению их в скважину.

Доказано, что при практическом создании ВНУсПП необходимо оценивать силы и моменты во всей кинематической цепи от выходного вала поверхностного привода до ротора винтовой насосной установки.

Поскольку в этой цепи силы и моменты связаны в значительной степени с коэффициентами сухого и вязкого трения, которые, как показывает практика, в реальных условиях являются переменными и, априори, аналитически трудноопределимыми, возникает необходимость исследования этих вопросов на физических моделях. В качестве физической модели использован стенд, созданный в УГНТУ (Уфимском государственном нефтяном университете).

В результате физического моделирования режима работы ВНУсПП были определены основные параметры в функции от давления - подача насоса $G = f(D)$, осевое усилие $H_{o,y} = f(D)$ на винте и реактивный крутящий момент на

корпусе $H_{p.m.} = f(D)$. По данным параметрам определены: условия режима работы исполнительного модуля ЭКДС с ВНУсПП; методика измерения; количество физически моделируемых режимов; количество измеряемых параметров при одновременной фиксации; время интеграции и продолжительность замеров.

Приведено достаточное количество математических моделей всех видов исполнительных модулей ЭКДС (это ЭКДС с УЭЦН, ШСНУ, ВНУ с ПЭД и ПП), согласованных с гидродинамическими параметрами и потенциальным дебитом скважины, учитывающих конструктивные особенности ВНУ.

В условиях производственной эксплуатации исполнительного модуля ЭКДС с ВНУсПП получены суточные получасовые графики зависимостей активной и реактивной мощности при совместной работе с индивидуальной УПЕК рис.2.

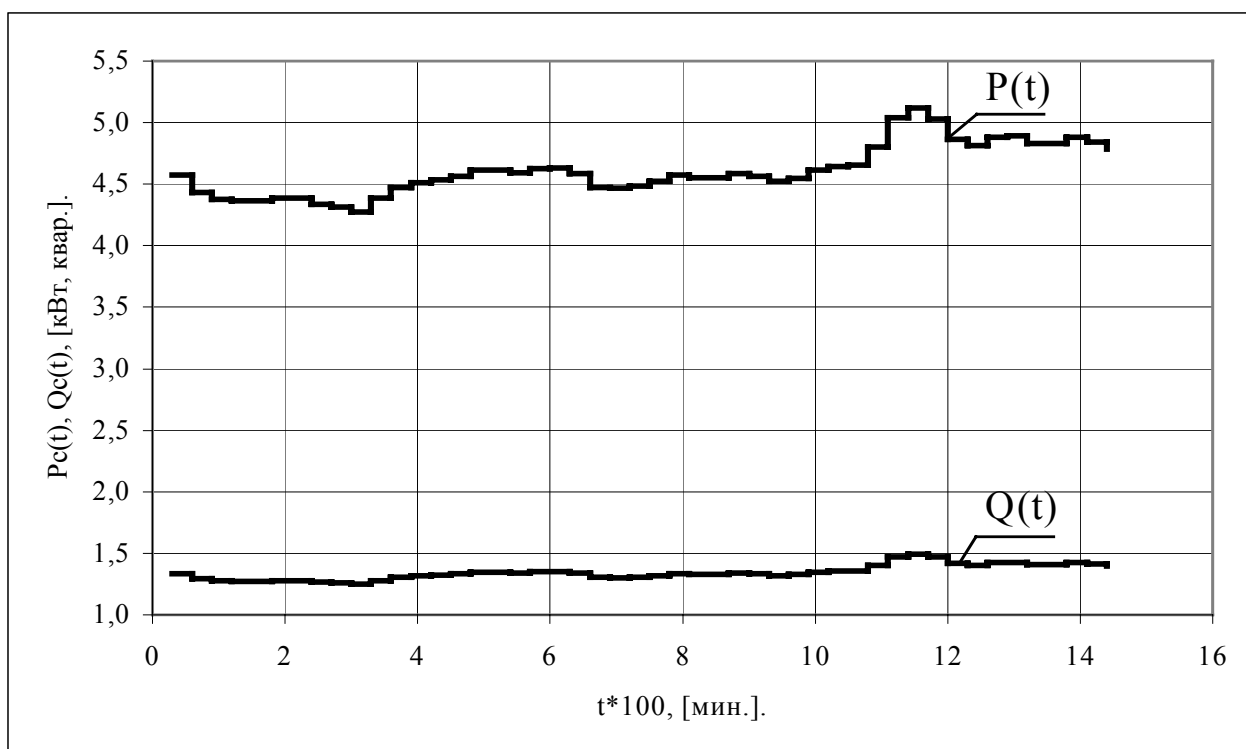


Рис.2. Суточные получасовые графики активной $P_c(t)$ и реактивной $Q_c(t)$ мощности с учётом компенсации реактивной мощности ВНУ с ПП за период производственной эксплуатации в НГДУ "Заинскнефть" на скважине № 9008 в период с 01.12.2001г. по 10.12.2001г.

Проанализированы и систематизированы особенности и способы эксплуатации и организации режимов работы ВНУ с различными системами привода. Показано, что исполнительные модули ЭКДС с ВНУсПП удовлетворяют широкому спектру требований, возникающих при добыче из малодебитных скважин высоковязкой нефти, водонефтяной эмульсии, парафинистой нефти с высоким содержанием газов. Они выгодно отличаются от исполнительных модулей ЭКДС с ШСНУ низкими массогабаритными показателями, простотой конструкции, отсутствием клапанов и повышенным коэффициентом полезного действия (общий вид ВНУсПП приведён на фотографии - рис.3).

Показано, что отсутствие возвратно-поступательных движений, постоянство скоростей и малые массы движущихся элементов насоса обеспечивают возможность варьирования производительности в широких пределах, причем постоянство скорости движения эмульсии приводит к уменьшению гидравлических сопротивлений, что способствует повышению производительности насоса и к.п.д.

Разработана схема электроснабжения исполнительного модуля ЭКДС, которая включает в себя индивидуальный трансформатор, ВРУсПП, станцию управления, установку УПК и УПЕК (рис.4).



Рис.3. Общий вид штанговой скважинной насосной установки и винтовой насосной установки и станций управления на скважине № 9008 НГДУ "Заинскнефть".

Результаты экспериментальных исследований доказывают, что такая компоновка исполнительного модуля ЭКДС (рис.4.b) обеспечивает энергосберегающую технологию добычи.

Компоновка исполнительного модуля ЭКДС, представленная на рис.4.b обладает существенным преимуществом: это уменьшение числа подземных ремонтных работ в скважинах, подавляющее большинство которых связано с необходимостью профилактики, ремонта или замены электродвигателя или насоса, которые связаны с выполнением спускоподъемных операций насосно-компрессорных труб (НКТ) с кабельной линией. При технологии добычи с использованием винтовой насосной установки снимает ограничения на габаритные размеры электродвигателя, облегчается обслуживание, существенно уменьшаются масса габаритные параметры установки в целом (рис.3).

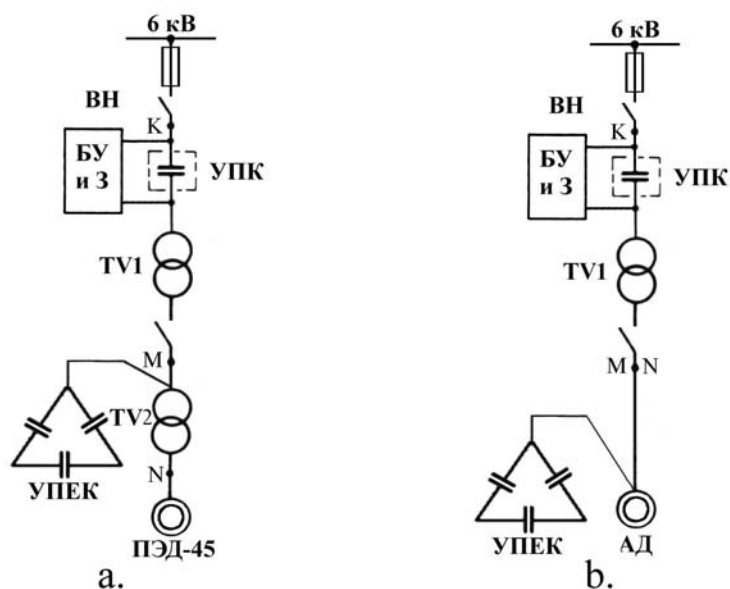


Рис.4. Схемы электроснабжения исполнительных модулей ЭКДС с индивидуальными трансформаторами, УПК и УПЕК, участками питающих линий и асинхронными электродвигателями.

Разработаны метод расчета и математическая модель по определению энергетических параметров исполнительного модуля ЭКДС, отличаются от известных методов расчетов и математических моделей учетом конструктивных особенностей насосов и параметров среды (гидродинамических свойств пласта). Предложены подходы к решению задачи совершенствования техники, используемой при добыче, и даны рекомендации по улучшению энергетических показателей исполнительного модуля ЭКДС.

На основе результатов анализа режимов работы и конструктивных особенностей, эксплуатируемых как отечественных, так и зарубежных ВНУ показано, что они недостаточно полно используются на малодебитных скважинах.

По результатам математического моделирования получены графики зависимостей мощности винтовой насосной установки с поверхностным приводом (ВНУсПП) - P_1 и штанговой скважинной насосной установки (ШСНУ) - P_2 в функции производительности, напора, плотности жидкости и к.п.д. насоса (рис.5...8).

Доказано, что при использовании исполнительного модуля ЭКДС с ВНУсПП с дискретно регулируемой частотой вращения и с максимально согласованной номинальной мощностью поверхностного привода улучшаются эксплуатационные (рис.3) и энергетические показатели добычной скважины относительно исполнительного модуля ЭКДС с ШСНУ. На 65,91% снижается потребление реактивной мощности при коэффициенте загрузки 0,7 и коэффициенте мощности равной 0,83 при одной той же производительности).

Сопоставительный анализ энергетических параметров исполнительного модуля ЭКДС с ВНУсПП и ШСНУ показал, что при одинаковом объеме поднимаемой на поверхность жидкости на одну и ту же высоту, для ВНУсПП фактическое потребление активной электрической энергии снижается на 69%, а

номинальная мощность уменьшается более чем 2 раза рис.5...8.

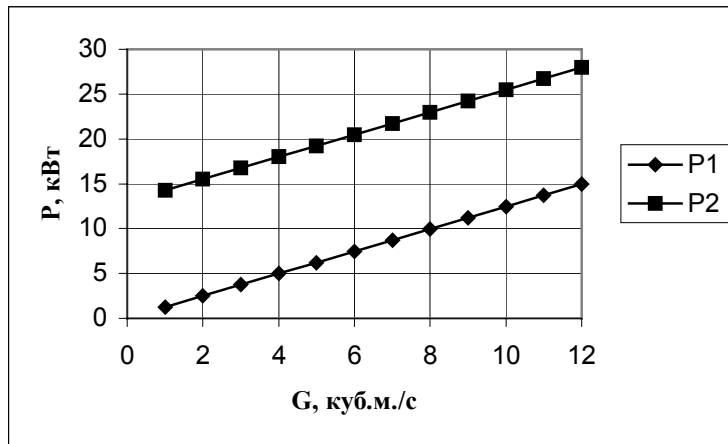


Рис.5. Графики зависимостей мощности в функции от производительности насоса.

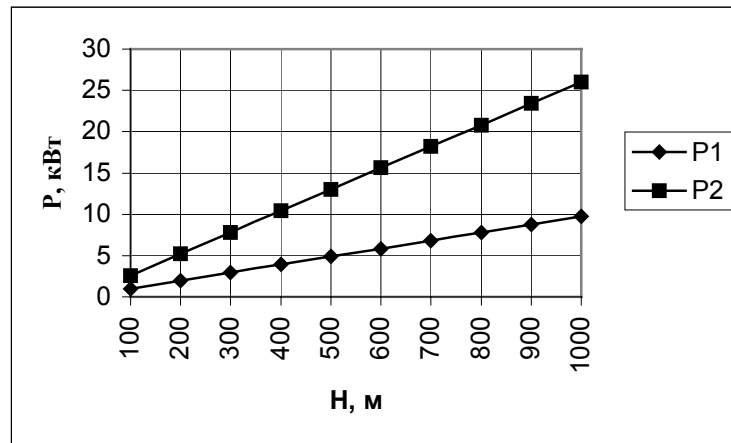


Рис.6. Графики зависимостей мощности в функции от напора жидкости в насосе.

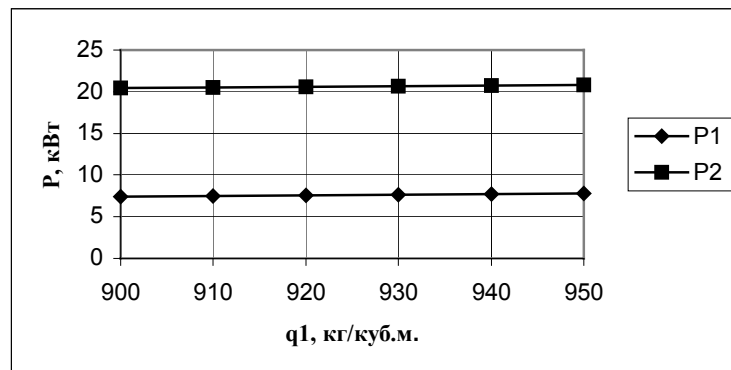


Рис.7. Графики зависимостей мощности в функции от плотности жидкости в насосе.

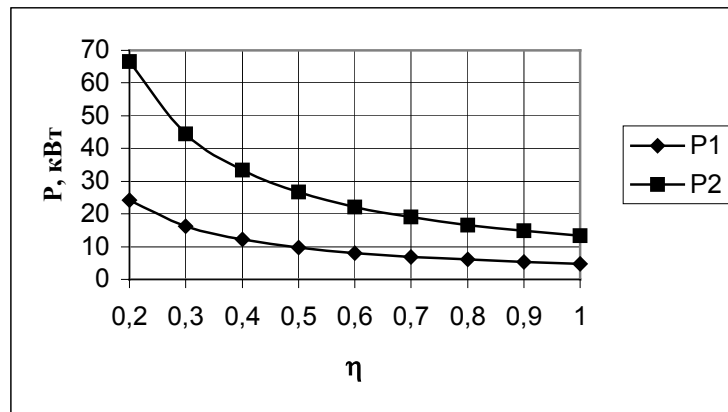


Рис.8. Графики зависимостей мощности в функции от к.п.д. насоса.

В третьей главе элементы электрических сетей по распределению электроэнергии в терминологии функциональных моделей структур, инвариантных к предметной области ОР, отнесены к модулям преобразования, распределения и обеспечения.

В рамках объекта рассмотрения - НГДК с внешней средой - этот модуль связан с источником электроэнергии (ИЭ).

Произведена декомпозиция в МПРО для конкретизации рассматриваемого вопроса о потерях энергии на взаимосвязанные локальные структуры, созданы аналитические и математические модели, достаточно адекватно отображающие эту структуру (рис.1), точнее - модели, позволяющие оценить потери энергии именно в МПРО объекта рассмотрения.

Декомпозиция, проведенная на основе теории электрических цепей в МПРО, позволяет достаточно четко структурировать всю «паутину» системы распределения электроэнергии, начиная от источника электроэнергии до потребителей – исполнительных модулей ОР.

Определена целесообразность отдельного рассмотрения всей системы (и составляющих ее подсистем) вначале в рамках установившихся процессов преобразования энергии, а затем - в переходных. При этом структуризация всей системы МПРО в каждом из этих случаев различна.

Этим и определяется структура данной главы.

Подсистема исполнительных модулей ЭКДС включает в себя асинхронный электродвигатель (АД), компенсирующие установки (КУ) и сопряженный с ними участок питающей линии - участок ЛЭП. Разработана математическая модель на базе известной методики расчета, разработанной на бывшей кафедре "Электротехнике и электроснабжении горных предприятий" СПбГГИ с участием автора. Методика расчета дополнена параметрами замещения отходящей линии, КУ и аналитическими зависимостями полного эквивалентного комплексного сопротивления, рассматриваемой подсистемы АД-КУ-ЛЭП, учитывающая параметры компенсирующих установок в различных вариациях. Также методика расчета дополнена математической моделью, разработанной автором для оценки эффективности применяемых КУ при автоматической стабилизации рационального уровня напряжения.

Математическое моделирование режима напряжения и

электропотребления выполнено в общепринятой системе относительных единиц (о.е.). Математическое моделирование производилось при варьировании уровня напряжения на зажимах электродвигателя ИМ в пределах от 0,8...1,1 о.е. Результаты математического моделирования приведены в диссертации в приложениях I и II. По данным результатам определены оптимальные и рациональные уровни напряжения на зажимах привода ВНУсПП и ШСНУ.

Рациональный уровень напряжения – это уровень напряжения, имеющий значение, максимально приближенное к оптимальному значению напряжения и отвечающий по показателям качества электрической энергии требованиям ГОСТ 13109-97 в характерных точках схемы электроснабжения.

Определены рациональный уровень напряжения равное 0,98 о.е. в ЦП с учетом потерь напряжения в линиях и параметры режима электропотребления.

Автоматическая стабилизация этого уровня напряжения в ЦП снижает потребление активной электрической энергии на ВНУсПП на 24081 кВт*ч и в ШСНУ на 70680 кВт*ч и обеспечивают годовые ожидаемые экономические эффекты по ВНУсПП 5824 рубля и по ШСНУ 17363 рубля.

Обосновано, что автоматическая стабилизация рационального уровня напряжения, индивидуальная компенсация реактивной мощности и компенсация потерь напряжения существенно улучшают режим работы всего электрооборудования исполнительного модуля ЭКДС, а также энергетические и экономические параметры рассматриваемой подсистемы.

Разработана экспериментальная установка исполнительного модуля ЭКДС, включающая ВНУсПП, технические средства компенсации реактивной мощности и потерь напряжения и систему коммерческого учета электрической энергии (рис.4.б1).

Разработаны метод расчета и математическая модель подсистемы - групповая нагрузка - отходящая линия, отличающиеся от известных методов расчета применением упрощенных формул и использованием нелинейных графиков зависимостей активной, реактивной мощности и потерь активной мощности в функции напряжения, что, однако, это не привело к погрешностям более 5 %. Но при этом уменьшились объемы расчетов почти втрое.

Одновременно методика позволяет определять потери напряжения, потери активной мощности и потребление реактивной мощности на участках отходящей линии и подключенных к ней электроприемников. Эта методика позволяет моделировать режим напряжения и для более сложных схем электроснабжения исполнительного модуля ЭККУЭН.

Определены потери электрической энергии и потери напряжения на всех участках вдоль отходящей линии. Определены границы существования рационального уровня напряжения 0,97...0,99 о.е. в ЦП (рис.9).

Получены эквивалентные параметры, как для отдельных узлов, так и для всех электрических нагрузок, подключенных к центру питания. Исследованы и описаны алгоритмы математического моделирования режима напряжения отходящей линии. Разработаны и адаптированы технические средства для поддержания рационального уровня напряжения вдоль отходящей линии.

Математическая модель для каждого вида предприятий имеет свои специфические особенности, которые учитываются при расчете ряда зависимых и независимых переменных параметров.

Показано, что потери активной мощности в отходящей линии и подключенном к ней электрооборудовании при любом сочетании зависимых и независимых переменных параметров стремятся к локальному минимуму при напряжении в начале линии, равном (0,94...1,0) о.е.

Доказано, что использование индивидуальных УПЕК уменьшают потери напряжения в 1,7 раза, позволяют автоматически стабилизировать уровень напряжения вдоль линии и снижают потери активной мощности 0,01 о.е.

Получены обобщенные результаты математического моделирования режима напряжения. Определены эквивалентные потери активной мощности в функции от напряжения в центре питания для всех отходящих линий, подключенных к одной электроподстанции (рис.9).

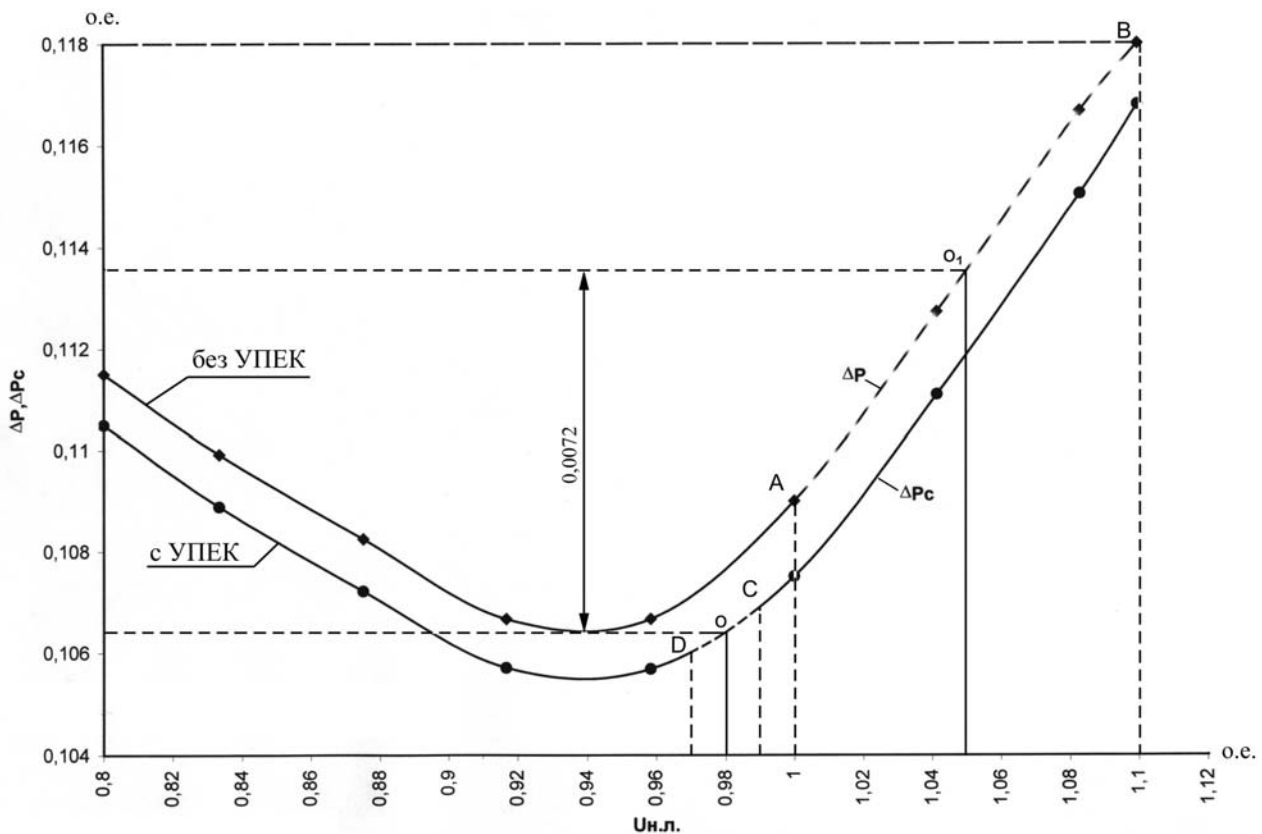


Рис.9. Графики зависимостей суммарных эквивалентных потерь активной мощности промышленной подстанции в функции напряжения в начале линии ($U_{н.л.}$) в режиме автоматической стабилизации напряжения при $\Sigma Q_{УПЕК}=0$ и $\Sigma Q_{УПЕК} \neq 0$.

Как видно из графиков зависимостей, минимум потерь соответствует уровням напряжения в ЦП в пределах 0,93...0,95 о.е. Эти значения соответствуют условию меньше или равно нижней границе напряжения, определяемого ГОСТом по показателям качества электрической энергии (ПКЭЭ) в характерной точке СЭС. Поэтому эти оптимальные уровни

напряжения не могут быть автоматически стабилизированы в ЦП, так как на зажимах самого удалённого электроприемника уровень напряжения будет равен $U < 0,950 \text{ о.е.}$ из-за потери напряжения в отходящей линии. И этот уровень напряжения не отвечает требованиям ГОСТ 13109-97 по ПКЭЭ, поэтому определяется новый уровень напряжения ($0,98 \text{ о.е.}$), который обозначим как *рациональный уровень напряжения* (рис.9), который удовлетворяет требованиям ГОСТ по условию $U \geq 0,950 \text{ о.е.}$ в характерной точке СЭС.

На рис.9 участок A_0B представляет рабочую область при автоматической стабилизации существующего уровня напряжения ($1,05 \text{ о.е.}$) при условии $\Sigma Q_{\text{УПЕК}} = 0$ с зоной нечувствительности $\pm 5\%$, а участок DoC - это рабочая область при автоматической стабилизации рационального уровня напряжения ($0,98 \text{ о.е.}$) при условии $\Sigma Q_{\text{УПЕК}} \neq 0$ с зоной нечувствительности $\pm 1\%$ является теоретически обоснованным и практически доказанным фактом. Таким образом, доказано, что эффективным средством снижения потерь активной мощности и потребления реактивной мощности является автоматическая стабилизация рационального уровня напряжения в центре питания (ЦП) при индивидуальной одновременной компенсации реактивной мощности и компенсации потерь напряжения.

Практическая реализация процесса автоматической стабилизации напряжения осуществлялась при помощи блока автоматического регулирования (БАР) привода РПН (регулятор напряжения под нагрузкой) силового трансформатора исполнительного модуля ЭКП.

Разработаны метод расчета и математическая модель по определению энергетических параметров режима напряжения и электропотребления исполнительного модуля ЭККУЭН. По результатам математического моделирования режима напряжения произведено ранжирование энергетических параметров. Произведена оценка эффективности способов автоматического регулирования напряжения по этим параметрам. Получены графики зависимостей, определяющих границы изменения напряжения в конце линии при варьировании зависимых и независимых переменных параметров.

По предлагаемой методике получены эквивалентные нелинейные зависимости активной $P_{\text{нг}}$, реактивной $Q_{\text{нг}}$ мощности в функции напряжения для исполнительного модуля ЭККУЭН.

С использованием полученных данных определены параметры установившихся режимов системы электроснабжения (СЭС) исполнительного модуля ЭККУЭН, к которой подключен исполнительный модуль ЭКП (рисунки 1 и 10). Представленная эквивалентная схема замещения исполнительного модуля ЭККУЭН (рис.10) практически пригодна для расчетов любой СЭС. Выполнен анализ электрической нагрузки и технических характеристик основных элементов исполнительного модуля ЭККУЭН (рис.10, точка А), являющихся характерными для условий НГДК. Составлена система уравнений, описывающих эту нагрузку, которая отражает основные свойства электроприемников и связывающей их распределительной сети.

Определены основные параметры, учитывающие взаимное влияние

электроприемников при различных режимах работы. Одним из основных параметров является напряжение U_2 (рис.10), с учетом которого представлены аналитические соотношения параметров $P_{нг}$, $Q_{нг}$, $X_{сэс}$, $R_{сэс}$ и U_1 описывающие данный узел.

В зависимости от целей расчетов, сложности рассматриваемой схемы и вида возмущения определены расчетные модели исполнительного модуля ЭККУЭН и по параметрам схемы замещения разработана математическая модель этого модуля.

Определены параметры установившегося процесса СЭС и основные факторы, нарушающие статическую устойчивость режима работы электрооборудования с учетом и без учета влияния УПК, УПЕК и фильтро-компенсирующей установки. В математической модели исполнительного модуля ЭККУЭН приняты упрощения, обусловленные требованиями быстрого решения задач управления и контроля. Выделены и уточнены факторы, являющиеся основными при постановке задач. Определены основные факторы, влияющие на процесс их решения, а также на процесс анализа, получаемых результатов.

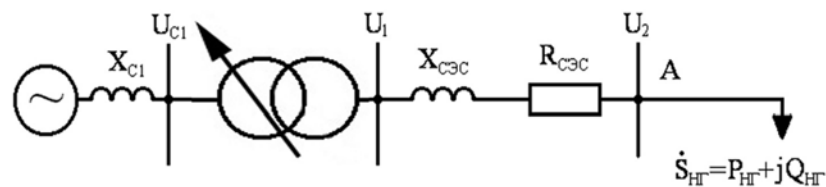


Рис.10. Эквивалентная схема замещения элементов исполнительного модуля ЭККУЭН, где: $X_{сэс}$, $R_{сэс}$ - индуктивное и активное сопротивления, включающие параметры схем замещения участка ЛЭП, силового трансформатора, УПК, УПЕК, синхронного компенсатора и фильтро - компенсирующей установки, приведенные к напряжению U_2 .

Для схемы замещения исполнительного модуля ЭККУЭН, приведенной на рис.10, электрическая нагрузка представлена в виде:

$$P_{нг} = P_0(a_0 + a_1U_2 + a_2U_2^2 + \dots + a_nU_2^n); \quad (1)$$

$$Q_{нг} = Q_0(b_0 + b_1U_2 + b_2U_2^2 + \dots + b_nU_2^n), \quad (2)$$

$$\text{где: } P_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^k P_{nm}; \quad Q_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^k Q_{nm}, \quad (3)$$

P_0, Q_0 - суммарные номинальные активная и реактивная мощности на секциях шин ЦП.

Построены векторные диаграммы токов и напряжений для схемы замещения, приведенной на рис.10. По векторным диаграммам определены статические характеристики источников электроэнергии и электроприемников в соответствии с балансом напряжений, их уровнями в начале линии (U_1) и конце линии (U_2), с учетом потерь напряжения (ΔU).

В скалярной форме получены аналитические зависимости U_1 - напряжения на входе в СЭС, U_2 - напряжения на выходе СЭС (в центре питания), P_1 - активной и Q_1 - реактивной мощностей, потребляемых системой электроснабжения в функции напряжения.

Если $P_{нг}$ и $Q_{нг}$ определены предварительным расчетом и задаются в виде графиков или в форме таблицы, то система уравнений, полученная для схемы замещения, решается путем замены переменной $y = U_2^2$ и сводится к решению биквадратного уравнения.

Известно, что математические модели электрических сетей могут быть с распределенными, сосредоточенными и комбинированными параметрами. Выбор той или иной математической модели зависит от цели и методики исследования. Наиболее простыми, наглядными и легко реализуемыми на ПЭВМ являются модели с сосредоточенными параметрами. В таких моделях параметры системы являются лишь функциями времени и не зависят от пространственных координат.

В диссертации математическая модель исполнительного модуля ЭККУЭН системы электроснабжения представлена как объект с сосредоточенными параметрами.

Приведённая математическая модель с сосредоточенными параметрами менее громоздка, чем модель данного объекта с распределенными параметрами, и при несущественных потерях в точности (не более 1%) полученных результатов позволяет уменьшить на 30% и более громоздкость решения и повысить его быстродействие и наглядность.

Математическая модель объекта рассмотрения (исполнительный модуль ЭККУЭН системы электроснабжения) имеет конкретную функциональную связь между напряжением на входе СЭС и напряжением на секциях шин центра питания, которая учитывает изменения электрической нагрузки и потери напряжения.

При построении математической модели сделаны следующие допущения:

- зависимости активной и реактивной нагрузок от напряжения представляется в виде аппроксимирующего полинома второй степени и результатов предварительного расчета нелинейных параметров исполнительного модуля электротехнического комплекса нижестоящего элемента системы электроснабжения в виде таблиц и графиков зависимостей:

$$P_{нг} = P_0(a_0 + a_1 U_2 + a_2 U_2^2) ; \quad (4) \quad P(U); Q(U); \quad (6)$$

$$Q_{нг} = Q_0(b_0 + b_1 U_2 + b_2 U_2^2) ; \quad (5) \quad S(U); \Sigma P(U); \quad (7)$$

- элементы системы электроснабжения и силовой трансформатор представлены как линейные, последовательно соединенные эквивалентные активно-индуктивные сопротивления;

- напряжение сети номинальное, частота постоянная;

- в системе отсутствуют компенсирующие установки.

С учетом изложенного, приведённая в диссертации система уравнений, после ряда математических преобразований, представляется в виде

нелинейного уравнения:

$$CU_2^4 + MU_2^3 + NU_2^2 + GU_2 + D = 0, \quad (8)$$

где: C, M, N, G, D - коэффициенты при неизвестном переменном параметре, зависящие от параметров схем замещения элементов СЭС, режима напряжения и электропотребления.

При решении исходного уравнения четвертой степени принят комбинированный способ с использованием методов итерации и Кардано.

Предварительно определив корни кубического уравнения и выполнив переход к корням уравнения четвертой степени, получим:

$$\begin{aligned} U_{2,1к} &= U_{1к}; & U_{2,3к} &= y_3 - \frac{m_2}{3}; \\ U_{2,2к} &= y_2 - \frac{m_2}{3}; & U_{2,4к} &= y_4 - \frac{m_2}{3}. \end{aligned}$$

В качестве основной аналитической зависимости математической модели объекта рассмотрения принимается второй вещественный корень уравнения четвертой степени.

$$U_{2,2к} = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\theta}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\theta}} - \frac{m_2}{3}; \quad (9)$$

В полученное уравнение подставляются исходные переменные параметры и по ним, в общем виде, определяются частные производные:

$$\frac{\partial U_{2,2к}}{\partial (P_0, Q_0, R_c, X_c, U_B, K_T)} = -\frac{1}{6} \left(\frac{\dot{q} - \dot{\theta}\sqrt{\theta}}{\sqrt[3]{\frac{q^2}{4} - q\sqrt{\theta} + \theta}} + \frac{\dot{q} + \dot{\theta}\sqrt{\theta}}{\sqrt[3]{\frac{q^2}{4} + q\sqrt{\theta} + \theta}} \right) - \frac{\dot{m}_2}{3}, \quad (10)$$

где в целях упрощения точкой обозначается символ частной производной переменных параметров.

$$\dot{\theta} = \frac{p^2 \dot{p}}{9} + \frac{q \dot{q}}{2}; \quad (11) \quad \dot{p} = -\frac{2m_2 \dot{m}_2}{3} + \dot{m}_3; \quad (12) \quad \dot{q} = \dot{m}_4 + \frac{2m_2^2 \dot{m}_2}{9} - \frac{\dot{m}_2 m_3 + m_2 \dot{m}_3}{3}. \quad (13)$$

Определяем частные производные переходных коэффициентов в общем виде при условии, что $U_{1к}$ - первый корень уравнения (8) - величина постоянная и что производные определены по коэффициентам этого уравнения:

$$\dot{m}_2 = \frac{C\dot{M} - \dot{C}M}{C^2}; \quad \dot{m}_3 = \frac{C\dot{N} + C\dot{M}U_{1к} - \dot{C}N - \dot{C}MU_{1к}}{C^2}; \quad \dot{m}_4 = -\frac{\dot{D}CU_{1к} - D\dot{C}U_{1к}}{C^2 U_{1к}^2}. \quad (14)$$

При использовании компенсирующих установок УПК, УПЕК их параметры учитываются в значениях частных производных первоначальных коэффициентов.

Дальнейшее решение этих уравнений аналогично решению уравнения (10).

Адекватность результатов математического моделирования режима

напряжения по определению ранга зависимых и независимых переменных параметров на изменения уровня напряжения проверялась с использованием метода Хичкока. Адекватность результатов расчета высокая, а погрешность не превышает 1%.

Частные производные комплексных корней общего уравнения представлены следующим выражением, необходимым для определения влияния зависимых и независимых переменных параметров на величину амплитуды и фазы напряжения:

$$\frac{\partial U_2}{\partial (P_0, Q_0, R_c, X_c, U_B, K_T)} = \frac{(\dot{A}A + \dot{B}B)e^{\mp j\psi_k} \mp (\dot{A}B - A\dot{B})e^{\mp j\left(\psi_k \pm \frac{\pi}{3}\right)}}{\sqrt{A^2 - AB + B^2}}. \quad (15)$$

Получены графики зависимостей, определяющих ранг зависимых и независимых переменных параметров, что существенно облегчает выбор методов и технических средств автоматического регулирования режима напряжения. При выборе методов и технических средств автоматического регулирования режима напряжения были использованы математические модели исполнительного модуля ЭККУЭН объекта исследования, построенные на базе эквивалентных схем отдельных компонентов.

Основным параметром процесса автоматического регулирования и управления режимом напряжения является отклонение напряжения, которое представляется в линеаризованном виде, как для вещественных, так и для комплексных корней уравнения (14):

$$\Delta U_2 = \frac{\partial U_2}{\partial P_0} P_0 + \frac{\partial U_2}{\partial Q_0} Q_0 + \frac{\partial U_2}{\partial R_c} R_c + \frac{\partial U_2}{\partial X_c} X_c + \frac{\partial U_2}{\partial U_B} U_B + \frac{\partial U_2}{\partial K_T} K_T. \quad (16)$$

Следует отметить, что использование нелинейной модели возможно при малых отклонениях режимных параметров. Последнее обусловлено тем, что коэффициент трансформации зависит от абсолютных значений параметров режима U_1 и U_2 , т.е. от входного и выходного параметров системы.

Поскольку коэффициент трансформации рассчитан для определенного режима и в окрестностях этого режима считается неизменным, то значительных изменений режимных параметров, которые следовало бы учитывать нелинейной моделью, не происходит, вследствие чего использование нелинейной модели в таких случаях не дает значительного преимущества перед линеаризованной моделью. Эта модель, кроме того, обладает большей наглядностью, простотой и позволяет при тех же малых отклонениях оценить влияние каждого параметра на выходной параметр системы, т.е. представить ее структурные связи.

Построение данной математической модели вызвано необходимостью синтеза, настройки и анализа системы автоматического регулирования режима напряжения, что обеспечит объекту исследования рациональный режим электропотребления.

В тех случаях, когда не требуется высокая точность, аналитическая зависимость (16) может быть упрощена путём исключения параметров

практически не влияющих на отклонение напряжения при моделировании режима напряжения исполнительного модуля ЭКП в реальном диапазоне варьирования зависимых и независимых переменных параметров.

По результатам математического моделирования получены графики зависимостей напряжения U_2 в функции зависимых и независимых переменных параметров U_1 ; K_T , X_c , Q_0 , P_0 , R_c при максимальных, средних и минимальных значениях этих параметров с их последующим ранжированием.

В результате ранжирования этих зависимостей установлено, что факторами, существенно определяющими значение отклонения напряжения ΔU_2 в порядке убывания, являются параметры $U_1 = U_B$; K_T , Q_0 , X_c (т.е. разность между $U_{2\max}$ и $U_{2\min}$ составляет соответственно 0,665, 0,63, 0,147 0,14 о.е.).

С учетом полученных результатов и погрешности, которая составляет не более 1 %, аналитическая зависимость (16) может быть преобразована к виду:

$$\Delta U_2 = \frac{\partial U_2}{\partial U_B} U_B + \frac{\partial U_2}{\partial K_T} K_T + \frac{\partial U_2}{\partial Q_0} Q_0 + \frac{\partial U_2}{\partial X_c} X_c. \quad (17)$$

При изменении напряжения U_B в широких пределах автоматическая стабилизация рационального уровня напряжения U_2 может быть достигнута только путем изменения эквивалентного коэффициента трансформации. Технические средства компенсации реактивной мощности и потерь напряжения выполняют корректирующую роль и обеспечивают изменение напряжения в центре питания не более чем на 0,15 о.е.

В четвертой главе разработаны метод расчета переходных процессов и математическая модель исполнительного модуля ЭКДС, отличающаяся от известных методов учётом специфических параметров применяемого электрооборудования с одновременным наложением больших возмущений входного напряжения и позволяющего формировать варьируемыми параметрами компенсирующих установок характер электрической нагрузки.

Скомпонованы принципиальные однолинейные схемы исполнительного модуля ЭКДС с параметрами замещения питающего кабеля, ПЭД, УПК, УПЕК и модуля, дополнительно включающего питающий кабель и электрический нагреватель скважины.

Получены аналитические зависимости исполнительного модуля ЭКДС - это системы дифференциальных уравнений, в которые включены все элементы схемы замещения (параметры асинхронного электродвигателя с питающим кабелем, установки продольной, поперечной компенсации и параметры электрического нагревателя скважины с питающим кабелем).

Дифференциальные уравнения рассматриваемого исполнительного модуля ЭКДС записаны в системе координат x и y , вращающейся с синхронной частотой. Уравнения приведены к канонической форме (в форму Коши), дополнены уравнением движения асинхронного двигателя и при заданных параметрах и начальных условиях решены методом Рунге-Кутты. Входное напряжение представлялось в виде ступенчатой функции, которая характеризует степень снижения напряжения и заданную продолжительность с учетом и без учета компенсирующих установок. В методе расчета сделаны

общепринятые допущения, а результаты математического моделирования представлены в общепринятой системе относительных единиц.

Результаты математического моделирования приведены в диссертации в виде графиков зависимостей электромагнитного момента $M(t)$, скольжения $s(t)$, напряжения на зажимах электродвигателя $U_d(t)$ и тока статора $I_s(t)$.

Определены граничные параметры компенсирующих установок с учётом параметров электрического нагревателя скважины и с режимами работы исполнительного модуля ЭКДС.

Разработаны научно обоснованные рекомендации по повышению устойчивости режима работы исполнительного модуля ЭКДС в пусковых режимах с последующим провалом уровня напряжения (до 40%) путем увеличения степени компенсации до двух кратного значения индуктивного сопротивления этой подсистемы.

Представлены результаты математического моделирования по аппроксимации основной кривой намагничивания воздушного зазора и элементов статора, которые учитывают насыщение сердечников асинхронного погружного электродвигателя.

Доказано, что в номинальном режиме эти электродвигатели работают с насыщенной магнитной цепью, и это оказывает влияние на его параметры и потребление реактивной мощности. Выявлено, что в пусковых режимах происходит уменьшение индуктивного сопротивления рассеяния (статора и ротора) вследствие быстрого насыщения на путях рассеяния. Это уменьшение составляет около 15% и создает запас по пусковому моменту. Определено, что в дополнение к насыщению на пути рассеяния имеет место заметное насыщение на пути основного магнитного потока.

В диссертации приведена таблица сравнения результатов опытной кривой намагничивания воздушного зазора и элементов статора ПЭД с приближенной кривой намагничивания, задаваемой известной аналитической зависимостью.

Насыщение магнитной цепи оказывает существенное влияние на потребление реактивной мощности. Поэтому даже при номинальном уровне напряжения на зажимах статора ПЭД будет потреблять реактивную мощность больше, чем номинальное значение реактивной мощности, что учтено в соответствующих коэффициентах статических характеристик, приведенных в главе 4 настоящей диссертации.

Приведены в табличной форме результаты расчетов характеристических корней по линеаризованным системам уравнений, отвечающие различным сочетаниям сопротивлений установок продольной (УПК) и поперечной (УПЕК) компенсации.

Полученные результаты математического моделирования показывают, что при заданных параметрах граница самовозбуждения лежит выше значения $X_{УПК} = 0,04$. Нарушение устойчивости имеет электромеханическую природу: при увеличении значения механической инерционной постоянной ПЭД, граница самовозбуждения сдвигается в сторону больших величин $X_{УПК}$ с одновременным понижением частоты колебаний ротора.

Пример расчета переходного процесса при близких к граничным

значениям сопротивления УПК ($X_{УПК} = 0,045$) и УПЕК ($X_{УПЕК} = 1,4$) приведен в диссертации.

Электромеханическая неустойчивость проявляется в слабозатухающих колебаниях электромагнитного момента двигателя с частотой около 19 Гц. Следует ориентироваться на то обстоятельство, что присоединенные к рабочему колесу насоса массы эмульсии приведут к некоторому увеличению эквивалентной механической инерционной постоянной ПЭД и, как указывалось выше, к сдвигу границы неустойчивости в сторону больших значений сопротивления УПК. Таким образом, предложенная схема пуска ПЭД является безопасной с точки зрения самовозбуждения.

В работе приведены результаты расчета переходного процесса при скачкообразном понижении питающего напряжения $U=0,4*U_{ном}$ и при следующих значениях сопротивления УПК ($X_{УПК} = 0,04$) и УПЕК ($X_{УПЕК} = 1,4$) в процессе запуска ПЭД.

Доказано, что после восстановления напряжения (за 0,9 с.) двигатель достигает номинальных оборотов за 0,1 с, а колебания электромагнитного момента затухают за 0,18 с. При $X_{УПК} = 0,02$ о.е. и меньшей мощности УПЕК (1,4 о.е.) процесс в целом также имеет аналогичный характер (рис.11), хотя напряжение на зажимах двигателя стабилизируется на более низком уровне (0,95 о.е.).

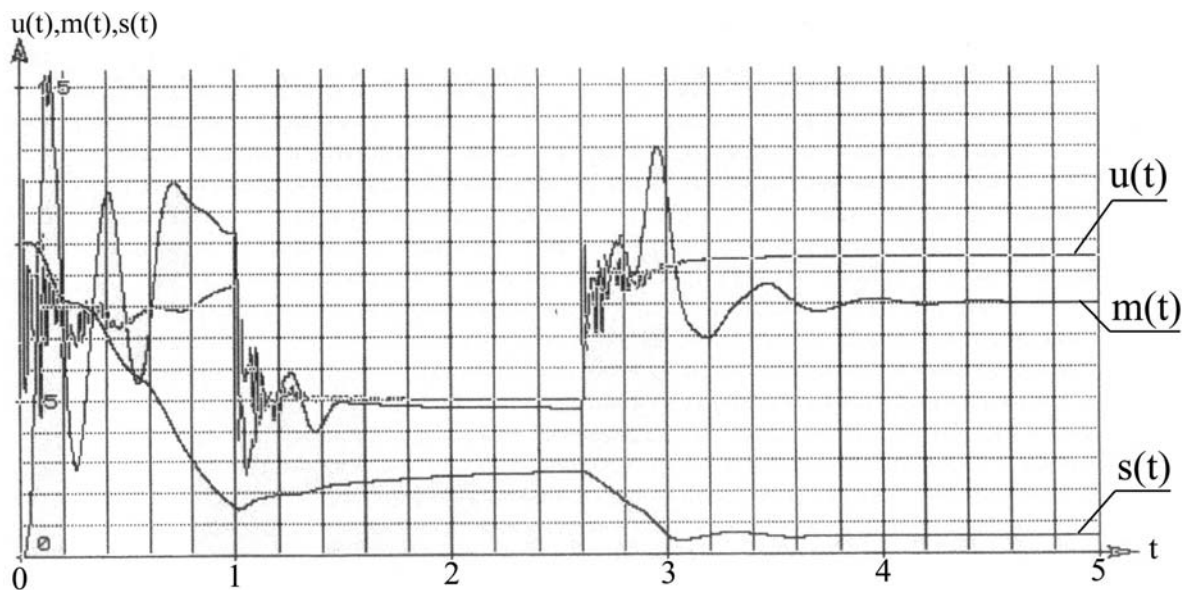


Рис.11. Графики зависимостей мгновенных значений напряжения, электромагнитного момента и скольжения при пуске ПЭД с последующим провалом напряжения, равным значению $U=0,4*U_{ном}$ при $X_{УПК}=0,02$; $X_{УПЕК} = 2,8$.

Установлено, что установки поперечной компенсации при больших отклонениях и колебаниях напряжения незначительно влияют на параметры переходного процесса, наибольшее влияние на параметры оказывает УПК, что также подтверждается экспериментальными исследованиями (рис.12).

Показано, что при степени компенсации индуктивного сопротивления (т.е. компенсации индуктивных сопротивлений: участка ЛЭП, двух

индивидуальных трансформаторов, питающих кабелей и обмотки статора), равной 1, улучшаются параметры переходных процессов и почти вдвое сокращаются динамические составляющие электромагнитного момента при пуске электродвигателя. При этом уровень напряжения на зажимах электродвигателя после провала напряжения восстанавливается быстрее, существенно сокращается время работы электродвигателя (с $t_1=0,25$ с. до $t_2=0,165$ с.) в режиме пуска, а напряжение на зажимах электродвигателя возрастает ~ на (4...5) %.

При увеличении степени компенсации УПК до 2-х на период переходного процесса и провала напряжения устойчивый режим работы электродвигателя не нарушается, но при этом напряжение на зажимах электродвигателя увеличивается ~ на 8 % и быстрее достигает установившегося значения.

Даны рекомендации по компенсации индуктивных сопротивлений исполнительного модуля ЭКДС на период переходного процесса и провала напряжения при использовании быстродействующих УПК, работающих в полупериодном режиме по автоматической компенсации потерь напряжения. В соавторстве разработано техническое решение [32], на базе, которой разработана схема включения обеспечивающая увеличение степени компенсации УПК до 2-х на период переходного процесса и провала напряжения и его описание также дано в диссертации.

В пятой главе разработаны метод расчета и математическая модель исполнительного модуля ЭКДС с ВНУсПП, которая базируется на известных методах расчета, но существенно отличается тем, что учитывает гидродинамические параметры скважины и специфику изменения динамики нагрузки привода исполнительного модуля ЭКДС с ВНУсПП. Специфика изменения нагрузки заключается в смене поступательно-возвратного движения колонны штанг, имевшего место в ШСНУ, на вращательное, что существенно снизило массу движущихся частей.

Определены граничные и энергетические параметры в установившихся и переходных процессах с целью обеспечения устойчивой работы и гарантированного самозапуска привода исполнительного модуля ЭКДС.

Проанализированы существующие в настоящее время винтовые насосные установки и определены их существенные отличия, по принципу действия и конструкции, от винтовых насосных установок, применяемых в прошлом.

Определены граничные параметры УПК и УПЕК исполнительного модуля ЭКДС, а также режима напряжения и электропотребления в установившихся и переходных процессах, которые гарантированно осуществляют режим самозапуска привода исполнительного модуля ЭКДС и обеспечивают устойчивый режим работы при возникающих дополнительных возмущениях питающего напряжения (рис.12).

Получены результаты математического моделирования в виде графиков зависимостей пускового и установившегося момента, пускового и установившегося тока, частоты вращения в функции механической постоянной.

В шестой главе разработаны методы поэлементного определения изменяющихся потерь активной мощности. Созданы новые схемы подключения. Разработаны новые технические средства измерения изменяющейся части потерь активной мощности, отклонения и колебания напряжения. В этих устройствах, с целью исключения из абсолютных величин составляющей двойной частоты и постоянной составляющей, реализованы ортогональный и дифференциальный методы измерения.

Произведена экспериментальная проверка абсолютной и относительной погрешности этих технических средств измерения. Произведена классификация технических средств измерения по быстродействию и точности. Разработан переносной блок контроля параметров режима напряжения. Проведены экспериментальные исследования на приводе исполнительного модуля ЭКДС и определены (рис.12) изменяющиеся потери активной мощности $\Delta P(t)$ (определяемые поэлементным методом) в переходных и установившихся процессах с учетом параметров установок УПЕК и УПК. На осциллограмме цена одного деления по оси абсцис 0,1 с. По оси ординат каждый параметр калибровался отдельно по своему прибору учета. На рис.12 приведены осциллограммы $I(t)$ тока, $U(t)$ напряжения, $P(t)$ активной и $Q(t)$ реактивной мощности исполнительного модуля ЭКДС с УПЕК и быстродействующей УПК.

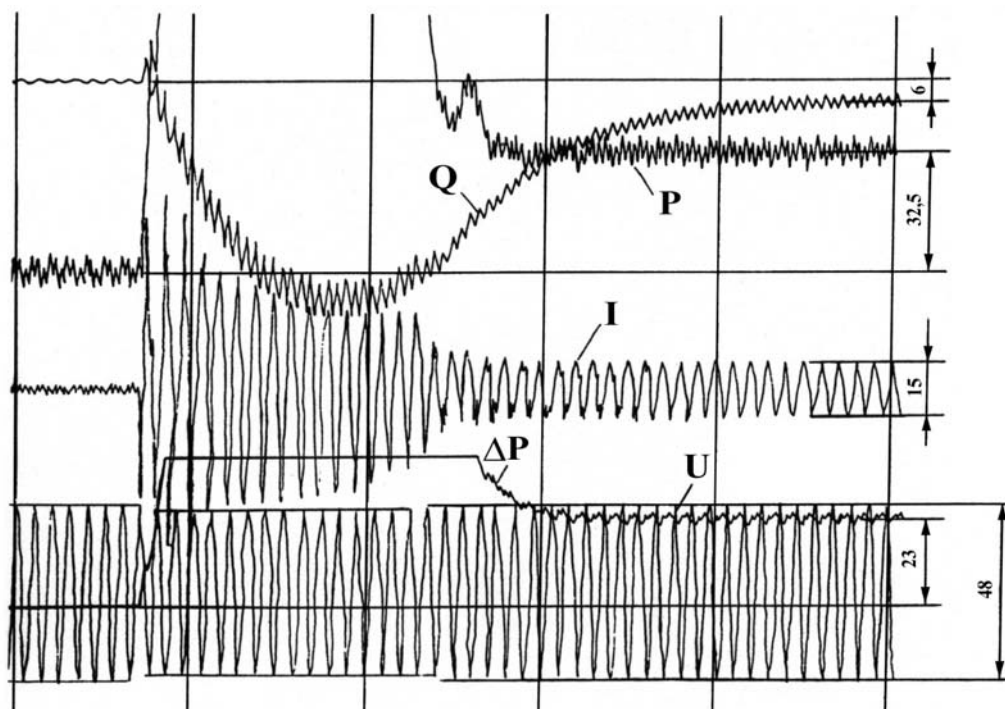


Рис.12. Осциллограмма пуска погружного электродвигателя с установками продольной и поперечной компенсации с сформированными пусковыми и улучшенными энергетическими характеристиками.

Сопоставление экспериментальных данных с расчетными данными (рис.13) показало, что они адекватны друг другу с погрешностью не более 3%.

В результате экспериментальной проверки принятых в главе 2 допущений о независимости производительности УЭЦН от изменения уровня напряжения

в заданном диапазоне на вводе в скважину подтверждено, что производительность УЭЦН практически не зависит от изменения уровня напряжения.

Экспериментальное исследование выполнено с использованием теплового расходомера жидкости и газа и штатного регистратора расхода на газомерной установке.

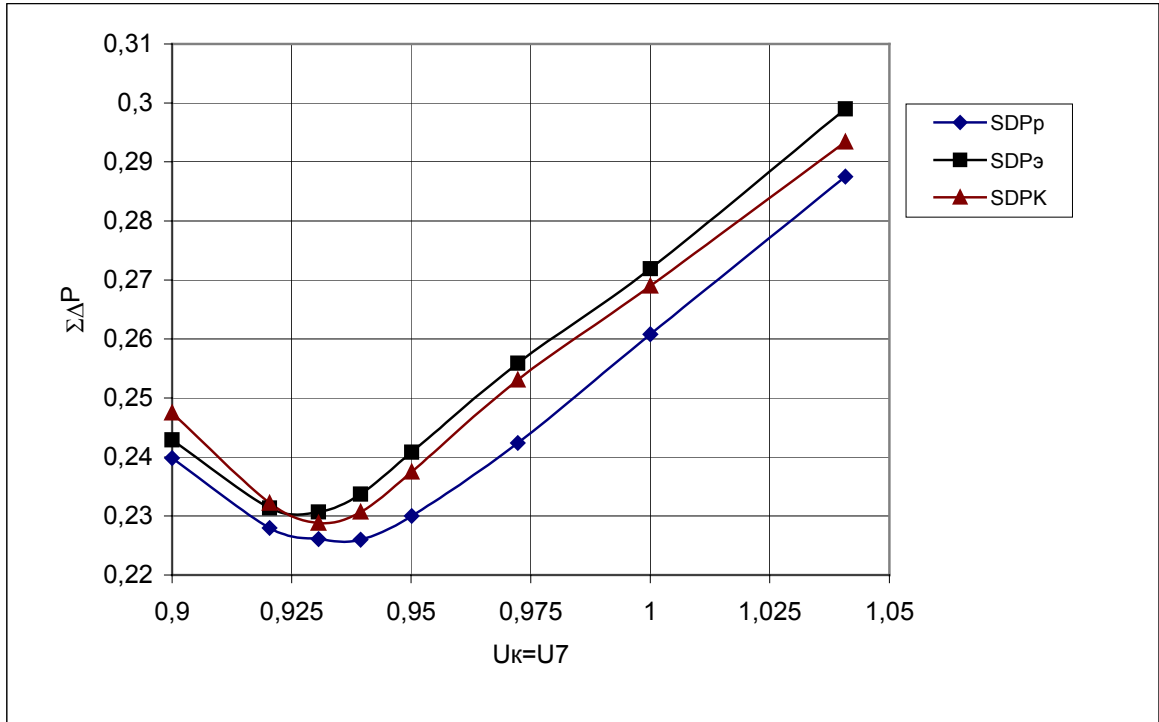


Рис.13. Расчетный ($\Sigma \Delta P_{рас.}$) и экспериментальные ($\Sigma \Delta P_{э}$, $\Sigma \Delta P_{к}$) графики зависимостей потерь активной мощности в функции напряжения электротехнического комплекса добычной скважины.

В седьмой главе разработаны методы рациональной настройки блока автоматического регулирования (БАР) привода устройства РПН.

Разработана принципиальная однолинейная схема станции управления с защитой, индивидуальной подсистемой контроля, коммерческого учёта электрической энергии и передачи информации для исполнительного модуля ЭДКС с ВНУСПП.

Разработана принципиальная однолинейная схема установки продольной компенсации с блоком управления и защиты, также разработаны физические модели (малая – лабораторная и полномерная – промышленная).

В результате экспериментального исследования получены осциллограммы по основным энергетическим параметрам, характеризующим режим работы батарей статических конденсаторов УПК в переходных и установившихся процессах в различных условиях.

На рис.14 приведены осциллограммы $I(t)$ тока, $U(t)$ напряжения, $P(t)$ активной и $Q(t)$ реактивной мощности исполнительного модуля ЭДКС с быстродействующей УПК и $U(t)_{у\text{пек}}=198$, В - это добавочное напряжение УПК.

Проведены экспериментальные исследования по автоматической

стабилизации рационального уровня напряжения с использованием технических средств компенсации реактивной мощности и потерь напряжения с одновременным замером активной и реактивной мощности и напряжения.

Разработан метод наложения с координатным суммированием, позволяющая теоретически определять количество переключений в сутки. Теоретическое количество переключений в сутки согласно рис.15 составляет 5 переключений.

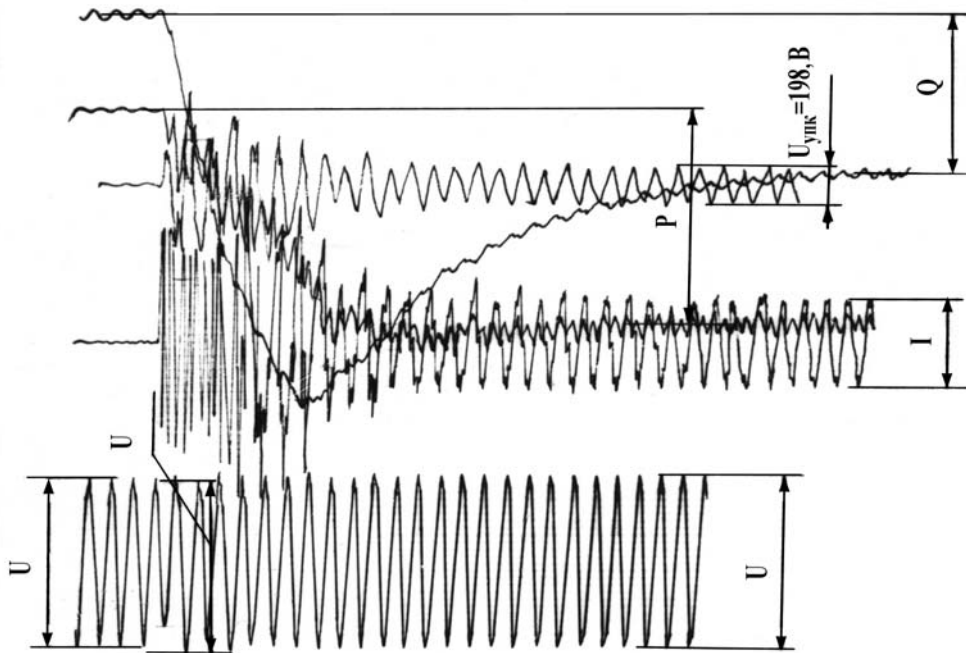


Рис.14. Осциллограмма напряжения на зажимах статических конденсаторов установки продольной компенсации в переходном и установившемся режимах.

Экспериментально доказано, что количество переключений РПН в сутки не превышает 7 (рис.16, нижний график - острые пики напряжения возникают при коммутациях) при допустимом значении - 25 переключений в сутки.

На рис.15, где: $U(t)$ – текущее напряжение свободного режима; $U(t)_{\text{рац.}}$ – рациональный уровень напряжения; $U(t)_{\text{стаб.}}$ - текущее напряжение в режиме стабилизации значения рационального уровня напряжения; $\pm \Delta U(t)\%$ - верхнее и нижнее значения отклонения напряжения; $U_{\text{ступ.}}$ - напряжение ступени регулирования; ε - диапазон регулирования напряжения; $\Delta t_{\text{уст}}$ - время выдержки на включения привода РПН.

После ввода устройства БАР-РПН в эксплуатацию в режим автоматической стабилизации рационального уровня напряжения были получены следующие экспериментальные данные:

- суточные графики напряжения, зарегистрированные в результате одновременного контроля в двух заданных точках СЭС (рис. 16);
- суточный график напряжения свободного режима напряжения СЭС на стороне высшего напряжения силового трансформатора (рис. 16, верхний);
- суточный график напряжения при работе системы БАР-РПН по

автоматической стабилизации рационального уровня напряжения на стороне низшего напряжения силового трансформатора (рис. 16, нижний).

Экспериментальные данные суточных графиков напряжения, полученные с использованием метода наложения, наглядно иллюстрируют реальный режим работы исполнительного модуля ЭКП в режиме автоматической стабилизации рационального уровня напряжения, который отражен на рис.16.

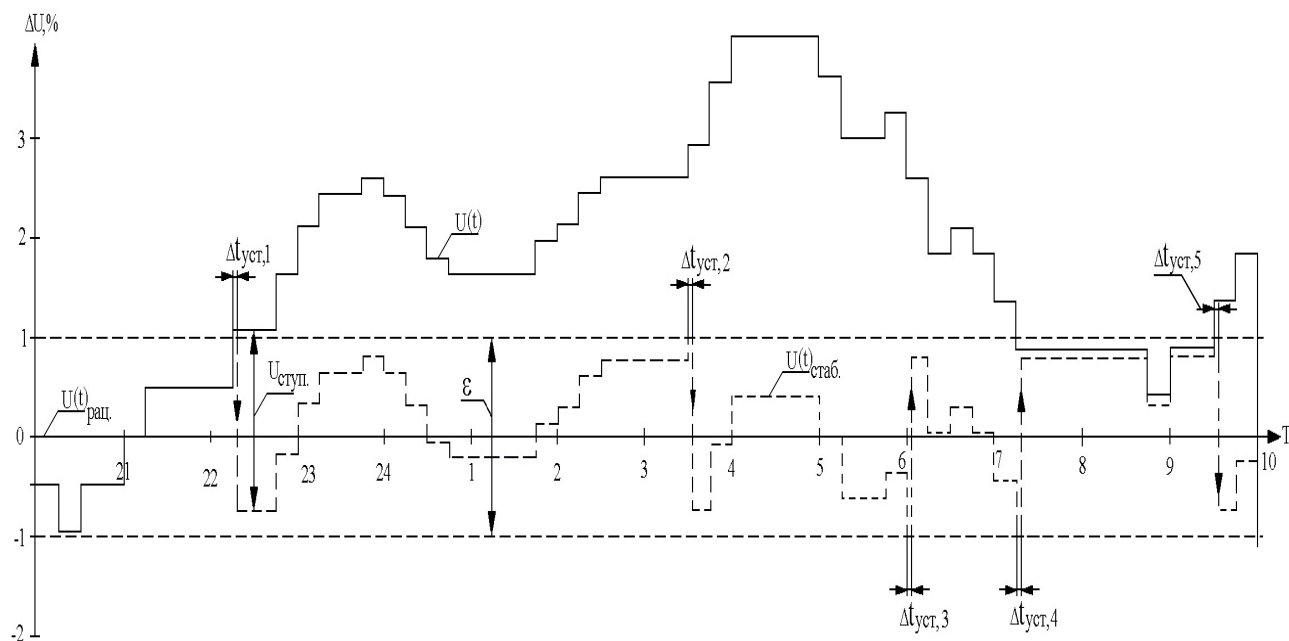


Рис.15. Экспериментальный суточный график напряжения с наложением на него теоретического суточного графика напряжения, полученного при моделировании режима работы БАР и РПН.

Суточные графики напряжения наглядно иллюстрируют показатели качества электрической энергии (ПКЭЭ) энергоснабжающего предприятия (верхний график) и ПКЭЭ потребителя, т.е. исполнительного модуля ЭКП (нижний график). Согласно этим данным энергоснабжающее предприятие обязано снижать тарифы на электрическую энергию из-за несоответствия показателей КЭЭ по ГОСТ 13109 – 97.

Разработана структурная схема подсистемы АСУ и укрупненная схема алгоритма её функционирования, обеспечивающего режим автоматической стабилизации рационального уровня напряжения в центре питания исполнительного модуля ЭКП.

Произведена экономическая оценка показателей режима автоматической стабилизации рационального уровня напряжения, который показал, что годовой ожидаемый экономический эффект только по одной подстанции составляет 40 тысяч рублей на 10.10.2000г. или, по одному НГДК, более одного миллиона рублей. Одно НГДК имеет до 30 подстанций, а в составе ОАО "Татнефть" 12 НГДК.

Разработан метод расчета по экономической оценке режима автоматической стабилизации рационального уровня напряжения и режима работы технических средств по компенсации потерь напряжения и компенсации реактивной мощности.

Разработана математическая модель конкурирующих вариантов, т.е. между ШСНУ и ВНУсПП. По результатам математического моделирования показано, что при замене ШСНУ на ВНУсПП на маломебитных скважинах с вязкой и высоковязкой нефтью с одной и той же производительностью снижается потребление активной электрической энергии на $\Delta W=135728$ кВт*ч/год и уменьшаются приведённые затраты с $Z_1=209915$ руб./год до $Z_2=57858$ руб./год.

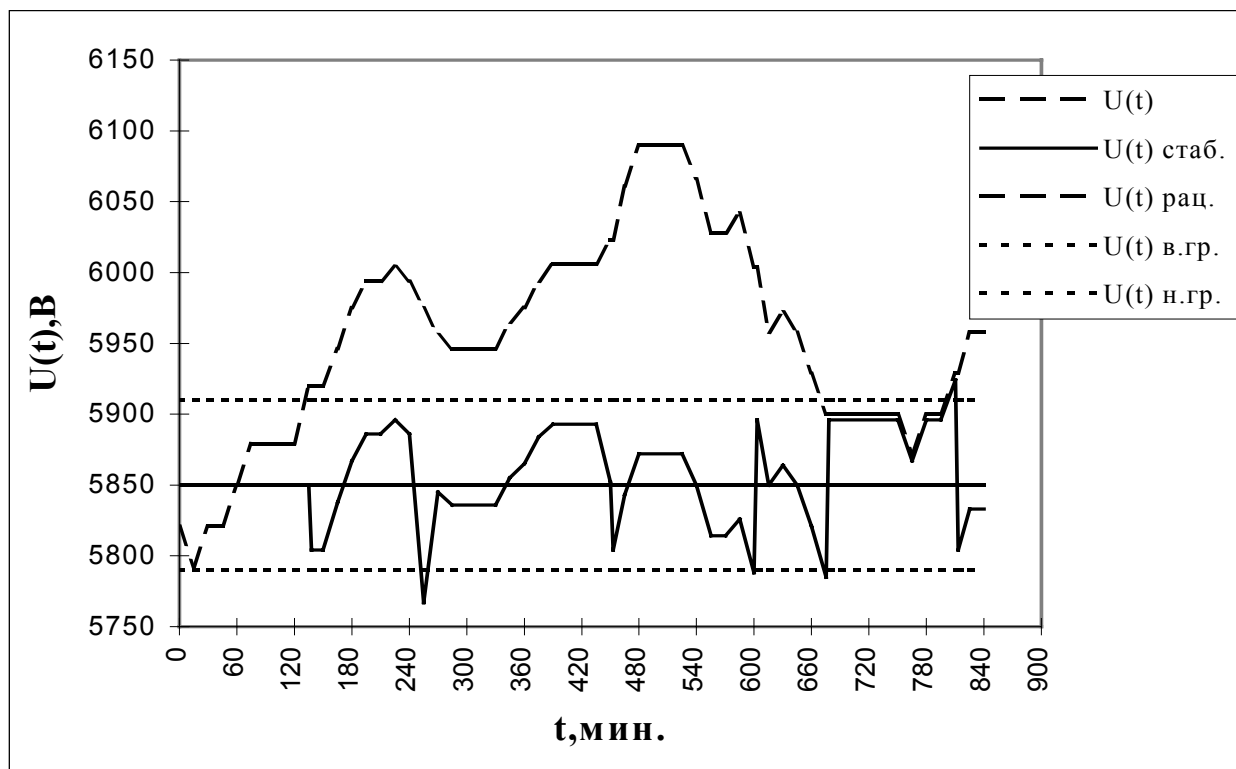


Рис.16. Характерный суточный график напряжения сводного режима и график автоматически стабилизированного рационального уровня напряжения.

Получены обобщенные результаты этих расчетов в табличной форме с основными показателями ожидаемого годового экономического эффекта при сравнении конкурирующих вариантов исполнительных модулей ЭКДС.

Научно обосновано автоматическая стабилизация рационального уровня напряжения, индивидуальная компенсация реактивной мощности и компенсация потерь напряжения в линии, что существенно улучшают режим работы всего электрооборудования исполнительного модуля ЭКДС. Оптимизируют энергетические и экономические параметры, рассматриваемого исполнительного модуля ЭКП.

Доказано, что автоматическая стабилизация рационального уровня напряжения снижает потери активной мощности 0,66% (рис.9) и потребление реактивной мощности на 3,7%, а также уменьшает установленную полную мощность электрооборудования на 2,4%, следовательно, и приведенные затраты на электрическую энергию. Показано, что снижение потребления реактивной мощности уменьшает установленную мощность компенсирующих

установок на 3,7%, а в целом снижаются и приведенные затраты на 1 тонну добываемого полезного ископаемого.

Выявлены и сформированы необходимые системно обоснованные организационно-технические мероприятия и организационные мероприятия социально - экономического плана, направленные на ликвидацию неоправданных издержек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, по всей совокупности рассмотренных вопросов, касающихся проблемы энергосбережения на предприятиях нефтедобычи, можно сделать следующие выводы:

1. В соответствии с паспортом специальности «Электротехнические комплексы и системы» (05.09.03) основным направлением исследований диссертационной работы является: развитие общей теории электротехнических комплексов и систем; изучение системных свойств и связей, физическое, математическое и компьютерное моделирование компонентов этих комплексов и систем; обоснование совокупности технических, технологических, экономических, экологических и социальных критериев оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов и систем; разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления; исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах при разнообразных внешних воздействиях.

1.1. Совокупность представленных методов расчетов и математических, физических и компьютерных моделей позволила выявить случайные и закономерные процессы в электротехнических комплексах и системах предприятий нефтедобычи.

1.2. Анализ установленных закономерностей, системных свойств и связей позволил установить основные причины неоправданных потерь электроэнергии (узлы противоречий в системе), возникающих при широком диапазоне внешних и внутренних воздействий на компоненты электротехнических комплексов и систем электроснабжения объекта рассмотрения.

2. Разработана совокупность технических, технологических, экономических, экологических и социальных критериев, позволивших осуществлять объективную оценку принимаемых решений в области создания, проектирования и эксплуатации электротехнических комплексов и систем. На основании критериальных оценок в работе обоснованы следующие технико-технологические рекомендации:

2.1. Установлена взаимосвязь типоразмеров электронасосных установок (ЭНУ) с гидродинамическими параметрами пластов и вязкостью нефти, а также с результатами прогнозирования этих параметров. Определены граничные значения пластового давления и вязкости нефти, при которых становится

экономически целесообразной замена ШСНУ на ВНУсПП.

2.2. Обоснована структура электротехнического комплекса насосных установок, включающая в себя электропривод с регулируемой частотой вращения, информационно – управляющую систему и автономные корректирующие устройства УПК и УПЕК, позволяющая минимизировать потери электроэнергии в этих комплексах.

2.3. Разработана концепция регулирования режимов работы электротехнических комплексов и систем электроснабжения предприятий нефтегазодобывающих предприятий, обеспечивающая минимизацию потребления электрической энергии при сохранении на заданном уровне производительности нефтегазодобывающего оборудования.

3. При решении задачи минимизации потерь электроэнергии осуществлена научно-обоснованная многоуровневая декомпозиция столь сложного объекта рассмотрения, как нефтегазодобывающее Открытое Акционерное Общество. Использование положений системного анализа позволило представить объект рассмотрения, как многоуровневую совокупность функциональных модулей.

3.1. Наиболее крупными автономными подсистемами ОАО являются нефтегазодобывающие комплексы, условно вычлененные из среды так, чтобы были сохранены их основные связи со средой и отброшены несущественные. Это позволило уйти от "проклятия размерности задачи", обычно сопровождающего анализ сложных многофакторных систем.

3.2. Нефтегазодобывающие комплексы по другим компонентам обеспечения, кроме электроэнергии, не автономны, и поэтому внешние и внутренние возмущения среды оказывают влияние на потери электроэнергии. Установлено, что основные потери электроэнергии на действующих НГДК происходят из-за того, что принятие решений персоналом на различных уровнях управления структурами объекта рассмотрения производится по факту отклонения режимов работы в структуре данного уровня, т.е. из-за отсутствия единой многоуровневой стратегии управления.

3.3. Декомпозиция на функциональные модули позволила сформировать и рассмотреть необходимую и достаточную совокупность моделей объекта рассмотрения (семантических; алгоритмических и аналитических; физических). Эти модели во взаимосвязи отображают все процессы между «входами» и «выходами» объекта рассмотрения. При этом структура моделей должна быть такова, чтобы каждая из них обладала свойствами функционального модуля, т.е. при необходимости она (модель) может уточняться, упрощаться, заменяться так, чтобы не разрушалась целостность рассмотрения всей системы.

3.4. Дальнейшая декомпозиция объекта рассмотрения позволила выделить для локального моделирования и анализа потерь электроэнергии следующие подсистемы:

- электротехнические комплексы добычной скважины, т.е. основное и вспомогательное технологическое оборудование с учетом гидродинамических нагрузок и возможностями автономной коррекции режимов электропотребления за счет регулирования параметров электродвигателей,

УПК и УПЕК;

- электротехнические комплексы предприятия, т.е. промышленные подстанции и отходящие линии, входные параметры которых должны регулироваться в строгой зависимости от текущих значений параметров нагрузок;

- электротехнические комплексы крупного узла электрической нагрузки (узловые, районные подстанции).

4. Многоуровневая иерархическая модель объекта рассмотрения позволила осуществить структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем и их оптимизацию с позиции минимизации потерь электроэнергии.

4.1. Анализ режимов работы оборудования, выполненный на моделях, позволил установить научно-обоснованные закономерности взаимосвязанного регулирования режимов работы оборудования на различных иерархических уровнях. Это дало возможность выработать единую стратегию управления электротехнических комплексов и систем НГДК, обеспечивающую минимизацию потерь электроэнергии.

4.2. Предложены аппаратные средства измерения текущих параметров режимов работы оборудования, алгоритмы управления и реализующие их аппаратные средства, на основании которых реализована разработанная стратегия управления электротехническими комплексами и системами НГДК.

5. Получен подтвержденный актами внедрения суммарный годовой экономический эффект от практической реализации выводов и рекомендаций в 1998 г. и 2002 году в сумме $(660000+151657)=811657$ (восемьсот одиннадцать тысяч шестьсот пятьдесят семь) рублей на 31 марта 2003 г.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научно-технические монографии

1. Методы расчетов и математическое моделирование режима напряжения и электропотребления в установившихся и переходных процессах. - Санкт-Петербург.: - Энергоатомиздат. 1999, - 215 с.

2. Методы измерения и совершенствование технических средств централизованного и местного автоматического регулирования показателей режима напряжения и электропотребления. - Санкт-Петербург.: Энергоатомиздат. 1999, - 144 с.

Научно-технические статьи

3. Автоматизированная система управления территориально рассредоточенных объектов //Технико-экономические проблемы оптимизации режимов электропотр-ния пром-ных пред-тий: VI Научно-техн-кая конф-ция. - Челябинск, 1991, (Б.Н. Абрамович, В.П. Ганский, П.М. Каменев).

4. Automated control device for monitoring electric power supply of a mining enterprise load node //Proceedings of the second international symposium on mine mechanization and automation / Lulea / Swedn / 7-10 JUNE 1993. Mine Mechanization an Automation. (B.N. Abramovich, V.R. Gansky, P.M. Camenev,

S.B. Necrasov, V.B. Prokhorova)

5. Имитационная модель регулирования режима напряжения системы электроснабжения // Автомат-кое управление энергообъектами ограниченной мощности: I-ый Междун-ный симпозиум. – Л., 1991, (С.Б. Некрасов).

6. Комплекс терминальных устройств регистрации электропотребления во взрывобезопасном исполнении // Автоматическое управление энергообъектами ограниченной мощности: II-ой Междун-ный симпозиум. - Л., 1992.

7. Модель и компоненты системы регулирования режима напряжения в центре электропитания // Народное хозяйство Республики Коми. - Сыктывкар - Воркута - Ухта, 1992, - Т.1, - №3. (Б.Н. Абрамович).

8. Математическое моделирование режима напряжения при быстром изменении параметров сети и нагрузки. //Экспресс-информация, серия "Автоматизация и телемеханизация в нефтяной промышленности". 2 выпуск 1990, (И. А. Чернявская).

9. Математическая модель регулирования режима напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий // Автоматическое управление энергообъектами ограниченной мощности: I-ый Междун-ный симпозиум. –Л., 1991, (Б.Н. Абрамович, А.З. Павлов, С.В. Трухалева, В.В. Полещук).

10. Методика расчета процессов АД с предвключенными в цепь установками поперечной (УПЕК), продольной (УПК) компенсации и активного сопротивления / Автоматизированные системы управления электропотребл-м для предприятий горнодобывающей промышленности и перерабатывающего комплекса: Росс. - Фин. семинар. - Санкт - Петербург -Хельсинки, 1994.

11. Оптимизация режимов работы промысловых линий электропередачи. - Промышленная энергетика, 1984, № - 12. (Б.Н. Абрамович, О.В. Иванов, В.А. Лейман, Л.В. Макурова).

12. Основные направления научно-исслед-ких работ при решении проблем энергосбережения в распредел-ных сетях пром-х предприятий // Автомат-кое управление энергообъектами ограниченной мощности: I-ый Междун-ный симпозиум. – Л., 1991, (Б.Н. Абрамович, П.М. Каменев, В.Я. Чаронов).

13. Оптимизация режимов напряжения и их техническая реализация на предприятиях нефтедобычи // Сб. статей "Передовые технологии разведки и добычи полезных ископаемых, особенности строительства и экологии в условиях Крайнего Севера". - Воркута, 1991, (Б.Н. Абрамович).

14. Подсистема регулирования режимов электропотребления // Автоматическое управление энергообъектами ограниченной мощности: II-ой Междун-ный симпозиум. – Л., 1992, (С.Ф. Бучковский).

15. Рациональное использование синхронных двигателей стационарных установок горных предприятий. // Разработка полезных ископаемых и горно-шахтное строит-во в усл-х Крайнего Севера. - Ухта, 1988г. (Ю.В. Коновалов).

16. Регулирование уровней напряжения на пром-ных предпр-ях в часы максимума нагрузки.//М.: ЦНИЭИуголь, 1987, (Б.Н.Абрамович, П.М.Каменев).

17. Регулируемая установка компенсации реактивной мощности для нефтегазодобывающего предприятия. //Промышленная энергетика. 1990, -№ 5, (А.Н.Евсеев, А.С.Логинов).

18. Создание автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов для объединения "Татнефть" // Автоматическое управление энергообъектами ограниченной мощности: II-ой Междун-ный симпозиум. - Л., 1992, (Б.Н. Абрамович, П.М. Каменев, В.Я. Чаронов).

19. Система сбора информации по режиму электропотребления в подземных условиях // Автоматическое управление энергообъектами ограниченной мощности: I-ый Междун-ный симпозиум. – Л., 1991.

20. Техническая и экономическая эффективность регулирования напряжения на ГПП угольных шахт // Совершен-ние методов разведки и добычи полез-х ископ-х Кр. Севера. - Сыктывкар, 1988, (Б.Н.Абрамович, П.М.Каменев).

21. Устройство автоматического управления электроснабжением узла нагрузки горного предприятия // Горный журнал. - Екатеринбург, 1992, - № 2. (Б.Н. Абрамович, В.П. Ганский, П.М. Каменев, С.Б. Некрасов, В.Б. Прохорова).

22. Устройство для защиты установок продольной емкостной компенсации (УПК) от перенапряжения и субгармонических колебаний. - Серия "Машины и нефтяное оборудование", 1985, - № 5. (В.Я. Чаронов, Б.Н. Абрамович, К.А. Ананьев, О.В. Иванов).

23. Управление режимами напряжения и компенсации реактивной мощности на предприятиях горной промышленности // Автомат-кое управление энергообъектами ограниченной мощности: II-ой Междун-ный симпозиум. – Л., 1992, (Б.Н. Абрамович, А.Н. Евсеев).

24. Эффективность автоматического регулирования режима напряжения в центрах питания пром. пред-тий. //Науч. техн. инфор. сб. Нефтяная пром-сть. СССР, 1990,- Вып. 10, (В.Я.Чаронов, А.Н.Евсеев, А.С.Логинов).

25. Система автоматизированного контроля режимов электропотребления на открытых горных работах //XI международная конференция по автоматизации в горном деле: International Cjmmittee on Automation of alines and Quarries ICAMC. - Екатеринбург, 1992, (А.А. Лосевский, А.И. Симонов).

26. Экспериментальное исследование режимов работы установок с электроцентробежными насосами для нефтедобычи и местными устройствами продольной и поперечной компенсации//Деп.№1103нг-84.-М.:ВНИИОЭГ, 1984, (В.Я.Чаронов, Б.Н.Абрамович, О.В.Иванов, Л.В.Макурова, А.С. Логинов).

27. Энергетические показатели режимов работы электрооборудования УЭЦН и способы их улучшения. - Нефтяное хозяйство, 1985, - № 3. (В.Я. Чаронов, Б.Н. Абрамович, О.В. Иванов).

28. Совершенствование режима напряжения и электропотребления в условиях предприятий нефтедобычи. - Нефть Татарстана, 1999, - № (1-2). (Н.В. Афанасьев, И. А. Чернявская).

29. Экспериментальные исследования самозапуска погружного электродвигателя (ПЭД) с сформированными пусковыми характеристиками. - Нефть Татарстана, 1999, - № (3-4). (Н.В. Афанасьев).

Тезисы докладов на научных конференциях

30. Проблемы оценки и технико-экономического обоснования уровня надежности электроснабжения предприятий горнодобывающего комплекса //

Технико-экономические проблемы повышения надежности и безопасности систем энергоснабжения пром-ных предприятий: Краткие тезисы докладов к Всесоюзному научно-техническому совещанию. – Л., 1991г. (Б.Н. Абрамович).

31. Автоматизированная система управления электроснабжением (АСУЭ) предприятий горной пром-ти // Проблемы стандарции в энергетике и энергосбережении. - Киев, 1991, (Б.Н.Абрамович, В.П.Ганский, П.М.Каменев).

Патенты на изобретения и свидетельства на полезную модель

32. Устройство защиты от перенапряжения и субгармонических колебаний установок продольной емкостной компенсации. //А.с. №1185490 от 15.10.85г. Бюл.№38. (Б.Н. Абрамович, О.В. Иванов, С.А. Коновалова, Л.В. Макурова, В.Я.Чаронов).

33. Тепловой расходомер жидкостей и газов // А.с. №1247658 от 30.07.86г. Бюл. №28. (Д.М. Стоматин, Б.Н. Абрамович).

Диссертанту принадлежат:

в публикациях 4, 9, 11, 21, 22, 26, 32 – идеи разработок, постановка задач, разработка технического задания, разработка схемных решений, анализ результатов работ, доля автора в каждой публикации составляет 20%;

в публикациях 3, 12, 18, 24, 27, 31 – идеи разработок, разработка схемных решений, проведение исследований и анализ результатов работ, доля автора в каждой публикации составляет 25%;

в публикациях 16, 17, 20, 23, 25, 28, 33 – идеи разработок, постановка задач, разработка методик, разработка схемных решений, анализ результатов работ, доля автора в каждой публикации составляет 33%;

в публикациях 5, 7, 8, 13, 14, 15, 29, 30 – обоснование разработок, организация и разработка технического задания, анализ результатов работ, доля автора в каждой публикации составляет 50%;

в публикациях 1, 2, 6, 10, 19– разработка концепции, выбор исходных данных для моделирования, анализ результатов моделирования, проведение исследований и анализ результатов исследования, организация и разработка технического задания, разработка схемных решений, организация внедрения новых технических средств, доля автора в каждой публикации составляет 100%.

Подписано в печать _____ Формат 60 x 80 x 1/16

Тираж 100 экз.