

На правах рукописи
УДК 622.276.012:621.311

ГАРИФУЛЛИНА АЛСУ РАДИКОВНА

**РАЦИОНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ
МОЩНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ И
ОТХОДЯЩЕЙ ЛИНИИ
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*Специальность 05.09.03 –
«Электротехнические комплексы и системы»*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2012

Работа выполнена в Альметьевском государственном нефтяном институте

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор	Нурбосынов Дуйсен Нурмухамедович
Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор	Смоловик Сергей Владимирович
кандидат технических наук, доцент	Коновалов Юрий Васильевич
Ведущая организация	НГДУ «Туймазанефть» ООО «Башнефть-Добыча» (Республика Башкортостан, г. Октябрьский)

Защита состоится "1" марта 2012 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.20 в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, главный корпус ауд. № 150.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан "___" _____ 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



А.Д. Курмашев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В нефтегазодобывающей отрасли одной из важнейших является проблема по минимизации потерь электрической энергии при добыче углеводородного сырья. Данная проблема может быть решена путём регулирования потребления реактивной мощности и оптимизации режимов напряжения.

Известно, что нефтегазодобывающие предприятия (НГДП) являются крупными и ответственными потребителями электрической энергии, и в масштабе отрасли расходы на электроэнергию составляют десятки миллиардов рублей, что делает существующую проблему весьма актуальной. Снижение потерь электроэнергии в электротехнических комплексах и системах нефтегазодобывающей промышленности даже на единицы процентов экономит огромные финансовые средства.

Диссертационная работа явилась результатом НИР, выполненного кафедрой «Электроэнергетика» Альметьевского государственного нефтяного института (АГНИ) по заказу ОАО «Татнефть». Практические результаты внедрены Управлением энергетики в структурных подразделениях ОАО «Татнефть».

Диссертационная работа базируется на известных апробированных результатах исследований, выполненных в Российском государственном университете нефти и газа им. И.М. Губкина, Санкт-Петербургском государственном горном институте, ООО «Научно-производственной фирме ОЛТА» (г. Санкт-Петербург), Уфимском государственном нефтяном техническом университете, ОАО «Татнефть» и в Альметьевском государственном нефтяном институте. На основе этих результатов получили дальнейшее развитие научные исследования по рациональному использованию реактивной мощности и оптимизации уровня напряжения в центре питания системы электроснабжения нефтегазодобывающего предприятия.

Следует отметить, что при внедрении новой техники и технологий процесса добычи нефти и газа с целью снижения потерь в электротехнических комплексах добывающей скважины, отходящей линии и предприятия (ЭКДС, ЭКОЛ и ЭКП), режимы работы этих комплексов не всегда согласовываются между собой. Также не согласовываются с технологией производства режимы работ компенсирующих установок (КУ) и технических средств по автоматической стабилизации уровня напряжения.

Цель диссертационной работы: оптимизация режима потребления реактивной мощности электротехнического комплекса нефтегазодобывающего предприятия, где критерием оптимизации является минимум потерь активной мощности и потерь напряжения при перетоках реактивной мощности.

Задачи исследований:

– изучение свойств и связей между элементами электротехнических комплексов нефтегазодобывающего предприятия и компоновка структурных схем, учитывающих новые элементы и влияние внутренних и внешних воздействий питающей и распределительной электрической сети;

– разработка математических моделей электротехнических комплексов

добывающей скважины с цепным приводом и отходящей линии и совершенствование методов расчета в установившихся и переходных режимах;

– определение рациональных уровней напряжения, обеспечивающих снижение потерь электроэнергии в электротехнических комплексах нефтегазодобывающего предприятия;

– определение рациональных мест подключения и параметров установок компенсации реактивной мощности и потерь напряжения.

Методами исследований являются методы теории электрических цепей, методы теории управления и оптимизации технических систем, аналитические и численные методы прикладной математики, а также методы математического и компьютерного моделирования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. **Разработанная и обоснованная** на основе многократных экспериментальных исследований и натурных измерений энергетических параметров схема электроснабжения отдельного модуля с индивидуальными, узловыми и централизованными компенсирующими установками реактивной мощности и установками компенсации потерь напряжения, позволяющими снизить потери активной мощности при перетоках реактивной мощности и сузить диапазон изменения уровня напряжения при его автоматической стабилизации в центре питания.

2. Математические модели электротехнических комплексов добывающей скважины и отходящей линии, учитывающие индивидуальные и узловые компенсирующие установки и их связи, которые представлены аналитическими зависимостями, дополняющими известные методы расчетов энергетических и динамических характеристик в установившихся и переходных режимах работы этих комплексов.

3. Результаты математического моделирования в виде энергетических и динамических характеристик в установившихся и переходных режимах работы электротехнических комплексов при автоматической стабилизации рационального уровня напряжения в центре питания при одновременной индивидуальной и узловой компенсации реактивной мощности и потерь напряжения.

Научная новизна:

– разработаны математические модели электротехнических комплексов добывающей скважины и отходящей линии, учитывающие индивидуальные и узловые компенсирующие установки и их связи, которые представлены аналитическими зависимостями, дополняющими известные методы расчетов энергетических характеристик этих комплексов в установившихся режимах.

– усовершенствованы известные методы расчёта энергетических параметров в установившихся режимах работы электротехнических комплексов путем дополнения их новыми аналитическими зависимостями, которые расширяют их функциональные возможности и позволяют определить оптимальные места подключения и параметры компенсирующих установок, рациональный уровень напряжения центра питания;

– разработана математическая модель электротехнического комплекса добывающей скважины с новым цепным приводом, индивидуальными понижающим трансформатором и установкой компенсации реактивной мощности и получены аналитические зависимости, учитывающие эти элементы и их связи, и моменты сопротивления и инерции новой кинематической схемы привода в переходных режимах;

– усовершенствован известный метод расчета динамических характеристик путем расширения функциональных возможностей данного метода за счет дополнения новыми аналитическими зависимостями, позволяющий исследовать процесс пуска привода комплекса при изменениях рационального уровня напряжения в центре питания от верхней до нижней границы и разнообразных внешних воздействиях;

– разработан алгоритм рационального управления реактивной мощностью в электротехнических комплексах нефтегазодобывающего предприятия.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций базируется на использовании законов теоретических основ электротехники, теории управления и оптимизации технических систем, теории электрических машин переменного тока, теории автоматизированного электропривода и подтверждена сходимостью результатов математического моделирования с результатами экспериментальных данных.

Практическая ценность диссертационной работы:

– произведён выбор оптимальных параметров и мест подключения технических средств компенсации реактивной мощности и потерь напряжения, обеспечивающих местное и централизованное автоматическое управление потреблением реактивной мощности и регулирование режима напряжения;

– определены рациональные уровни напряжения и оптимальный диапазон отклонения напряжения, отвечающие требованиям технического ограничения привода регулятора напряжения под нагрузкой (РПН) силового трансформатора (количество переключений), что позволяет повысить степень автоматизации системы электроснабжения нефтегазодобывающего предприятия, уменьшить прямые и косвенные затраты на электроэнергию, улучшить режим работы всего электрооборудования, сетевой автоматики и релейной защиты.

Реализация результатов работы:

1. Практические результаты внедрены в Управлении энергетики ОАО «Татнефть» в соответствии с заключительным отчетом НИР по договору №7-09 от 01 января 2010 года между ОАО «Татнефть» и Альметьевским государственным нефтяным институтом (кафедра «Электроэнергетика»).

2. Результаты работы используются в учебном процессе кафедры «Электроэнергетика» АГНИ при курсовом и дипломном проектировании студентами специальности 140604.65 – «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы обсуждались: на научной сессии ученых АГНИ по итогам 2008г.

(Альметьевск, АГНИ, 2009г.); на 16-й ежегодной международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Москва, МЭИ (ТУ), 2010г.); на XIII-й Международной конференции «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты» (Крым, Алушта, 2010г.); на научно-практическом семинаре кафедры «Электроэнергетика» Альметьевского нефтяного государственного института (Альметьевск, АГНИ, 2010г.);

Диссертационная работа обсуждалась на кафедре «Электротехники и электрооборудования предприятий» Уфимского государственного нефтяного технического университета, на кафедре «Механизация, автоматизация и энергоснабжение строительства» Самарского государственного архитектурно-строительного университета, а также на научно-техническом совете ОАО «Удмуртнефть».

Публикации. Общее количество публикаций - 32, из них по теме диссертации – 9 печатных работ, в их число входят 3 статьи, опубликованные в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Результаты научных исследований отражены в заключительных отчетах НИР 2010, 2011 г.г. кафедры «Электроэнергетика».

Личный вклад автора заключается в определении и постановке задачи и метода исследования; разработке и уточнении математических и имитационных моделей элементов электротехнических комплексов добывающей скважины и отходящей линии, исследовании влияния кинематических характеристик на динамические и энергетические характеристики этих комплексов, разработке метода определения момента сопротивления и момента инерции цепного привода по динамограмме, обработке и анализе результатов суточных графиков, компоновке принципиальных схем включения индивидуальных и узловых компенсирующих установок.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 125 страницах и содержит 55 рисунков, 20 таблиц и список литературы из 115 наименований, 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе выполнен обзор и анализ технической литературы по выбранному научному направлению, определены закономерности и особенности существующих систем электроснабжения нефтегазодобывающего предприятия. В результате анализа технической литературы отечественных и зарубежных авторов изучены вопросы снижения потерь напряжения, а также индивидуальной, групповой и централизованной компенсации реактивной мощности.

При выполнении диссертационной работы определены и приняты к вниманию современные технологии и методы повышения качества электрической энергии при ее передаче и распределении.

Во второй главе скомпонована структурная схема ЭКДС и её схема замещения, разработана математическая модель, получены новые аналитические зависимости, усовершенствован известный метод расчета энергетических параметров в установившихся режимах работы комплекса, который скорректирован путём введения новых аналитических зависимостей, позволяющих расширить функциональные свойства метода, учитывающих возмущения напряжения питающей и распределительной электрической сети.

В третьей главе скомпонована структурная схема ЭКОЛ, разработана его математическая модель, получены новые аналитические зависимости, учитывающие новые элементы и связи структурной схемы этого комплекса. Усовершенствован известный метод расчета по определению энергетических параметров отходящей линии путём дополнения его этими аналитическими зависимостями. Определены оптимальный и рациональный уровни напряжения в центре питания при рациональной компенсации реактивной мощности.

В четвертой главе разработана математическая модель ЭКДС для исследования процесса пуска его привода. Получены аналитические зависимости для определения момента сопротивления и приведенного момента инерции цепного привода ЭКДС, которые дополняют известные методы расчёта динамических характеристик переходного процесса. Приведены результаты анализа математического моделирования переходного режима работы ЭКДС с понижающим трансформатором и индивидуальной установкой компенсации реактивной мощности.

В пятой главе представлены результаты экономической оценки полученных энергетических параметров ЭКДС и ЭКОЛ, а также предложенных организационно-технических мероприятий по рациональной компенсации реактивной мощности индивидуальными и узловыми установками компенсации реактивной мощности при одновременной стабилизации рационального уровня напряжения в центре питания.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Разработанная и обоснованная на основе многократных экспериментальных исследований и натурных измерений энергетических параметров схема электроснабжения отдельного модуля с индивидуальными, узловыми и централизованными компенсирующими установками реактивной мощности и установками компенсации потерь напряжения, позволяющими снизить потери активной мощности при перетоках реактивной мощности и сузить диапазон изменения уровня напряжения при его автоматической стабилизации в центре питания.

Объектом исследования является отдельный модуль (рис.1), который методом решения сложных задач по частям выделяется из электротехнического комплекса нефтегазодобывающего предприятия с сохранением всех функциональных свойств и связей этого комплекса. Отдельный модуль включает в себя

два локальных комплекса: - электротехнический комплекс добывающей скважины (ЭКДС); - электротехнический комплекс отходящей линии (ЭКОЛ). Модуль является частью электротехнического комплекса предприятия, включающего в себя питающие линии напряжением 35 кВ, промышленную трансформаторную подстанцию 35/6 кВ с централизованными установками компенсации реактивной мощности и отходящие линии напряжением 6 кВ с промышленной нагрузкой. Промышленная нагрузка представляет собой различные насосные установки, предназначенные для добычи нефти, перекачки нефти и закачки воды в пласт для поддержания пластового давления. Отходящие линии, питающие добывающие скважины, имеют распределённую по длине линии нагрузку, средняя длина линии около 7 км.

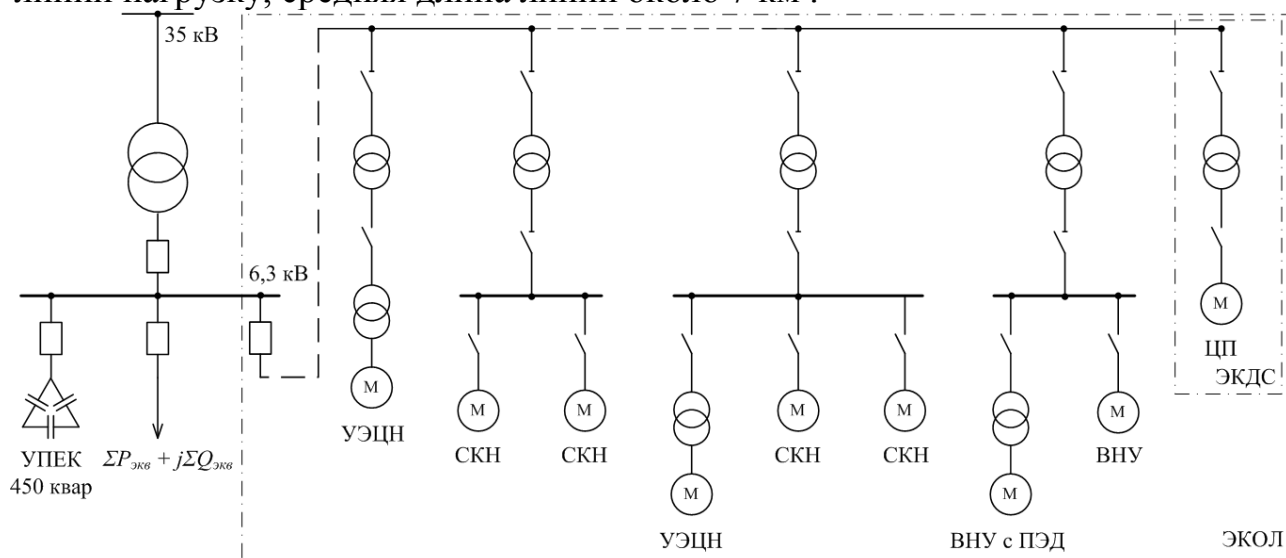


Рисунок 1 – Схема отходящей линии

На рис. 2 показан фактический существующий суточный график реактивной мощности промышленной подстанции, где наблюдается режим полной компенсации и перекомпенсации, что не соответствует требованию энергосистемы по режиму потребления реактивной мощности. Это обусловлено работой двух централизованных КУ единичной мощностью по 450 квар.



Рисунок 2 – Существующий суточный график реактивной мощности

Электротехнический комплекс НГДП содержит протяжённые воздушные линии с распределённой нагрузкой – в этих условиях целесообразно применить трёхуровневую компенсацию реактивной мощности с индивидуальными, узловыми и централизованными компенсирующими установками.

Для поддержания заданного значения $\text{tg } \varphi$ должно компенсироваться около 80% реактивной мощности. При этом около 40 % суммарной мощности КУ должны составить индивидуальные КУ, 30 % - узловые КУ (рис. 3). Оставшаяся на шинах низшего напряжения реактивная мощность компенсируется централизованной КУ, которую следует разделить на три ступени, управляемые микропроцессорной системой контроля и учёта электроэнергии.

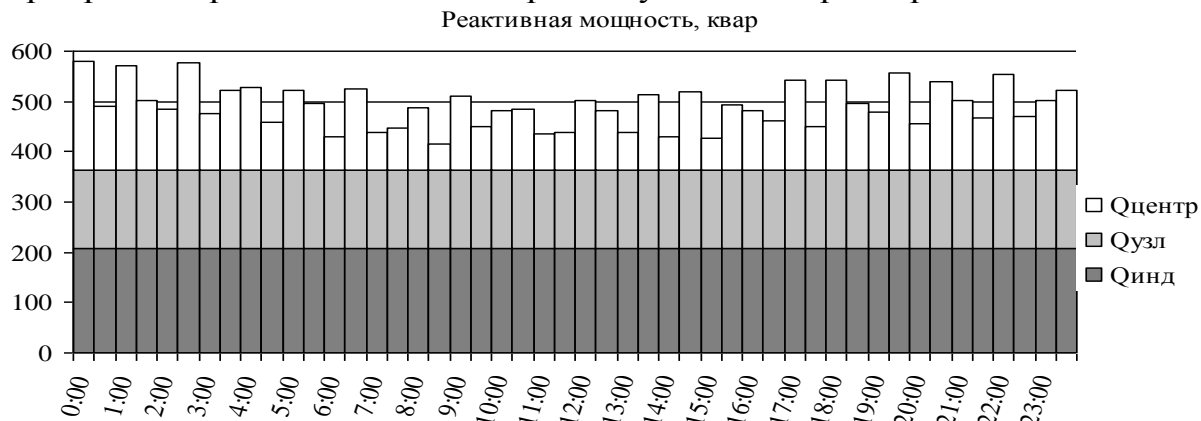


Рисунок 3 – Планируемая рациональная компенсация

На рис. 4 изображена схема ЭКОЛ с размещением установок поперечной емкостной компенсации реактивной мощности (УПЕК) и продольной емкостной компенсации потерь напряжения (УПК). В конце линии присоединён ЭКДС с цепным приводом, включающий в себя индивидуальный трансформатор 6/0,4 кВ, взрывозащищенный асинхронный двигатель ВА132S мощностью 5,5 кВт и индивидуальную УПЕК 1. В узле *d* показана сосредоточенная нагрузка, эквивалентная нагрузке, распределённой вдоль линии, и узловая УПЕК 2, в узле *c* – нагрузка, эквивалентная нагрузке остальных отходящих линий, и централизованная УПЕК 3. Схема дополнена элементами схемы внешнего электроснабжения (силовой трансформатор нефтепромысловой подстанции 1Т и питающая линия *A-b* от узловой или районной подстанции).

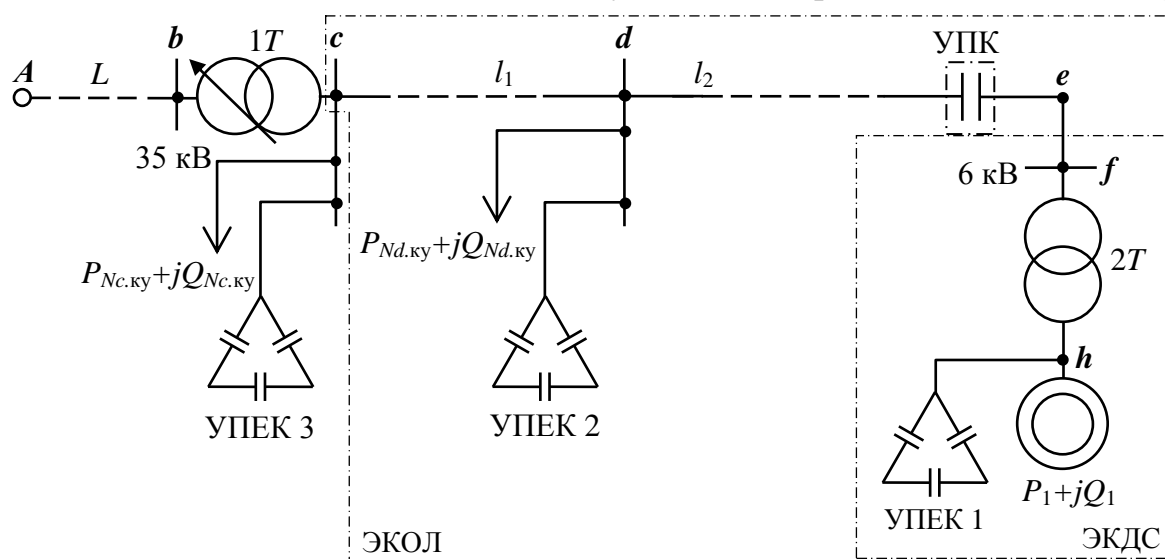


Рисунок 4 – Принципиальная схема ЭКОЛ с элементами схемы внешнего электроснабжения

2. Математические модели электротехнических комплексов добывающей скважины и отходящей линии, учитывающие

индивидуальные и узловые компенсирующие установки и их связи, которые представлены аналитическими зависимостями, дополняющими известные методы расчетов энергетических и динамических характеристик в установившихся и переходных режимах работы этих комплексов.

В диссертационной работе разработаны математические модели для расчёта установившихся и переходных режимов в электротехнических комплексах добывающей скважины и отходящей линии.

Предлагаемый метод расчёта установившегося режима ЭКОЛ отличается от известных тем, что получены новые аналитические зависимости и связи на основе скомпонованной схемы ЭКОЛ, приведённой на рис. 4.

На рисунке 5 представлена схема замещения ЭКОЛ с параметрами принципиальной схемы, по которой составлена математическая модель режима напряжения и электропотребления.

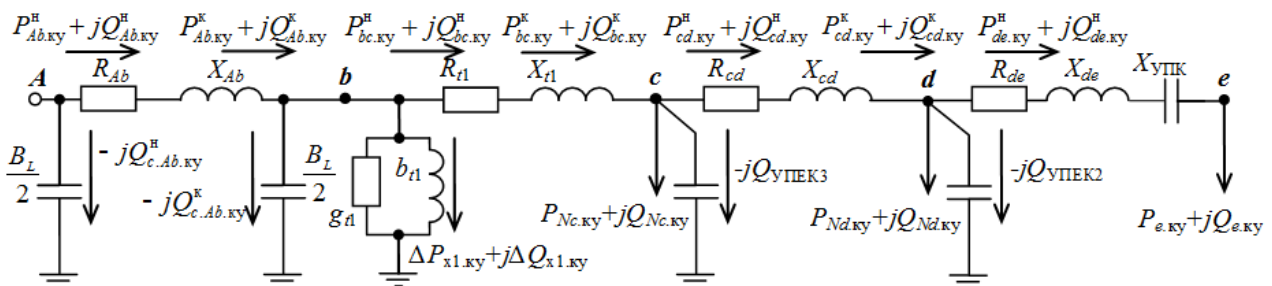


Рисунок 5 – Схема замещения ЭКОЛ

Расчёт режима напряжения и электропотребления позволил определить напряжение, которое надо поддерживать в центре питания (узловой подстанции), чтобы на зажимах самого удаленного потребителя напряжение соответствовало уровню $0,95U_{ном}$, а на секции шины промышленной подстанции не превышало $1,1U_{ном}$ (в соответствии с ГОСТ 13109-97), а также определить оптимальные параметры КУ.

При рекомендуемом уровне напряжения необходимо проверить процесс пуска и самозапуска электропривода ЭКДС с учетом внутренних возмущений электрической сети, таких как провал напряжения до 30% от номинального уровня. С целью проверки рассматривается принципиальная схема ЭКДС (рис.6) и её схема замещения (рис. 7).

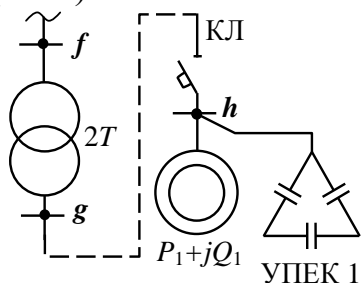


Рисунок 6 – Принципиальная схема ЭКДС

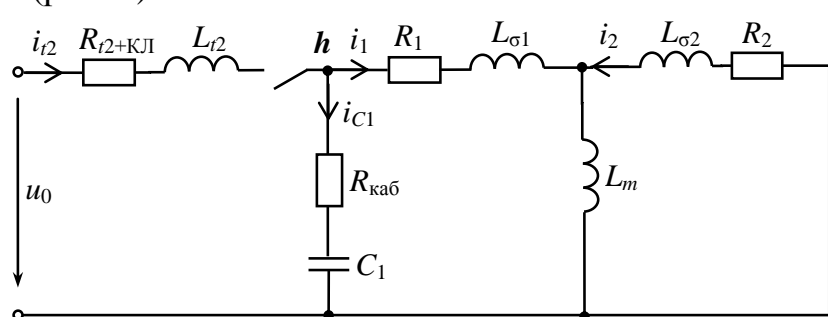


Рисунок 7 – Схема замещения одной фазы

Для схемы замещения написана система дифференциальных уравнений, которая приведена к канонической форме и дополнена уравнением движения:

$$\begin{aligned}
pI_{t2x} &= \frac{\omega_0}{X_{t2}} (U_{0x} - U_{C1x} - I_{C1x} R_{\text{каб}} - R_{t2+\text{КЛ}} I_{t2x} + X_{t2} I_{t2y}); \\
pI_{t2y} &= \frac{\omega_0}{X_{t2}} (U_{0y} - U_{C1y} - I_{C1y} R_{\text{каб}} - R_{t2+\text{КЛ}} I_{t2y} - X_{t2} I_{t2x}); \\
I_{C1x} &= I_{t2x} - I_{1x}; \quad I_{1x} = \frac{\Psi_{1x} - \Psi_{2x} k_2}{X'_1}; \quad I_{C1y} = I_{t2y} - I_{1y}; \quad I_{1y} = \frac{\Psi_{1y} - \Psi_{2y} k_2}{X'_1}; \\
pU_{C1x} &= \omega_0 (X_{C1} I_{C1x} + U_{C1y}); \quad pU_{C1y} = \omega_0 (X_{C1} I_{C1y} - U_{C1x}); \\
p\Psi_{1x} &= \omega_0 (U_{C1x} + I_{C1x} R_{\text{каб}} - s_{k1} \Psi_{1x} + s_{k1} \Psi_{2x} k_2 + \Psi_{1y}); \\
p\Psi_{1y} &= \omega_0 (U_{C1y} + I_{C1y} R_{\text{каб}} - s_{k1} \Psi_{1y} + s_{k1} \Psi_{2y} k_2 - \Psi_{1x}); \\
p\Psi_{2x} &= \omega_0 (-s_{k2} \Psi_{2x} + s_{k2} \Psi_{1x} k_1 + s \Psi_{2y}); \quad p\Psi_{2y} = \omega_0 (-s_{k2} \Psi_{2y} + s_{k2} \Psi_{1y} k_1 - s \Psi_{2x}); \\
ps &= \frac{M_{\bar{6}}}{J\Omega_0} (M_{c*} - M_*), \quad M_{\bar{6}} = \frac{S_{\bar{6}}}{\Omega_0} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}} I_{\text{НОМ}} p_{\tau}}{\omega_0} = \frac{3U_{\bar{6}} I_{\bar{6}} p_{\tau}}{2\omega_0}, \\
M_* &= \frac{M}{M_{\bar{6}}} = \frac{k_1 \omega_0 U_{\bar{6}}^2}{L'_2 U_{\bar{6}} I_{\bar{6}} \omega_0^2} (\Psi_{2x*} \Psi_{1y*} - \Psi_{1x*} \Psi_{2y*}) = \frac{k_1}{X'_{2*}} (\Psi_{2x*} \Psi_{1y*} - \Psi_{1x*} \Psi_{2y*}).
\end{aligned}$$

В предлагаемой системе дифференциальных уравнений использованы следующие обозначения: p – символ дифференцирования $\frac{d}{dt}$, $k_1 = \frac{L_m}{L_1}$, $k_2 = \frac{L_m}{L_2}$ – коэффициенты связи статора и ротора, $s_{k1} = \frac{R_1}{\omega_0 L'_1}$, $s_{k2} = \frac{R_2}{\omega_0 L'_2}$ – критические скольжения при питании со стороны ротора и короткозамкнутом статоре, при питании со стороны статора и короткозамкнутом роторе соответственно, $L'_1 = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2}$, $L'_2 = L_2 - \frac{L_m^2}{L_1}$ – переходные индуктивности обмотки статора при короткозамкнутой обмотке ротора и обмотки ротора при короткозамкнутой обмотке статора соответственно, s – скольжение, $M_{\bar{6}}$ – базисный момент, M_* , $M_{c*} = \frac{M_c}{M_{\bar{6}}}$ – электромагнитный момент и момент сопротивления в относительных единицах, J – приведённый момент инерции, Ω_0 – угловая скорость вращения магнитного поля двигателя.

Все электрические величины выражены в относительных единицах и представлены в проекциях на оси x , y синхронно вращающейся комплексной плоскости.

В известных математических моделях расчёта переходных процессов не описаны момент сопротивления и приведённый момент инерции, учитывающие особенности кинематики цепного привода, в связи с чем в данной работе рассматривается кинематическая схема цепного привода скважинного штангового насоса, приведённая на рис. 8.

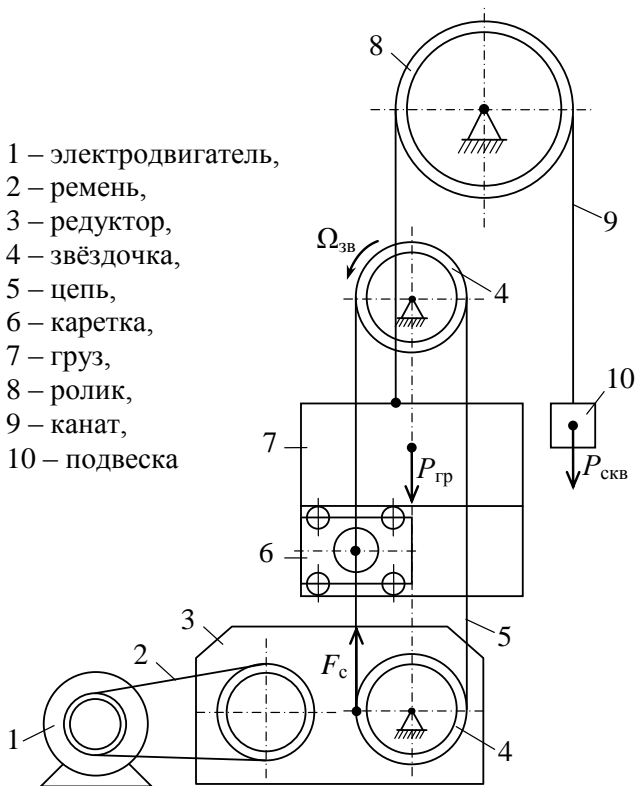


Рисунок 8 – Кинематическая схема цепного привода скважинного штангового насоса

По кинематической схеме составлены аналитические зависимости для определения момента сопротивления M_c и приведенного момента инерции J :

$$M_c = \frac{M_{ред.1}}{i_{рем} \eta_{рем}} = \frac{M_{ред.2}}{i_{ред} i_{рем} \eta_{ред} \eta_{рем}},$$

$$i_{рем} = \frac{d_{шк.ред}}{d_{шк.дв}},$$

$$M_{ред.2} = F_c \cdot r_{зв},$$

$$F_c = (P_{скв} - P_{гр}) \cdot \cos \alpha,$$

$$\alpha = \alpha_i + k_\alpha \cdot (l - l_i),$$

$$k_\alpha = \frac{\alpha_{i+1} - \alpha_i}{l_{i+1} - l_i},$$

$$l = \int_0^t \Omega_{зв} r_{зв} dt = \int_0^t \frac{\Omega \cdot r_{зв}}{i_{рем} i_{ред}} dt = \int_0^t \frac{\Omega_0 (1-s) \cdot r_{зв}}{i_{рем} i_{ред}} dt,$$

$$J = J_{дв} + J_{шк} + m_{гр} \left(\frac{v_{гр}}{\Omega} \right)^2 + m_{скв} \left(\frac{v_{шт}}{\Omega} \right)^2 = J_{дв} + J_{шк} + \left(\frac{r_{зв}}{i_{рем} i_{ред}} \right)^2 \cdot (m_{гр} + m_{скв} \cos^2 \alpha),$$

$$v_{гр} = \Omega_{зв} r_{зв} = \frac{\Omega \cdot r_{зв}}{i_{рем} i_{ред}}, \quad v_{шт} = v_{гр} \cdot |\cos \alpha| = \frac{\Omega \cdot r_{зв} \cdot |\cos \alpha|}{i_{рем} i_{ред}},$$

где $M_{ред.1}$, $M_{ред.2}$ - моменты сопротивления на быстроходном и тихоходном валу редуктора, $i_{рем}$, $i_{ред}$ - передаточные числа ременной передачи и редуктора, $d_{шк.ред}$, $d_{шк.дв}$ - диаметры шкивов редуктора и двигателя, $\eta_{рем}$, $\eta_{ред}$ - КПД ременной передачи и редуктора, F_c - сила сопротивления, действующая вдоль цепи, $r_{зв}$ - радиус звёздочки, $P_{скв}$ - нагрузка (в ньютонах) в точке подвеса штанг, $P_{гр}$ - вес контргруза, α - угол между направлением силы $P_{скв}$ и касательной к звёздочке, l - путь, пройденный кареткой, $\Omega_{зв}$ - угловая скорость вращения звёздочки цепной передачи, Ω - угловая скорость ротора, $J_{дв}$ - момент инерции двигателя, $J_{шк}$ - момент инерции шкива, $m_{гр}$ - масса груза, $v_{гр}$ - линейная скорость груза, $m_{скв}$ - масса штанг и жидкости в скважине, $v_{шт}$ - линейная скорость полированного штока (подвески).

В этих уравнениях содержится переменная величина – нагрузка в точке подвеса штанг $P_{скв}$, которая зависит от множества факторов. Для определения нагрузки в точке подвеса штанг проведены экспериментальные исследования и получена практическая динамограмма работы штангового скважинного насоса с наземным цепным приводом (рис. 9, а). Затем данная динамограмма была приведена к линеаризованному виду (рис. 9, б)

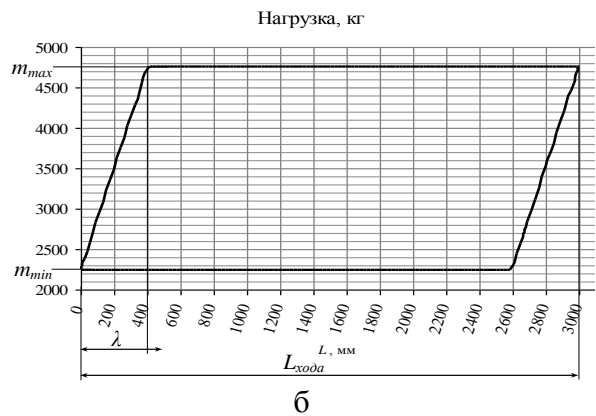
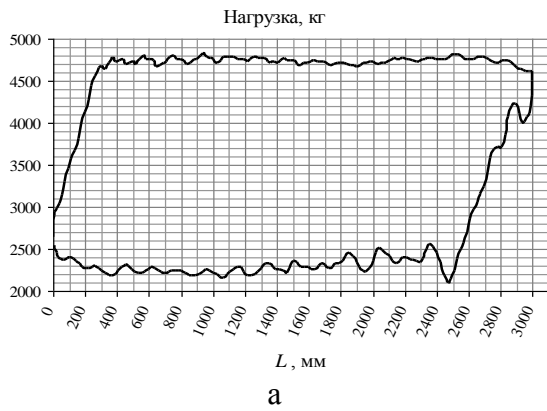


Рисунок 9 – Практическая (а) и линеаризованная (б) динамограммы работы штангового скважинного насоса

Таким образом, нагрузка в точке подвеса штанг $P_{скв}$ представляется в виде функции $P_{скв} = f(L)$, где $L = \int_0^t v_{шт} dt = \int_0^t \Omega_{зв} r_{зв} |\cos\alpha| dt = \int_0^t \frac{\Omega_0 (1-s) \cdot r_{зв}}{i_{рем} i_{ред}} |\cos\alpha| dt$ - длина пути точки подвеса штанг.

Полученные аналитические зависимости момента сопротивления и приведённого момента инерции дополняют известные методы расчёта переходных процессов рассматриваемой системы.

3. Результаты математического моделирования в виде энергетических и динамических характеристик в установившихся и переходных режимах работы электротехнических комплексов при автоматической стабилизации рационального уровня напряжения в центре питания при одновременной индивидуальной и узловой компенсации реактивной мощности и потерь напряжения.

В результате моделирования установившихся процессов в ЭКДС получены статические характеристики активной и реактивной мощности в точке присоединения ЭКДС к отходящей линии, которые приведены на рис. 10.

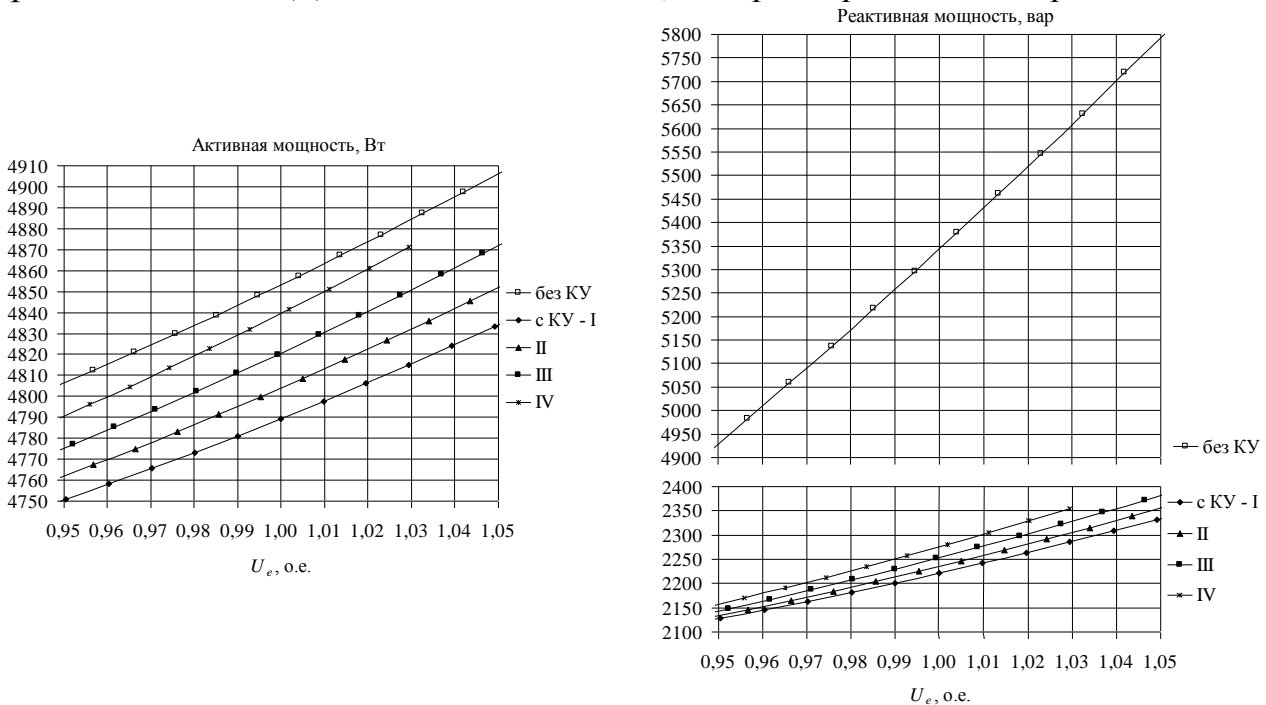


Рисунок 10 – Энергетические параметры ЭКДС

Характеристики некомпенсированного режима построены для III (нулевого) положения переключателя регулировочных ответвлений без возбуждения индивидуального скважинного трансформатора (ПБВ), что соответствует существующему положению в промышленных электрических сетях. Характеристики компенсированного режима построены для I – IV положений ПБВ, V положение исключено, т.к. по результатам предыдущего анализа оно даёт завышенное напряжение на зажимах электродвигателя.

Анализ этих графиков показал, что использование индивидуальной компенсирующей установки при одновременном регулировании уровня напряжения позволит снизить в ЭКДС потребляемую активную мощность на 1,44 – 3,39 %, реактивную мощность на 56,4 – 66 %. При этом наиболее выгодным оказывается первое положение ПБВ.

Исходя из того, что промышленная электрическая сеть имеет радиально-магистральную схему, а график активной мощности промышленной подстанции мало изменяется в течение суток, централизованное регулирование напряжения с помощью РПН должно осуществляться по закону автоматической стабилизации напряжения в центре питания.

Расчёт энергетических параметров ЭКОЛ в установившемся процессе позволил определить автоматически стабилизируемый рациональный уровень напряжения центра питания, т.е. на шинах низшего напряжения промышленной подстанции – 0,992 о.е. Указанный уровень напряжения определён с учётом технических ограничений трансформатора по количеству переключений, обеспечиваемых установкой зоны нечувствительности $\pm 3\%$.

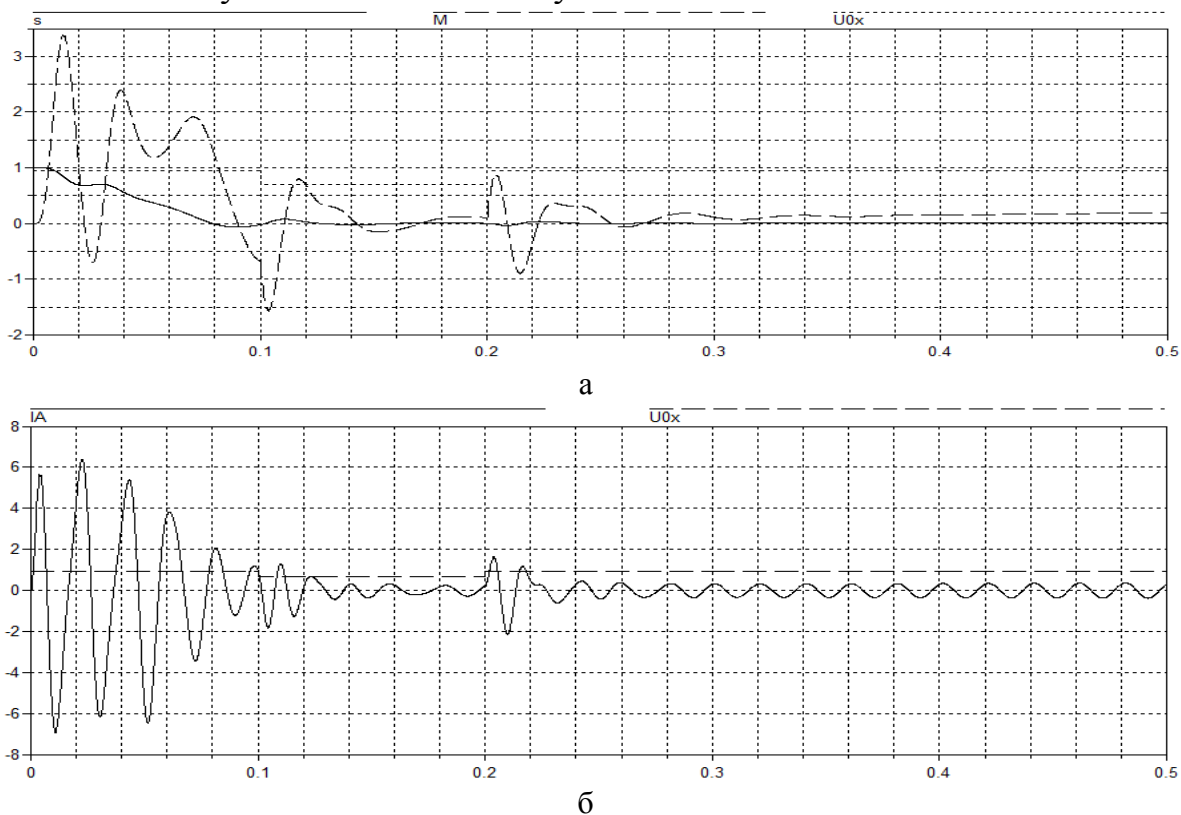


Рисунок 11 – Графики зависимостей напряжения, скольжения, момента (а), тока (б) в функции времени при пуске двигателя с провалом напряжения от 0,98 до 0,7 о.е.

Проверка процесса пуска электродвигателя с индивидуальной КУ при

рекомендуемом уровне напряжения показала, что пуск электродвигателя обеспечивается даже при провале напряжения до 0,7 о.е. (рис. 11).

Для построения графиков переходных процессов использовались численные методы решения систем дифференциальных уравнений, в частности, метод Рунге-Кутты, реализованный в специальной программе для исследования динамических процессов – Dymola.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны научно обоснованные организационно-технические мероприятия по выбору мест установок и оптимальных параметров индивидуальных, узловых и централизованных компенсирующих установок в электротехнических комплексах и определению рационального уровня напряжения в центре питания обеспечивающих минимум потерь электрической энергии.

Разработаны математические модели электротехнических комплексов добывающей скважины и отходящей линии, которые позволили получить аналитические зависимости для установившихся и переходных режимов работы этих комплексов.

Дополнены аналитическими зависимостями известные методы расчетов по определению энергетических и динамических характеристик электротехнических комплексов в установившихся и переходных режимах работы электротехнических комплексов при различных внешних и внутренних возмущениях уровня напряжения, эти методы позволяют оценить и обосновать принимаемые решения в области проектирования, создания и эксплуатации этих комплексов.

Определен рациональный уровень напряжения и обоснован её диапазон изменения, который обеспечивает качество электрической энергии в характерных точках системы электроснабжения, соответствующие требованиям ГОСТ 13109-97 и техническим ограничениям работы привода РПН при автоматической стабилизации напряжения в центре питания с одновременной компенсацией реактивной мощности и потерь напряжения.

Результаты исследования переходных процессов в электроприводе электротехнического комплекса добывающей скважины подтвердили правильность выбранного рационального уровня напряжения и обоснованность диапазона изменения напряжения, а также параметры компенсирующих установок, которые обеспечили гарантированный пуск этого комплекса.

Таким образом, доказано, что предложенный алгоритм управления реактивной мощностью электротехнических комплексов при автоматической стабилизации напряжения позволяет организовать рациональный режим электропотребления, который и обеспечивает минимизацию потерь электроэнергии.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В изданиях по списку ВАК:

1. Оптимальная компенсация реактивной мощности в электротехнических комплексах нефтегазодобывающего предприятия // Промышленная энергетика. №2, 2010, с. 40-44 (Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Смирнова С.И.).

2. Оптимизация режима напряжения и рациональная компенсация реактивной мощности в электротехнических комплексах нефтегазодобывающей промышленности // Известия вузов. Проблемы энергетики, №5-6, 2010, с. 56-64. (Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Смирнова С.И.).

3. Метод расчета установившегося режима напряжения электротехнического комплекса нефтегазодобывающего предприятия. // Известия вузов. Проблемы энергетики, № 9-10, 2011, (Табачникова Т.В., Смирнова С.И., Швецова Л.В., Махт А.Д.)

В прочих изданиях:

4. Оптимизация потребления реактивной мощности нефтегазодобывающего предприятия // Ученые записки АГНИ, Альметьевск, 2008, с. 231-239 (Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Аскарлов М.И.)

5. Оптимизация напряжения и электропотребления в электротехнических комплексах предприятия // Ученые записки АГНИ, Альметьевск, 2009, с. 232-234 (Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В.).

6. Снижение потерь электрической энергии путем оптимизации напряжения и электропотребления в электротехнических комплексах предприятия // Научная сессия ученых АГНИ по итогам 2008 г.: Материалы научной сессии ученых - Альметьевск: АГНИ, 2009., с. 166-169.

7. Методика расчета режимов работы электротехнического комплекса вспомогательного оборудования нефтегазодобывающего предприятия // Ученые записки АГНИ, Альметьевск, 2010, с. 221-226. (Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Смирнова С.И.).

8. Оптимизация потерь и повышение качества питающего напряжения в электротехнических комплексах систем электроснабжения // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Материалы 16-й ежегодной международной научно-технической конференции студентов и аспирантов – Москва: МЭИ (ТУ), 2010 (Табачникова Т.В., Смирнова С.И.).

9. Analytical and numerical method of characteristic equation roots determination in complex electric schemes// Abstracts of 13th International Conference on Electromechanics, Electrotechnology, Electromaterials and Components – Alushta, Crimea, Ukraine, 2010, p. 155 (Nurbosynov D. N., Tabachnikova T. V., Smirnova S. I., Shvetskova L. V.)

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

Тираж 100 экз.