

*На правах рукописи*

**СМИРНОВА СВЕТЛАНА ИЛГИЗОВНА**

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*Специальность 05.09.03 – Электротехнические  
комплексы и системы*

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

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2011**

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	Шабанов Виталий Алексеевич
Ведущая организация	ОАО «Сетевая компания» Татэнерго, г. Казань

Защита состоится "10" февраля 2011г. в 16-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.20 в ГОУ 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 ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2010г.

Отзывы на автореферат и диссертацию в 2-х экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, Отдел аспирантуры и докторантуры.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



А.Д. Курмашев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одной из важнейших проблем в нефтегазодобывающей отрасли является снижение потерь электроэнергии на такие технологические процессы как добыча, транспортировка и подготовка углеводородного сырья. Одним из решений этой проблемы может быть оптимизация режимов напряжения и потребления активной и реактивной мощности в основных электротехнических комплексах и системах нефтегазодобывающей отрасли.

Нефтегазодобывающие предприятия (НГДП) являются сложными, ответственными и энергоемкими потребителями электрической энергии, и расходы на электроэнергию в них составляют сотни миллионов рублей, что делает вышеозначенную проблему весьма актуальной. Снижение потерь электроэнергии на этих предприятиях путём оптимизации режимов напряжения и потребления активной и реактивной мощности даже на единицы процентов позволит существенно экономить финансовые средства.

Работа соответствует техническому заданию НИР ОАО «Татнефть», выполненному кафедрой «Электроэнергетика» Альметьевского государственного нефтяного института (АГНИ). Практические результаты внедрены Управлением энергетики в структурных подразделениях ОАО «Татнефть».

Предлагаемая диссертационная работа базируется на известных апробированных результатах исследований выполненных в ОАО «Татнефть», Альметьевском государственном нефтяном институте (АГНИ), Российском государственном университете нефти и газа им. И.М. Губкина, Санкт-Петербургском государственном горном институте, Уфимском государственном нефтяном техническом университете и в ООО «Научно-производственная фирма «ОЛТА» г. Санкт-Петербург. Результаты предыдущих исследований получили дальнейшее развитие научного направления по использованию установок компенсации потерь напряжения и реактивной мощности в совокупности с автоматической стабилизацией уровня напряжения в центре питания НГДП.

В предыдущих исследованиях, с целью снижения потерь в электротехнических комплексах вспомогательного оборудования (ЭКВО) и предприятия (ЭКП), были рассмотрены внедрения новых технологий и техники. Однако следует отметить, что недостаточно были рассмотрены вопросы согласования режимов работы компенсирующих установок и технических средств автоматической стабилизации напряжения с технологиями подготовки и транспортировки нефти, что приводит к неэффективному использованию применяемых технических средств.

**Цель диссертационной работы:** - оптимизация режимов работы электротехнических комплексов вспомогательного оборудования и предприятия, где критерием оптимизации является минимум потерь электрической энергии.

**Задачи исследований:**

- изучение свойств и связей между элементами электротехнических

комплексов вспомогательного оборудования и предприятия в целом и компоновка структурных схем, учитывающих новые элементы и влияние внутренних и внешних воздействий питающей и распределительной электрической сети;

- определение оптимальных (рациональных) энергетических параметров электротехнического комплекса предприятия с использованием централизованной и индивидуальной установок компенсации реактивной мощности и потерь напряжения при одновременной автоматической стабилизации рационального уровня напряжения в центре питания;

- решение задачи по снижению потерь электроэнергии в системе электроснабжения нефтегазодобывающих предприятий;

- изучение динамических и энергетических характеристик электротехнического комплекса вспомогательного оборудования с учетом внешних и внутренних возмущений питающей и распределительной электрической сети;

- разработка математических моделей и усовершенствование метода расчета по определению оптимальных энергетических параметров в установившихся и переходных процессах в электротехнических комплексах нефтегазодобывающего предприятия.

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

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Обоснование автоматической стабилизации рационального уровня напряжения в центре питания при одновременной индивидуальной компенсации реактивной мощности и потерь напряжения, когда нагрузка сконцентрирована в конце протяженной отходящей линии, что продиктовано технологией транспортировки нефти.

2. Разработанные математические модели электротехнических комплексов вспомогательного оборудования и предприятия, и методы расчетов по определению оптимальных энергетических параметров данных комплексов в установившихся режимах, дополненные аналитическими зависимостями ранее неучтенных элементов, связей, учитывающих возмущения питающей и распределительной электрической сети.

3. Разработанная математическая модель электротехнического комплекса вспомогательного оборудования, метод расчета по определению динамических и энергетических характеристик, и результаты математического моделирования режима напряжения и электропотребления электропривода дожимной насосной станции в переходных процессах, учитывающих возмущения питающей и распределительной электрической сети.

#### **Научная новизна:**

- получены динамические и энергетические характеристики электротехнических комплексов вспомогательного оборудования и

предприятия, учитывающие закономерности нового режима работы этого комплекса и влияние возмущений питающей и распределительной электрической сети;

- разработаны математические модели электротехнических комплексов вспомогательного оборудования и предприятия, которые учитывают новые элементы, связи и возмущения питающей и распределительной электрической сети;

- предложены, дополненные новыми аналитическими зависимостями, методы расчетов энергетических параметров электротехнических комплексов вспомогательного оборудования и предприятия в установившихся и переходных процессах при различных возмущениях электрической сети.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** базируются на использовании фундаментальных законов теоретических основ электротехники, теории электрических цепей, 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:

- предложены математические модели и усовершенствованные методы расчета по выбору рационального уровня напряжения, оптимальных параметров индивидуальных компенсирующих установок, обеспечивающих местное и централизованное автоматическое управление и регулирование напряжения и режима электропотребления;

- при практическом применении автоматической стабилизации рационального напряжения с одновременной компенсацией потерь напряжения и реактивной мощности, предложены рекомендации для определения оптимальных уставок блока автоматического регулирования (БАР) привода регулятора напряжения под нагрузкой (РПН), обеспечивающих количество переключений, соответствующее техническому ограничению силового трансформатора.

**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 – «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., научная конференция (Альметьевск, АГНИ, 2009); на 4-й Международной молодежной научной конференции Тинчуринские чтения (Казань, КГЭУ,

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

Диссертационная работа обсуждалась на кафедрах «Систем автоматического регулирования» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, «Электротехники и электрооборудования предприятий» Уфимского государственного нефтяного технического университета.

**Публикации.** Общее количество публикаций - 38, из них по теме диссертации – 8 печатных работ, в их число входят две статьи, опубликованные в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Результаты научных исследований отражены в заключительном отчете НИР 2010 г. кафедры «Электроэнергетика».

**Личный вклад автора** заключается в следующем: определение и постановка задачи, выбор метода исследования; разработка и уточнении математических и имитационных моделей элементов электротехнических комплексов вспомогательного оборудования и предприятия; усовершенствование методов расчета энергетических параметров в установившихся и переходных процессах в этих комплексах; исследование влияния внешних и внутренних возмущений питающей и распределительной электрической сети на динамические и энергетические характеристики рассматриваемых электротехнических комплексов; обработка и анализ результатов суточных графиков с централизованными компенсирующими установками; анализ результатов теоретических исследований режима работы РПН (при реализации закона автоматической стабилизации рационального уровня напряжения).

#### **Структура и объем работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 113 страницах и содержит 48 рисунков, 4 таблицы и список литературы из 98 наименований и 5 приложений.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, приняты методы и их решения, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены основные 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** разработана математическая модель электротехнического комплекса вспомогательного оборудования, известный метод расчета по определению оптимальных энергетических параметров данного комплекса в установившихся режимах дополнен аналитическими зависимостями ранее неучтенных элементов и связей, при этом также учтены внешние и внутренние возмущения питающей и распределительной электрической сети.

**В третьей главе** разработана математическая модель электротехнического комплекса предприятия в установившихся процессах, известный метод расчета по определению оптимальных энергетических параметров данного комплекса дополнен аналитическими зависимостями новой модели электротехнического комплекса вспомогательного оборудования и учитывает возмущения питающей электрической сети.

**В четвертой главе** разработана математическая модель электротехнического комплекса вспомогательного оборудования (ЭКВО). Известный метод расчета переходного процесса в ЭКВО дополнен аналитическими зависимостями неучтенных элементов и связей. Кроме внешних и внутренних возмущений электрической сети был также рассмотрен режим поэтапного включения установок компенсации реактивной мощности и потерь напряжения.

**В пятой главе** представлены результаты экономической оценки полученных энергетических параметров электротехнического комплекса нефтегазодобывающего предприятия, а также предложенных организационно-технических мероприятий по реализации автоматической стабилизации рационального уровня напряжения в центре питания с одновременной компенсацией реактивной мощности и потерь напряжения.

## **ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**1. Обоснование автоматической стабилизации рационального уровня напряжения в центре питания при одновременной индивидуальной компенсации реактивной мощности и потерь напряжения, когда нагрузка сконцентрирована в конце протяженной отходящей линии, что продиктовано технологией транспортировки нефти.**

Объектом исследования является электротехнический комплекс вспомогательного оборудования (ЭКВО) нефтегазодобывающего предприятия.

На структурной схеме электроснабжения электротехнического комплекса нефтегазодобывающего предприятия (рис.1) в качестве ЭКВО выделена дожимная насосная станция, а также изображена эквивалентная нагрузка на секции шин ( $\Sigma P_{Nc} + j\Sigma Q_{Nc}$ ) и установка централизованной компенсации реактивной мощности (УПЕК 3). Представленный ЭКВО включает в себя комбинированную линию электропередач (воздушную и кабельную: участки  $c-d$  и  $d-e$ ), высоковольтный асинхронный электродвигатель типа ВАО1 - 450М4 - У2 мощностью 250 кВт и индивидуальные установки компенсации реактивной

мощности (УПЕК 1) и потерь напряжения (УПК). Для учета внешних возмущающих воздействий в структурную схему на рис.1 включены элементы схемы внешнего электроснабжения: питающая линия (участок *A-b*) и силовой трансформатор Т1 промышленной подстанции (35/6,3 кВ).

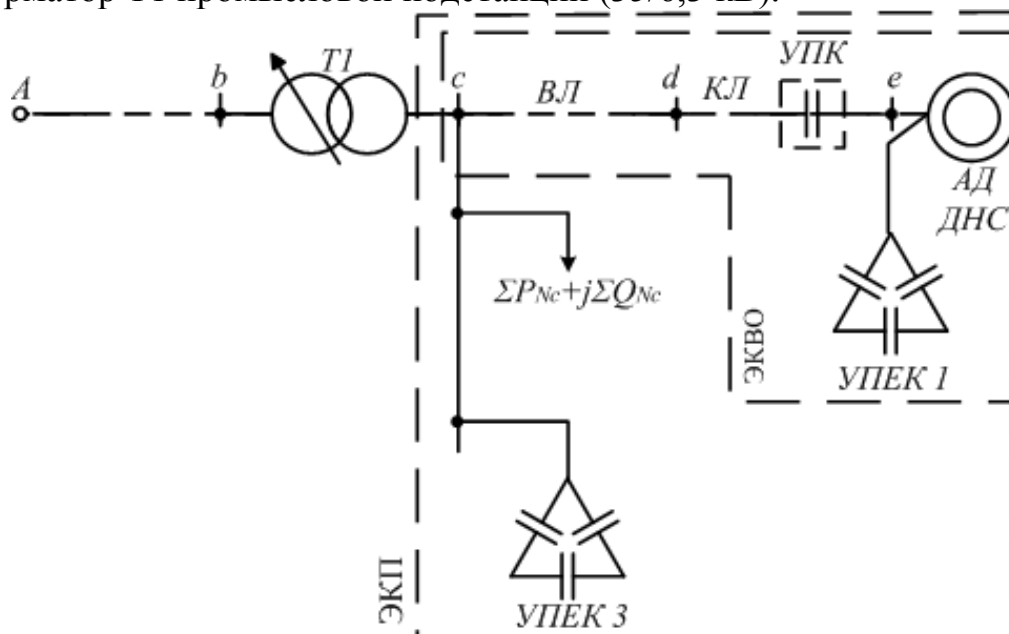


Рисунок 1 - Структурная схема электроснабжения электротехнического комплекса предприятия с выделенным электротехническим комплексом вспомогательного оборудования

В результате анализа структурных связей и основных элементов системы электроснабжения НГДП (рис.1) установлено, что распределительные электрические сети имеют ряд специфических условий: радиально-магистральные схемы соединения с последовательными многоступенчатыми трансформациями уровня напряжения; электротехнические комплексы вспомогательного оборудования подключены отдельными отходящими линиями; буровые установки могут быть подключены в любой точке распределительной сети, в зависимости от геологических условий; электротехнические комплексы добывающих скважин укомплектовываются как наземными, так и погружными электродвигателями; регулирование уровня напряжения в центрах питания производится трансформаторами с РПН эпизодически (в ручном режиме), поэтому максимальное отклонение напряжения в центре питания (ЦП) в сторону увеличения, возникающее при изменении уровня напряжения в питающей линии составило  $6880\text{В} - 6000\text{В} = 880\text{В}$  (рис.2, верхний график), что соответствует превышению номинального уровня напряжения на 15% и не соответствует требованиям ГОСТ 13109-97, определяющего качество электрической энергии; единичная мощность высоковольтных (6...10 кВ) электродвигателей вспомогательного оборудования в (10...100) раз больше единичной мощности электродвигателей добывающих установок; при пуске электроприводов буровых установок и кустовых насосных установок в распределительной электрической сети возникают провалы напряжения более 20% длительностью 0,1...0,2 с (внутреннее возмущение); установки плавного пуска электродвигателей и



индивидуальные установки компенсации реактивной мощности и потерь напряжения в сети нефтегазодобывающего предприятия практически отсутствуют.

Нижний график на рис.2 отображает смоделированный теоретический режим автоматической стабилизации уровня напряжения, поддерживаемый службой эксплуатации на секциях шин промышленной подстанции, который был получен с использованием параметров суточного графика.

По результатам моделирования определены зоны нечувствительности, которые составили  $\pm 3\%$ , при этом количество переключений привода РПН не превышает 6 переключений в сутки, что соответствует требованиям технического ограничения – до 25 переключений в сутки. На суточном графике напряжения верхняя зона нечувствительности составляет 6,48 кВ ( $1,08U_n$ ), нижняя зона – 6,12 кВ ( $1,02U_n$ ), а стабилизированный уровень напряжения – 6,3 кВ ( $1,05U_n$ ).

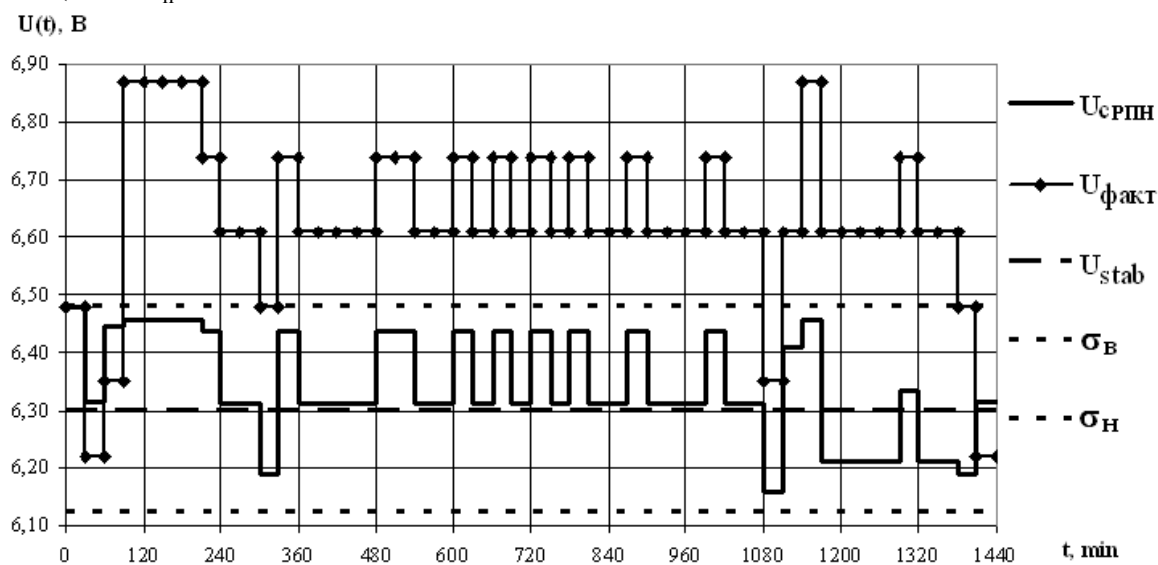


Рисунок 2 - Получасовой суточный график напряжения

При автоматической стабилизации напряжения в центре питания существенно улучшается качество электрической энергии: по сравнению с фактическим нестабилизированным уровнем напряжения максимальные отклонения напряжения снижаются с 6,868 до 6,479 кВ, т.е. на 6%, а среднее значение напряжения – с 6,262 до 6,34 кВ, т.е. на 5%.

**2. Разработанные математические модели электротехнических комплексов вспомогательного оборудования и предприятия, и методы расчетов по определению оптимальных энергетических параметров данных комплексов в установившихся режимах, дополненные аналитическими зависимостями ранее неучтенных элементов, связей, учитывающих возмущения питающей и распределительной электрической сети.**

В математических моделях электротехнических комплексов вспомогательного оборудования и нефтегазодобывающего предприятия используются параметры всех элементов, представленных на рис.1.

При математическом моделировании режима работы ЭКВО уровень

напряжения на зажимах высоковольтного электродвигателя варьировался в пределах 0,8...1,1 о.е. и определены уровни напряжения в точке с (рис.1), получены графики зависимостей: - потребление активной, реактивной мощности, суммарных потерь активной мощности (рис.3) и потерь напряжения на участке с-е (рис.4), коэффициент мощности (рис.5) и КПД (рис.6) с учетом и без учета индивидуальных компенсирующих установок.

Сравнительный анализ результатов математического моделирования при автоматической стабилизации существующего ( $1,05 \pm 0,03$  о.е. – точка А) и рационального ( $0,99 \pm 0,03$  о.е. – точка В) уровней напряжения в центре питания показал, что: - потребление активной мощности снижается на 2,5%; - потребление реактивной мощности снижается на 57,5%; - полная мощность снижается на 30,5%; - суммарные потери активной мощности снижаются на 1,1%; - потери напряжения снижаются на 0,95%; - коэффициент мощности увеличивается на 19,5%; - коэффициент полезного действия электротехнического комплекса вспомогательного оборудования увеличивается на 0,6%.

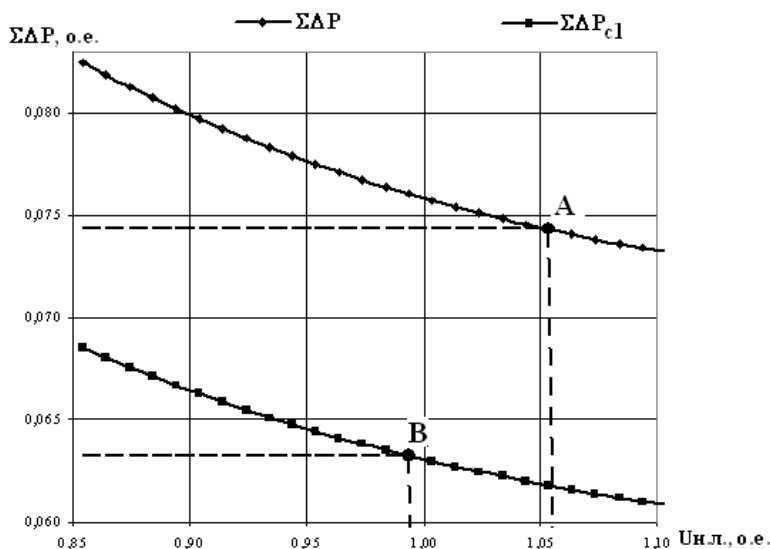


Рисунок 3 - Графики зависимости суммарных потерь активной мощности (с учетом и без учета КУ) в функции напряжения в центре питания

По анализам полученных результатов моделирования определен рациональный уровень напряжения и выбрана зона нечувствительности, скорректирована мощность централизованной компенсирующей установки, которую предложено разделить на ступени, а также определены параметры всех индивидуальных компенсирующих установок.

На основе результатов моделирования произведено технико-экономическое сравнение вариантов, где сопоставляются результаты автоматической стабилизации различных уровней напряжения: существующего  $1,05U_n$  и предлагаемого автором рационального уровня напряжения, равного  $0,99U_n$ .

Расчет ожидаемого годового экономического эффекта по рассматриваемой промышленной подстанции составил более 2 млн. рублей при сроке окупаемости около 5 месяцев.

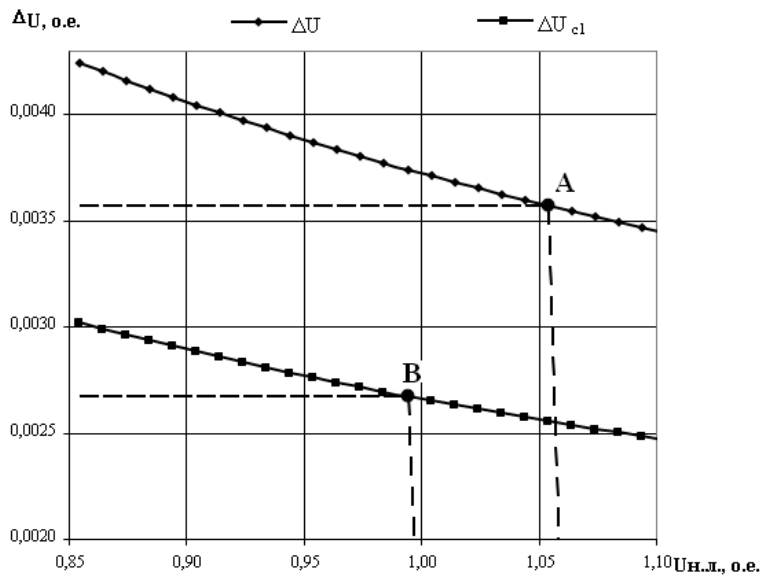


Рисунок 4 - Графики зависимости суммарных потерь напряжения (с учетом и без учета КУ) в функции напряжения в центре питания

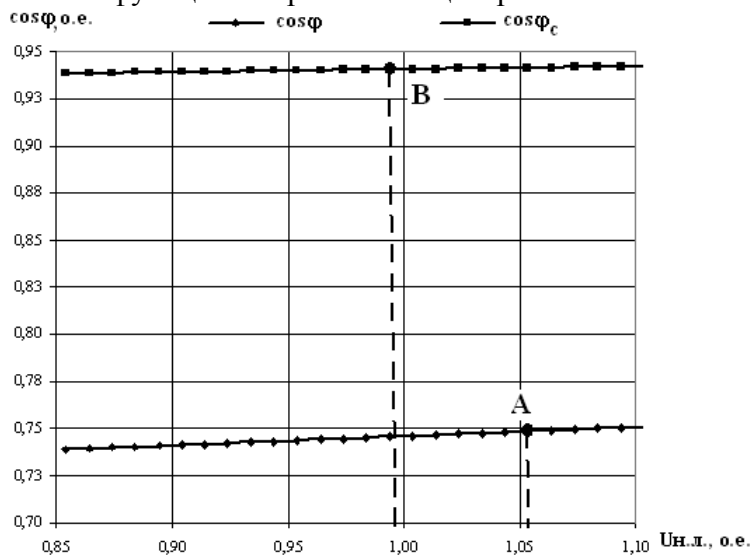


Рисунок 5 - Графики зависимости коэффициента мощности (с учетом и без учета КУ) в функции напряжения в центре питания

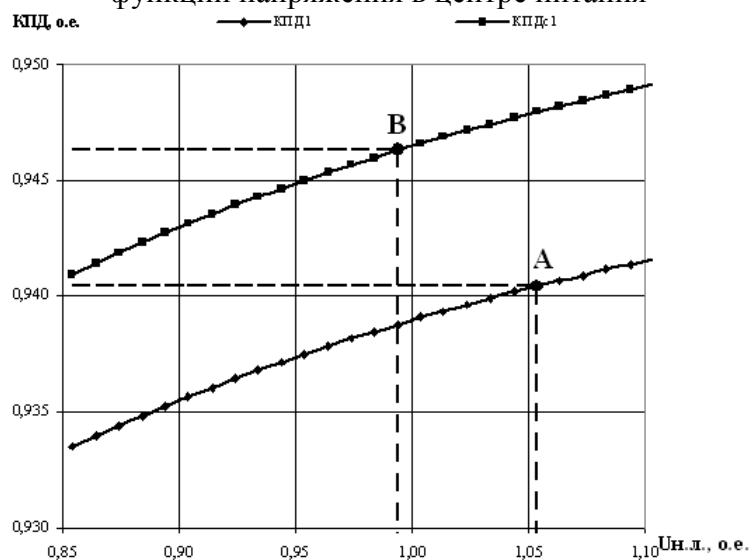


Рисунок 6 - Графики зависимости КПД комплекса (с учетом и без учета КУ)

### 3. Разработанная математическая модель электротехнического комплекса вспомогательного оборудования, метод расчета по определению динамических и энергетических характеристик, и результаты математического моделирования режима напряжения и электропотребления электропривода дожимной насосной станции в переходных процессах, учитывающих возмущения питающей и распределительной электрической сети.

Схема замещения электротехнического комплекса вспомогательного оборудования в составе электротехнического комплекса предприятия (рис.7) содержит параметры всех элементов, входящих в структурную схему, изображенную на рис.1.

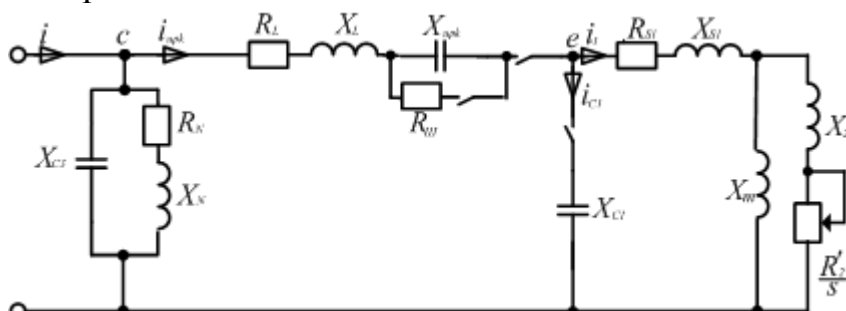


Рисунок 7 - Схема замещения ЭКВО оборудования в составе ЭКП

На рис.7 приведены параметры следующих элементов:  $R_L, X_L$  - активные и индуктивные сопротивления, учитывающие параметры воздушной и кабельной линий;  $X_{upk}, X_{c1}, X_{c3}$  - ёмкостные сопротивления установки продольной компенсации (УПК), индивидуальной и централизованной установок поперечной компенсации (УПЕК);  $R_N, X_N$  - эквивалентные активное и индуктивное сопротивления нагрузки секции шин промышленной подстанции.

По параметрам схемы замещения получена система дифференциальных уравнений (1...11), которые записаны в системе координат  $x$  и  $y$ , вращающейся с синхронной скоростью  $\omega_0$ :

$$U = U_N = U_{c3}; \quad (1)$$

$$U = R_L I_{upk} + X_L(p + j\omega_0)I_{upk} + U_{upk} + U_{c1}; \quad (2)$$

$$U_N = U_{c3} = R_N I_N + X_N(p + j\omega_0)I_N; \quad (3)$$

$$I = I_{upk} + I_{c3} + I_N; \quad (4)$$

$$I_{upk} = \frac{1}{X_{upk}}(p + j\omega_0)U_{upk}; \quad (5)$$

$$I_{c3} = \frac{1}{X_{c3}}(p + j\omega_0)U_{c3}; \quad (6)$$

$$I_N = \frac{U}{\sqrt{R_N^2 + X_N^2}}; \quad (7)$$

$$U_{c1} = U - R_L I_{upk} - X_L(p + j\omega_0)I_{upk} - U_{upk}; \quad (8)$$

$$I_1 = I_{upk} - \frac{1}{X_{c1}}(p + j\omega_0)U_{c1}; \quad (9)$$

$$U_{c1} = R_S I_1 + (p + j\omega_0)\psi_1; \quad (10)$$

$$0 = R_r I_2 + (p + js\omega_0)\psi_2, \quad (11)$$

В предлагаемой системе дифференциальных уравнений следующие обозначения:  $p$  - символ дифференцирования  $\frac{d}{dt}$ ;  $j$  - символ мнимой части комплексного числа;  $U, U_{c1}, U_{c3}, U_N, U_{upk}$  - напряжения питающей линии, на

зажимах установок поперечной компенсации, эквивалентных нагрузок и на зажимах установки продольной компенсации;  $\psi_1, \psi_2$  – потокосцепления статора и ротора высоковольтного электродвигателя;  $I, I_N, I_{upk}$  – токи питающей линии, эквивалентной нагрузки и установки продольной компенсации;  $I_{c1}, I_{c3}$  – токи установок поперечной компенсации;  $I_1$  – ток статора высоковольтного асинхронного электродвигателя;  $s$  – скольжение;  $R_{s1}, X_{s1}, R'_2/s, X'_{2s}$  – активные и индуктивные сопротивления статора и приведенные сопротивления ротора высоковольтного АД.

Система уравнений (1...11) приведена к канонической форме Коши и дополнена уравнением движения асинхронного двигателя и момента сопротивления:

$$ps = \frac{1}{T_m} m_c - \frac{K_1}{T_m X'_2} (\psi_{1y} \psi_{2x} - \psi_{1x} \psi_{2y}),$$

где:  $m_c = 0,07 + 0,652(1-s)^2$  – момент сопротивления;  $s$  – скольжение;  $T_m$  – величина механической постоянной вращающихся масс;  $K_1, X'_2$  – коэффициент преобразования параметров статора и приведенное индуктивное сопротивление ротора электродвигателя.

Входное напряжение представлено в виде единичной ступенчатой функции, которая характеризует степень снижения уровня напряжения и заданную продолжительность:  $U(t) = I(t) - I(t-t_1)k + I(t-t_2)k$ ,

где:  $t_1, t_2$  – моменты времени снижения и восстановления уровня напряжения;  $k = 0,2$  – коэффициент, характеризующий степень провала уровня напряжения.

При математическом моделировании переходного процесса рассматривался пуск высоковольтного АД при следующих условиях:

1. при уровне напряжения в центре питания равном  $1,05U_n$ , без влияния возмущений питающей и распределительной электрической сети (рис.8);

2. при стабилизации в центре питания существующего уровня напряжения  $1,05U_n$ , с напряжением на нижней границе зоны нечувствительности  $1,02U_n$  и с провалом напряжения во время пуска до  $0,81U_n$ , т.е. с учетом потерь напряжения в линии (1%):  $(1,02 - 0,01 - 0,2)U_n = 0,81U_n$ . Продолжительность провала  $0,1$ с. с момента времени  $t_1 = 0,1$ с (рис.9);

3. при автоматической стабилизации в центре питания рационального уровня напряжения, равном  $0,99U_n$ , с учетом возникновения провала напряжения на 20% в момент, когда напряжение в центре питания равно напряжению, соответствующего нижней границе зоны нечувствительности, т.е.  $0,96U_n$ . Провал напряжения возникает с момента времени  $t_1 = 0,1$ с и длится  $0,1$ с. Уровень напряжения на зажимах высоковольтного электродвигателя во время провала равно  $0,75U_n$  В., т.е. с учетом потерь напряжения в линии 1%:  $(0,96 - 0,01 - 0,2)U_n = 0,75U_n$  (рис.10).

В третьем варианте в момент провала напряжения автоматически включается установка продольной компенсации потерь напряжения, что обеспечивает гарантированный пуск и самозапуск электропривода ЭКВО

(рис.10).

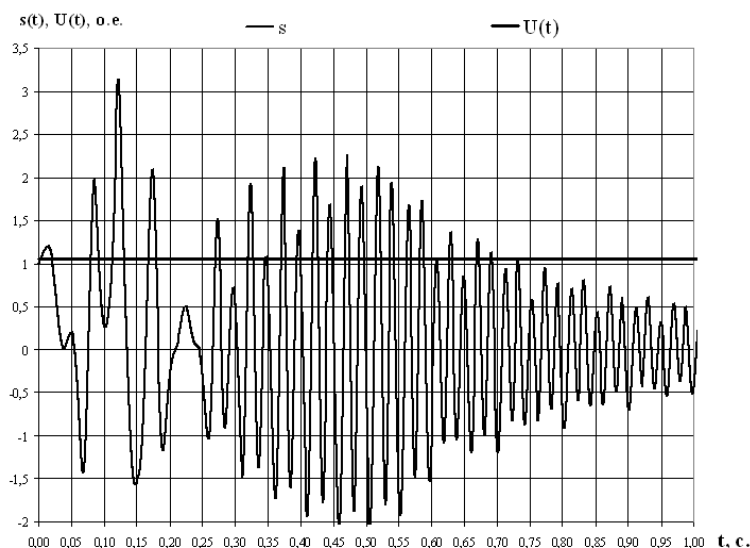


Рисунок 8 - Графики зависимостей скольжения и напряжения при значении входного напряжения  $1,05U_n$

Скольжение во всех случаях близко к номинальному значению 0,013. максимум третьей амплитуды скольжения в первом случае составит более 3, во втором случае – 2,7, а в третьем – около 2,4.

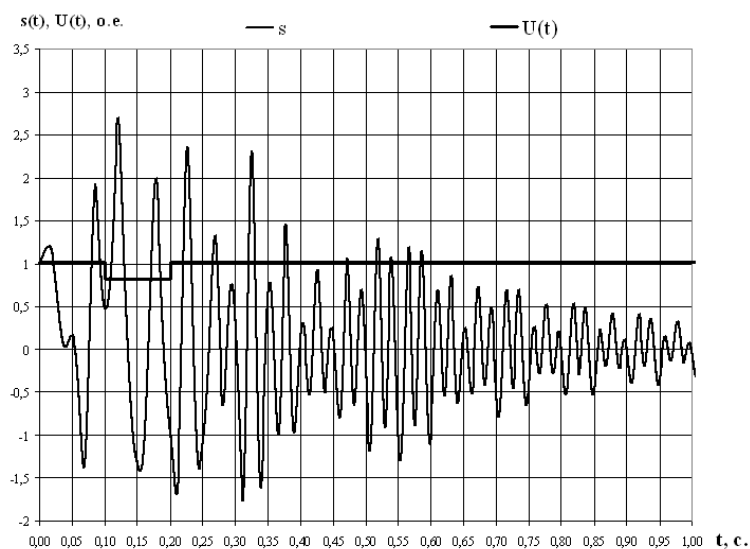


Рисунок 9 - Графики зависимостей скольжения и напряжения при значении входного напряжения  $1,02U_n$  и с провалом напряжения в момент пуска до  $0,82U_n$

Огибающая линия амплитуд скольжения в первом случае превышает 2,3, во втором – изменение амплитуд более хаотично и огибающая линия колеблется от 2,4 до 1,25, в третьем случае огибающая амплитуд скольжения более сглаженная и не превышает 2. Среднее значение времени выхода на установившийся режим, близко к 0,013, т.е. к номинальному, и составит 1,289 с. В третьем случае пуск более длителен.

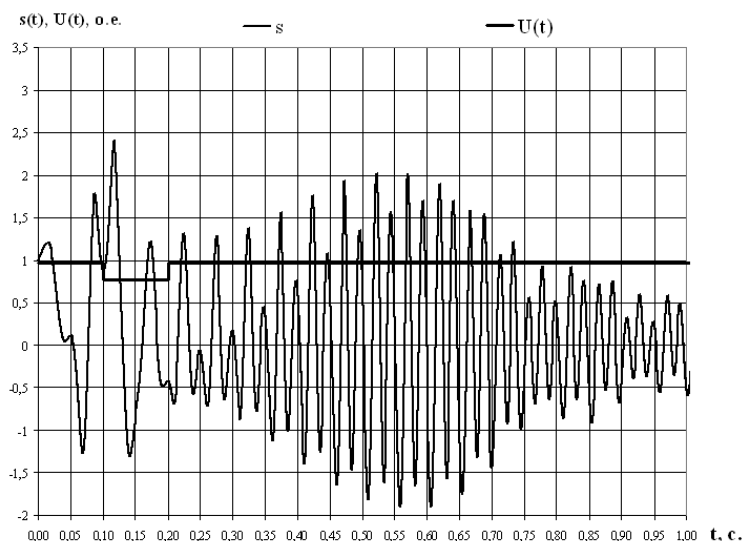


Рисунок 10 - Графики зависимостей скольжения и напряжения при снижении входного напряжения до  $0,96U_n$  и провале напряжения до  $0,76U_n$  длительностью 0,1 с.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана математическая модель электротехнического комплекса вспомогательного оборудования с новыми элементами и связями, которая позволяет определить рациональный уровень напряжения в центре питания и оптимальные параметры индивидуальных компенсирующих установок.

Разработаны научно обоснованные организационно-технические мероприятия по автоматической стабилизации рационального уровня напряжения в центре питания с одновременной индивидуальной компенсацией реактивной мощности и потерь напряжения, позволяющие снизить потери электрической энергии.

Методы расчетов энергетических параметров вышеозначенных электротехнических комплексов дополнены новыми аналитическими зависимостями, учитывающими возмущения питающей и распределительной электрической сети, что позволило оценить и обосновать принимаемые решения в области эксплуатации этих комплексов.

Все предложенные организационно-технические мероприятия в совокупности позволили повысить степень автоматизации системы электроснабжения НГДП, уменьшить прямые и косвенные затраты на электроэнергию, улучшить режим работы всего электрооборудования, сетевой автоматики и релейной защиты.

По результатам диссертационной работы ожидаемый годовой экономический эффект составил более 2 млн. рублей при сроке окупаемости около 5 месяцев.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

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

2. Снижение потерь электрической энергии путем оптимизации напряжения и электропотребления в электротехнических комплексах предприятия // Научная сессия ученых АГНИ по итогам 2008г. Материалы научной сессии ученых. - Альметьевск: АГНИ, 2009, с. 166-169.
3. Прогнозирование режимов работы электрооборудования на основе графиков электрических нагрузок и применение технических мероприятий с целью оптимизации режимов работы электроприемников // Тинчуринские чтения. Материалы 4-й Международной молодежной научной конференции. - Казань: КГЭУ, 2009. (Галин Р.М.).
- 4. Оптимальная компенсация реактивной мощности в электротехнических комплексах нефтегазодобывающего предприятия // Промышленная энергетика. - 2010. - №2. - с. 40-44 (Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Гарифуллина А.Р.).**
- 5. Оптимизация режима напряжения и рациональная компенсация реактивной мощности в электротехнических комплексах нефтегазодобывающей промышленности // Известия вузов. Проблемы энергетики. - 2010. - №5-6. - с. 56-64. (Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Гарифуллина А.Р.).**
6. Методика расчета режимов работы электротехнического комплекса вспомогательного оборудования нефтегазодобывающего предприятия // Ученые записки АГНИ. – Альметьевск: АГНИ, 2010, с. 221-226. (Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Гарифуллина А.Р.).
7. 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., Гарифуллина А.Р.).
8. 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., Garifullina A. R., Smirnova S. I., Shvetskova L. V.).

Подписано в печать «\_\_» \_\_\_\_\_ 2010г.

Формат 60x84/16

Печать RISO Объем 1 ус.печ.л.

Тираж 100 экз. Заказ № 99.

**ТИПОГРАФИЯ**  
**АЛЬМЕТЬЕВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**НЕФТЯНОГО ИНСТИТУТА**  
423452, Татарстан, г. Альметьевск, ул. Ленина, 2