

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Непши Федора Сергеевича** «Повышение энергоэффективности систем электроснабжения угольных шахт при оптимальном регулировании напряжения», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Представленная на отзыв диссертация общим объемом 184 страницы включает введение, 4 главы, заключение и список литературы из 115 наименований.

**Актуальность темы диссертационной работы.** При добыче, транспортировке и переработке угля затраты на электроэнергию могут достигать до 25%, что обуславливает необходимость разработки мероприятий по снижению потерь электроэнергии.

Разработка этих мероприятий предусмотрена «Долгосрочной программой развития угольной промышленности на период до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 21.06.2014 №1099-р. Их реализация должна обеспечить снижение электроэнергетической составляющей себестоимости угля и повысить его конкурентоспособность на рынке.

Существует множество способов снижения потерь электроэнергии в системе электроснабжения (СЭС) угольных шахт. Одним из эффективных способов является оптимальное регулирование напряжения. Критерием эффективности такого регулирования является минимизация потерь электроэнергии при условии соблюдения нормативных отклонений напряжения на зажимах электроприемников.

Существующая концепция регулирования напряжения в СЭС угольных шахт базируется на регулировании напряжения на шинах главной понизительной подстанции (ГПП) и управлении потоками реактивной мощности. По причине невзаимосвязанного использования средств регулирования напряжения данная концепция не позволяет обеспечить оптимальный уровень напряжения во всех точках сети и минимизировать потери электроэнергии.

Проведенные научные исследования, показали, что для реализации эффективного управления режимом напряжения необходимо учитывать статические характеристики нагрузки электродвигателей по напряжению.

Изложенное выше, свидетельствует о важности и актуальности решаемой в диссертационной работе научно-технической задачи оптимального регулирования напряжения в СЭС угольных шахт с учетом статических характеристик нагрузки по напряжению.

**Анализ содержания диссертации и автореферата и их соответствия установленным требованиям.** В первой главе диссертационной работы рассмотрены научно-технические проблемы регулирования напряжения в СЭС угольных шахт Кузбасса и обоснована необходимость разработки алгоритма оптимального регулирования напряжения.

Во второй главе отражены результаты исследования процесса потребления активной и реактивной мощности в СЭС угольных шахт, представлен разработанный алгоритм определения параметров статических характеристик нагрузки по напряжению, выполнен анализ влияния работы устройства РПН на уровень потерь активной мощности при регулировании напряжения.

Третья глава диссертации посвящена описанию разработанного алгоритма оптимизации уровня напряжения в СЭС угольной шахты по критерию минимума потерь активной мощности, выполнен анализ методов расчета электрических режимов, рассмотрены два метода оптимизации (метод внутренней точки, метод последовательного квадратичного программирования).

В четвертой главе выполнена апробация предложенного алгоритма оптимального регулирования напряжения и оценка его эффективности. Для апробации предложенного алгоритма разработана программа для ЭВМ. На основе результатов имитационного регулирования доказана эффективность разработанного алгоритма оптимизации и предложен дальнейший вариант его практической реализации в системе SCADA.

Материал, изложенный во второй и четвертой главе, демонстрирует, что учет статических характеристик нагрузки по напряжению в дополнение к существующим принципам централизованного регулирования напряжения позволяет обеспечить оптимальный уровень напряжения в СЭС угольных шахт.

В главе 2 раскрыто второе положение, вынесенное на защиту. Доказано, что характер изменения потерь активной и реактивной мощности в трансформаторах с УРПН при регулировании напряжения определяется коэффициентом их загрузки, при этом потери реактивной мощности от коэффициента трансформации зависят линейно, а потери активной мощности нелинейно.

В третьей и четвертой главе раскрыто третье положение, вынесенное на защиту. Доказано, что при регулировании напряжения с целью снижения потерь активной мощности в СЭС угольных шахт должна учитываться взаимосвязь режимов работы используемых дискретных и недискретных средств регулирования напряжения.

На основании анализа содержания диссертационной работы можно сделать вывод, что тема диссертации соответствует п.1 «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем», п.3 «Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления.» и п. 4 «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях» паспорта специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. Автореферат в целом достаточно полно отражает выполненные исследования и полученные результаты. В диссертации подробно раскрыты положения, вынесенные на защиту, предложенные решения новы и хорошо аргументированы. Структура диссертации обладает внутренним единством, текст написан грамотным языком и качественно оформлен.

#### **Научная новизна диссертационной работы:**

1. Разработан алгоритм определения коэффициентов полинома статических характеристик нагрузки АД по напряжению, отличающийся от существующих использованием Т-образной схемы замещения АД с одновременным учетом кривых намагничивания и механических характеристик нагрузки.

2. Уточнены статические характеристики и регулирующие эффекты нагрузки шахтовых АД по напряжению.

3. Получены зависимости относительного изменения потерь активной и реактивной мощности в пассивных элементах СЭС угольной шахты от напряжения при изменении их загрузки и параметров.

4. Предложен алгоритм оптимального регулирования напряжения в СЭС угольной шахты по критерию минимума потерь активной мощности, отличающийся от известных алгоритмов возможностью оптимизации дискретных и недискретных параметров устройств регулирования напряжения с учетом статических характеристик нагрузки по напряжению.

**Степень обоснованности и достоверности** научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации, обеспечивается применением современных математических методов оптимизации и расчета электрических режимов с последующей экспериментальной проверкой теоретических выводов на имитационной модели СЭС угольной шахты, построенной на основании фактических данных о нагрузках сети, полученных по показаниям приборов учета.

#### **Практическая ценность работы:**

1. Результаты оценки влияния параметров АД и элементов СЭС угольной шахты на уровень потребления активной и реактивной мощности могут быть использованы при разработке мероприятий по повышению энергоэффективности угольных шахт Кузбасса.

2. Разработанная имитационная модель СЭС угольной шахты может быть использована при формировании графиков напряжения в контрольных точках сети энергоснабжающих организаций и при разработке рекомендаций по регулированию напряжения в СЭС угольных шахт с целью снижения потерь активной энергии.

**Соответствие положений, вынесенных на защиту, материалам диссертации.** На основании анализа содержания диссертационной работы, ее научной новизны и практической ценности можно заключить, что вынесенные на защиту положения полностью соответствуют содержанию диссертации, научно обоснованы и вносят существенный вклад в решение задачи повышения энергоэффективности систем электроснабжения угольных шахт.

**Публикации и апробация работы.** Результаты диссертационной работы

опубликованы в 15 печатных работах, в том числе 6 в научных изданиях рекомендованных ВАК, и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы прошли достаточную апробацию на международных и всероссийских конференциях.

**Рекомендации по использованию результатов.** Результаты работы, сформулированные в вынесенных на защиту положениях, могут быть рекомендованы к использованию угледобывающими предприятиями и энергоснабжающими организациями, обеспечивающими электроснабжение угольных шахт. Часть результатов может использоваться в учебном процессе подготовки бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика и электротехника».

### **Замечания**

1. Требуется уточнить понятие оптимального регулирования напряжения применительно к условиям системы электроснабжения угольных шахт. Как решается вопрос ограниченности возможности оптимального регулирования напряжения из-за наличия в системе дискретных и непрерывных средств регулирования напряжения у потребителей электрической энергии?

2. Предусматривается ли использование возобновляемых источников энергии и источников энергии на базе шахтного метана в послеаварийных режимах при отключении двух независимых источников питания?

3. Требуется пояснения зависимости величины регулирующего эффекта реактивной мощности шахтных электродвигателей по напряжению от числа пар полюсов.

4. Чем обусловлена возможность достижения требуемой точности и сходимости результатов расчетов режимов при использовании метода Ньютона и коэффициента демпфирования по схеме Энеева-Матвеева. Возможно ли изменение других более оптимальных методов?

5. Какое число переключений РПН считается допустимым с точки зрения исключения преждевременного износа УРПН? Как предполагается ограничить число переключений РПН? В алгоритме (стр. 91 диссертации) ограничение числа переключений не предусмотрено.

6. Насколько значимо сокращение скорости выполнения алгоритма регулирования напряжения в условиях ограниченных возможностей средств регулирования, например на шинах главной понизительной подстанции?

7. Каким образом достигается снижение потерь активной мощности на 7% в условиях регулирующих эффектов потерь активной мощности по напряжению ПУПП в пределах  $-1,17 - 0,51\%$ ?

8. На стр. 61 диссертации указано, что «изменение напряжения на 1% не приводит к изменению потребления активной мощности АД». Необходимо уточнить, как будет изменяться уровень потребления активной мощности АД при изменении напряжения в диапазоне  $\pm 10\%$  от номинального значения.

9. Чем объясняется отличие расчетных уровней напряжения в сети при использовании разных методов оптимизации (стр. 132 диссертации)?

10. Не рассмотрена возможность использования ДКРМ, ВДТ, ПУПП с тиристорными УРПН, тиристорных регуляторов напряжения (ТРН) для целей повышения энергоэффективности.

11. Схема внешнего электроснабжения, представленная на рисунке 1.5 (стр. 21 диссертации) не обеспечивает безопасности персонала угольной шахты в аварийной ситуации. Для электроприемников особой группы 1 категории должен быть предусмотрен 3-й независимый источник питания. Как решаются вопросы безопасности?

12. Не ясно реализован ли метод последовательного квадратичного программирования автором самостоятельно или использованы готовые пакеты программ.

Указанные замечания не опровергают основных результатов работы, часть из них носит характер уточнений и пожеланий.

### **Заключение**

Диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, посвященной решению актуальной научно-технической задачи снижения потерь электроэнергии в СЭС угольных шахт и повышения их энергоэффективности при оптимальном регулировании напряжения, имеющей существенное значение для предприятий угольной промышленности. Диссертационная работа Непши Ф.С. на тему «Повышение энергоэффективности систем электроснабжения

