

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
«National Research Tomsk Polytechnic University» (TPU)  
30, Lenin ave., Tomsk, 634050, Russia  
Tel. +7-3822-606333, +7-3822-701779,  
Fax +7-3822-606444, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru  
OKPO (National Classification of Enterprises and Organizations):  
02069303,  
Company Number: 027000890168,  
VAT/KPP (Code of Reason for Registration)  
7018007264/701701001, BIC 046902001

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет» (ТПУ)  
Ленина, пр., д. 30, г. Томск, 634050, Россия  
тел.:+7-3822-606333, +7-3822-701779,  
факс +7-3822-606444, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru  
ОКПО 02069303, ОГРН 1027000890168,  
ИНН/КПП 7018007264/701701001, БИК 046902001

04.10.2018

№ 14/6225

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и  
инновациям ТПУ

И.Б. Степанов

2018 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ) на диссертационную работу Непши Федора Сергеевича «Повышение энергоэффективности систем электроснабжения угольных шахт при оптимальном регулировании напряжения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы»

**Актуальность исследования для науки и практики.** Актуальность работы обусловлена высокой энергоемкостью технологических процессов добычи угля и несовершенством существующей концепции регулирования напряжения в СЭС угольных шахт с точки зрения обеспечения нормативного уровня напряжения и повышения энергоэффективности.

Согласно ГОСТ 32144-2013, уровень напряжения в точке передачи электроэнергии нормируется в пределах  $\pm 10\%$  от номинального или

согласованного значения напряжения. Энергоснабжающие организации не заинтересованы в регулировании напряжения в пределах вышеуказанного диапазона для повышения качества ЭЭ и энергоэффективности СЭС потребителей. В связи с этим, собственники угольных шахт должны самостоятельно обеспечивать условия, при которых отклонения напряжения на зажимах электроприемников не превышают допустимых значений.

Тем не менее, существующая практика регулирования напряжения на угледобывающих предприятиях Сибири не позволяет оптимально задействовать существующие устройства регулирования напряжения, что, в свою очередь, приводит к нарушению технологических процессов добычи угля и с высокой вероятностью может стать причиной возникновения аварийных ситуаций на угледобывающем предприятии.

Кроме того, проведенные научные исследования показывают, что при управлении уровнем напряжения целесообразно учитывать регулирующий эффект нагрузки, что позволяет дополнительно повысить энергоэффективность СЭС за счет снижения потерь и потребления активной энергии.

Тем не менее, в рамках электротехнического комплекса современных угольных шахт оценка регулирующего эффекта не производилась, что не позволяет сделать вывод о целесообразности учета статических характеристик нагрузки по напряжению при регулировании напряжения.

В связи с вышесказанным, разработка алгоритмов и подходов к оптимальному регулированию напряжения в СЭС угольных шахт, учитывающих регулирующий эффект нагрузки, является актуальной научно-технической задачей.

Актуальность работы также подтверждается «Долгосрочной программой развития угольной промышленности на период до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 21.06.2014 №1099-р., в рамках которой предусмотрена разработка мероприятий по снижению потерь электроэнергии в СЭС угольных шахт.

**Содержание диссертационной работы.** Диссертационная работа изложена на 186 страницах машинописного текста и состоит из введения,

четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 115 наименований, содержит 51 рисунок, 11 таблиц и 6 приложений. **Во введении** обоснована актуальность темы исследований, определена цель и задачи работы, сформулированы научная новизна, практическая значимость и научные положения, выносимые на защиту. **В первой главе** выполнен анализ состояния проблемы регулирования напряжения в СЭС угольных шахт Кузбасса, обоснована необходимость разработки алгоритма оптимального регулирования напряжения, учитывающего статические характеристики нагрузки по напряжению. **Вторая глава** посвящена исследованию процесса потребления активной и реактивной мощности в СЭС угольных шахт в зависимости от напряжения, представлен разработанный алгоритм определения параметров статических характеристик нагрузки АД по напряжению, произведена оценка регулирующих эффектов нагрузки шахтовых АД и пассивных элементов СЭС, сделан вывод о целесообразности учета статических характеристик нагрузки по напряжению при регулировании напряжения в СЭС угольных шахт. **Третья глава** посвящена описанию разработанного алгоритма оптимизации дискретных и недискретных параметров устройств регулирования напряжения по критерию минимума потерь активной мощности, выполнен анализ методов расчета электрического режима, в рамках разработанного алгоритма предложено рассматривать два метода оптимизации. **В четвертой главе** приводятся результаты апробации и оценки эффективности предложенного алгоритма оптимального регулирования напряжения, предложен вариант практической реализации предложенного алгоритма в существующей системе SCADA Infinity. **В заключении** изложены основные результаты исследований и перспективы их дальнейшего развития.

**Основные научные результаты и их значимость.** Основные научные результаты, сформулированные автором, состоят в следующем:

1. Установлено, что имеющиеся в СЭС угольных шахт средства регулирования напряжения (УРПН, БСК и синхронные машины) задействуются нерациональным образом, что не позволяет обеспечить

оптимальный уровень напряжения и реализовать регулирующий эффект нагрузки.

2. Уточнены статические характеристики и регулирующие эффекты активной и реактивной нагрузки шахтовых АД по напряжению с использованием специально разработанного алгоритма.

3. Произведена оценка регулирующих эффектов потерь активной и реактивной мощности по напряжению для передвижных участковых подземных подстанциях (ПУПП) при изменении их загрузки и номинальных параметров.

4. Установлено, что при переключении устройства РПН потери активной мощности в трансформаторах ГПП изменяются неоднозначно: при увеличении коэффициента трансформации потери активной мощности изменяются линейно, а при уменьшении характер их изменения зависит от коэффициента загрузки трансформатора.

5. Разработан алгоритм оптимизации напряжения позволяющий обеспечить взаимосвязанное регулирование напряжения в СЭС угольной шахты по критерию минимума потерь активной мощности с учетом статических характеристик нагрузки электроприемников по напряжению.

6. Создана имитационная модель одной из угольных шахт Кузбасса, моделирующая регулирование напряжения согласно предложенному алгоритму оптимального регулирования. В рамках имитационной модели рассмотрены современные методы оптимизации (метод последовательного квадратичного программирования и метод внутренней точки).

Результаты имитационного моделирования показали, что разработанный алгоритм оптимизации уровня напряжения позволяет снизить уровень потерь активной энергии и повысить показатели качества ЭЭ по показателю «отклонение напряжения». Автором определена дальнейшая возможность внедрения предложенного алгоритма на производстве в рамках существующей на угольных предприятиях Кузбасса автоматизированной системы управления технологическими процессами.

**Практическая значимость полученных результатов.** Практическая значимость состоит в разработке алгоритма оптимизации уровня напряжения

в СЭС угольной шахты, позволяющего снизить потери в СЭС угольных шахт, эффективность которого подтверждается экспериментальными исследованиями на имитационной модели системы электроснабжения, созданной в ходе диссертационной работы.

Разработанная 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.

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.

Дополнительно практическая значимость работы подтверждается тем, что полученные результаты нашли применение в работе Филиала ПАО «МРСК Сибири» - «Кузбассэнерго – РЭС».

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать в сетевых организациях при формировании графиков напряжений в контрольных точках сети, а также при определении уставок блоков автоматического регулирования УРПН на подстанциях, питающих угольные шахты.

Полученные выводы и результаты диссертационной работы рекомендуется использовать на угледобывающих предприятиях и предприятиях электросетевого комплекса при разработке мероприятий по повышению энергоэффективности СЭС.

Результаты диссертационной работы могут использоваться как основа для дальнейших исследований в области разработки механизмов активно-адаптивного управления уровнем напряжения в СЭС угольных шахт в рамках концепции «Smart Grid».

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 15 печатных работах, в том числе 6 в рецензируемых научных журналах,

входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### **Замечания по диссертации.**

1. По итогам оценки результатов оптимизации в главе 4 диссертации не ясно, каким образом изменяются показатели надежности после реализации предложенного алгоритма оптимизации уровня напряжения.

2. В главе 3 диссертации рассмотрены два метода оптимизации (метод последовательного квадратичного программирования и метод внутренней точки). Не ясно, почему не рассмотрены другие современные методы оптимизации. Например, метод Левенберга — Марквардта.

3. Из автореферата (формула (5)) и диссертации (подраздел 3.1, с. 89) не ясно, какими именно стандартами определяются граничные условия по напряжению.

4. Исследования, представленные в диссертации (с. 126-135), проведены для расчетного режима СЭС угольной шахты. Насколько результаты работы характеризуют реальный режим?

5. По итогам оптимизации (раздел 4.4, с. 132) производится оценка одного из показателей качества электроэнергии «отклонение напряжения». При этом нет упоминания о влиянии системы регулирования напряжения на другие показатели качества электроэнергии. Возникает вопрос: каким образом повлияет разработанный алгоритм оптимизации напряжения на другие показатели качества ЭЭ?

6. В тексте диссертации работы присутствуют опечатки и пунктуационные ошибки.

Отмеченные недостатки не снижают качество исследования и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

**Заключение.** Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Полученные на основе проведенных исследований новые научные результаты имеют существенное теоретическое и практическое значение для СЭС угольных шахт, и их можно классифицировать как решение важной научно-технической задачи повышения энергоэффективности СЭС угольных шахт.

По своей актуальности, объему выполненных исследований, научному содержанию, новизне и практической значимости диссертационная работа «Повышение энергоэффективности систем электроснабжения угольных шахт при оптимальном регулировании напряжения» отвечает требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней ВАК Министерства образования и науки РФ, а ее автор Непша Федор Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы».

Отзыв составлен на основании заключения по результатам обсуждения диссертации, проведенного на расширенном семинаре Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ТПУ 21 сентября 2018 г., протокол № 1.

Руководитель отделения электроэнергетики  
и электротехники, профессор Инженерной  
школы энергетики Национального исследовательского  
Томского политехнического университета, почетный  
работник высшего профессионального  
образования РФ, доктор Ph.D, к.т.н., доцент,  
634050, г. Томск, пр.Ленина,30; ТПУ, ИШЭ  
Т.с. 8 9138550804; dementev@tpu.ru

Юрий Николаевич Дементьев

Профессор Отделения электроэнергетики  
и электротехники Инженерной школы энергетики,  
Национального исследовательского Томского  
политехнического университета, профессор, д.т.н.,  
634050, г. Томск, пр.Ленина,30; ТПУ, ИШЭ  
Т.с. 8 9131122082; lukutin48@mail.ru

Борис Владимирович Лукутин

Адрес организации:

Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30, т. 8(3822)60-63-33

*e-mail: tpu@tpu.ru*