

Ministry of Education and Science 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  
ОКПО (National Classification of Enterprises and Organizations):  
02069303,  
Company Number: 1027000890168,  
VAT / KPP (Code of Reason for Registration)  
7018007264/701701001, BIC 046902001

Министерство образования и науки 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

12.09.18 № 03/6146  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор

по научной работе и инновациям  
« 12.09.18 И.Б. Степанов



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию БУМЦЭНД УЯНГ АСАЙХАН на тему «Развитие и оптимизация режимов электроэнергетической системы при электрификации железнодорожной магистрали (на примере электроэнергетической системы Монголии)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

### 1. Актуальность темы

Начавшаяся в последней четверти девятнадцатого века и продолжающаяся до настоящего времени электрификация железнодорожного транспорта, требует решения многих проблем, возникающих в результате непрерывного технического прогресса в этой области. Основными этапами здесь являются: появление тяги на постоянном токе, переменном токе, скоростного железнодорожного транспорта. Одной из проблем, возникающих в ходе электрификации, является отрицательное влияние тяговых нагрузок на питающие сети электроэнергетических систем, проявляющееся в снижении экономичности их работы. Данная проблема в полной мере проявится и в ходе планируемой электрификации железнодорожной магистрали Монголии – Улан-Баторской железной дороги (УБЖД). Ожидается, что электрификация на переменном токе вызовет несимметрию токов тяговых

нагрузок, увеличение потребления реактивной мощности, снижение качества напряжения в узлах питающей сети переменного тока и, как следствие, рост потерь электрической энергии.

Решению задачи снижения влияния перечисленных факторов, влияющих на экономичность работы питающих сетей переменного тока, посвящена рецензируемая диссертационная работа. Учитывая своевременность данной работы, поставленные в ней задачи и полученные результаты, тема диссертации представляется весьма актуальной и злободневной.

## **2. Научная новизна работы и практическая значимость полученных результатов**

В ходе выполненных в работе исследований автором получены следующие новые научные результаты:

- исследовано влияние несимметричных тяговых нагрузок для планируемых вариантов присоединения тяговых подстанций и определены уровни несимметрии напряжений в узлах питающей сети переменного тока;

- выведены необходимые уравнения, исследовано симметрирующее влияние трансформаторов Скотта и определен возможный диапазон изменения фазных нагрузок в двухфазной системе, обеспечивающий симметрию нагрузок трехфазной сети;

- разработана математическая модель несимметричной нагрузки, позволяющая моделировать несимметричные режимы и производить расчеты основных и добавочных потерь в сложной электрической сети переменного тока.

Данные научные результаты получены с использованием известных и новых компьютерных программ, разработанных на основе фундаментальных законов электротехники, что обеспечивает их обоснованность и достоверность.

- исследована работоспособность алгоритма оптимизации режима с помощью стохастического метода роевого интеллекта и показана возможность отыскания глобального минимума целевой функции при минимизации мощности потерь, что является новым подходом при решении поставленной задачи.

Выполненные расчеты позволили определить лучшие значения мощностей компенсирующих устройств в узлах сети переменного тока и снизить мощность

активных потерь по сравнению с градиентным методом, применяемым в настоящее время.

Данный научный результат может быть рекомендован к применению в практике проектирования развития электрических сетей с тяговыми нагрузками поскольку позволяет принимать более качественные решения.

Таким образом, полученные научные результаты имеют практическое значение и могут использоваться при решении следующих задач:

- при расчетах установившихся режимов электрических сетей с несимметричными тяговыми нагрузками, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации;

- выполнять проектирование устройств компенсации реактивной мощности ее размещения в узлах сети переменного тока, обеспечивающих минимизацию активных потерь;

- проводить расчеты уровней несимметрии напряжения в узлах сети переменного тока и выполнять проектирование симметрирующих устройств с целью улучшения качества электрической энергии.

### **3. Структура диссертации и оценка ее содержания**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 120 наименований и двух приложений.

**Во введении** автором обосновывается актуальность выбранной темы диссертационной работы. Отмечается, что в настоящее время основным видом вновь вводимого электрифицированного железнодорожного транспорта является транспорт на переменном токе, что обусловлено объективными причинами – ростом веса грузовых поездов и скорости пассажирских поездов. При этом кроме положительных качеств тяги на переменном токе отмечаются и отрицательные качества, такие как несимметрия потребляемого тока тяговыми подстанциями, низкий коэффициент мощности и, как следствие, снижение технико-экономических показателей работы питающих энергосистем переменного тока. Формулируется цель работы и ставятся задачи исследования. Перечисляются результаты исследования, обладающие научной новизной и практической ценностью, а также положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приводится исторический экскурс в историю развития электрифицированного железнодорожного транспорта и в данном контексте обосновывается необходимость электрификации железнодорожного транспорта Монголии.

**Во второй главе** разработаны необходимые математические модели и выполнены исследования влияния несимметричных тяговых нагрузок на уровни несимметрии напряжений питающей сети переменного тока и исследовано симметрирующее влияние трансформаторных групп Скотта и Ле Бланка.

**В третьей главе** проведены исследования установившихся режимов оптимизация выбора и размещения устройств компенсации реактивной мощности в узлах питающей сети переменного тока. В ходе оптимизационных расчетов проведен сравнительный анализ эффективности градиентного метода и метода роя частиц. Дана оценка эффективности применяемых методов.

В условиях роста нагрузок, связанного с электрификацией железной дороги и установки компенсирующих устройств проведены расчеты статической апериодической устойчивости по сечению п/ст 220 кВ Селендума (РФ) – п/ст 220 кВ Дархан (Монголия) и определен коэффициент запаса статической устойчивости.

**В четвертой главе** проводится анализ несимметричных режимов в электрических сетях электроэнергетической системы при присоединении несимметричных тяговых нагрузок. Обсуждаются возможности существующих программных средств для расчета несимметричных режимов и предложен алгоритм их доработки с целью решения поставленных в работе задач. Исследуются симметрирующие возможности трансформатора Скотта при различных нагрузках в фазах на вторичной стороне.

На основе выполненных расчетов установлены значения величины добавочных потерь в сети переменного тока при различных вариантах включения тяговых нагрузок от несимметрии и сделан вывод об эффективности применения трансформатора Скотта.

**В пятой главе** проведены технико-экономические расчеты эффективности дополнительных капитальных вложений при электрификации

железной дороги. Таковыми рассматривается установка трансформаторов Скотта на четырех тяговых подстанциях УБЖД. При проведении расчетов автор пользуется справочными данными и данными, полученными в предыдущих главах. На основании выполненного расчета автором получено значение срока окупаемости около семи лет, что по мнению автора является вполне допустимым.

**В заключении** автором сформулированы основные результаты работы. Показано, что поставленные задачи, позволяющие достичь цели выполненного исследования – решены.

**В приложениях** приведены технические параметры трансформатора Скотта (приложение А) и два акта о внедрении результатов работы (приложение Б).

#### **Соответствие оформления диссертации требованиям, предъявляемым к данным работам**

Диссертация написана технически грамотным языком, оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

#### **Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

#### **Степень полноты опубликованности основных результатов диссертации в научной печати**

По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ, в том числе 4 работы в рецензируемых изданиях из перечня рекомендованных ВАК Российской Федерации, 1 работа включена в библиографическую реферативную базу SCOPUS. Опубликованные работы достаточно полно отражают основные положения диссертации.

## **Апробация работы**

Обсуждение результатов работы на международных и всероссийских конференциях и семинарах свидетельствуют о достаточной апробации работы в научном сообществе.

## **4. Дискуссионные положения и замечания**

1. Автор рассматривает задачу расчета установившегося режима в сложной электрической сети переменного тока с нелинейными и несимметричными нагрузками только для первой гармоники и не учитывает влияние высших гармонических составляющих тока нагрузки. Данная, заведомо упрощенная, постановка задачи вызывает ряд вопросов:

1.1. Как влияет данная постановка задачи на точность определения потерь мощности (включая добавочные) в трехфазной сети;

1.2. Не приведет ли установка компенсирующих устройств к возникновению резонансов в сети переменного тока на частотах высших гармоник;

1.3. Как подключение тяговых нагрузок скажется на других показателях качества электрической энергии ( $K_{U(n)}$ ,  $K_U$ );

2. Из текста диссертации не ясно учитывались ли автором статические характеристики нагрузок, как при расчетах установившихся режимов, так и при расчетах статической устойчивости.

3. Из текста главы 5 диссертации не ясно, как автор обосновывает число часов использования максимума (источник под номером 124, на который ссылается автор, в списке литературы отсутствует), а также как автор обоснование цену потерь электрической энергии.

Приведенные замечания не снижают качества представленной к защите диссертационной работы.

## **5. Общее заключение по работе**

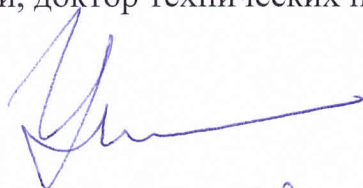
Несмотря на указанные замечания диссертационная работа Бумцэнд Уянгасайхан «Развитие и оптимизация режимов электроэнергетической системы при электрификации железнодорожной магистрали (на примере электроэнергетической системы Монголии)» является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком теоретическом и

профессиональном уровнях. Разработанные и научно обоснованные в ней основные положения анализа режимов, оптимизации выбора мощности компенсирующих устройств и их размещения, выбора симметрирующих устройств, а также совершенствование алгоритмов расчета несимметричных режимов и моделирования нагрузок в условиях несимметрии напряжений позволяют принимать технически и экономически обоснованные решения на стадии проектирования развития железных дорог.

Диссертационная работа в полной мере отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335, ее автор Бумцэнд Уянгасайхан **заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук** по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Настоящий отзыв рассмотрен на научном семинаре Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета, протокол №5 от 3 сентября 2018 г.

Профессор Инженерной школы энергетики  
Национального исследовательского Томского  
политехнического университета, заслуженный  
деятель науки и техники, доктор технических наук,  
профессор



12.09.18 г

Василий Яковлевич Ушаков

634050, г. Томск, проспект Ленина 30  
Тел: +7(3822) 60-63-33/+7(3822) 60-64-44  
E-mail: tpu@tpu.ru

Отзыв по делу  
13.09.2018г.  
А. Русина А.Г.

С отзывом ознакомлена  
Ушаев 13.09.18г.