

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Крюкова Андрея Васильевича на диссертацию Банных Павла Юрьевича «Развитие потоковой модели установившихся режимов электрических сетей в трехфазном и однолинейном представлении», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции и электроэнергетические системы

На отзыв представлены: диссертационная работа, состоящая из введения, четырёх глав с выводами, заключения, библиографического списка из 106 наименований.

### **1. Актуальность темы диссертации**

В настоящее время в распределительных сетях наблюдается рост числа установок распределённой генерации, появляются быстродействующие устройства компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения, совершенствуется коммутационная и измерительная аппаратура. Для эффективной работы сетей в этих условиях требуется более точный контроль ограничений и изменении принципов управления режимами, что вносит дополнительные трудности в процесс поддержания их работоспособности. Функционирование новых систем управления распределительными сетями не представляется возможным без расчётов режимов их работы. Ввиду увеличения требований к точности расчётов, необходим переход к расчёту режимов в фазных координатах.

### **2. Анализ содержания диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 106 наименований, 1 приложения, содержит 129 страниц, включая 33 рисунка и 5 таблиц.

#### *Содержание диссертации*

В введении дана общая характеристика работы, обоснована её актуальность, представлены цели, задачи, выносимые на защиту положения, описана научная новизна и практическая значимость результатов.

В первой главе приведён обзор методов моделирования элементов электрической сети в фазных координатах. Рассмотрены математические модели воздушных и кабельных линий электропередачи, генераторов и узлов нагрузки. Проанализированы модели трансформаторов с группой соединения обмо-

ток «звезда-треугольник». Описаны допущения, которые используются в моделях.

*Во второй главе* приведён обзор математических моделей установившихся режимов в фазных координатах. Рассмотрены различные модификации уравнений узловых напряжений, методы Z-матрицы, прямого – обратного хода и контурных токов. Рассмотрены различные способы ускорения расчёта режимов. Описанные методы проанализированы с точки зрения их применимости в современных распределительных сетях.

*Третья глава* посвящена потоковой модели установившегося режима. Проанализированы ее особенности применительно к распределительным сетям. Разработан алгоритм ускорения расчёта режима. Математическое описание расширено для анализа режимов в трехфазном представлении. Выполнен численный анализ и сравнение разработанной модели с существующими.

*В четвёртой главе* представлена гибридная трехфазно-однолинейная потоковая модель установившегося режима. Проанализировано современное состояние информационно измерительных систем. Показано, что наличие трехфазных и усреднённых однолинейных измерений обуславливает необходимость использования гибридной модели. Модель рассматривается применительно к задачам расчёта установившегося режима и оцениванию состояния.

*В заключении* приведены основные выводы и обобщены полученные в диссертационной работе результаты.

*В приложении* содержатся копии свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

### **3. Соответствие диссертации паспорту специальности**

Содержание диссертации соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 05.14.02:

П.6. Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике.

П.7. Разработка методов расчета установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем.

П.13. Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике.

### **4. Методы исследования**

В работе применялись методы нелинейного программирования, теоретических основ электротехники, выполнялось моделирование в интерактив-

ной среде MATLAB. Для проведения расчётов использовались программы, разработанные автором, написанные на языках C# и Wolfram Language.

## **5. Степень обоснованности положений и достоверности полученных результатов**

Обоснованность и достоверность результатов подтверждается их убедительной физической интерпретаций, корректным использованием методов теории электроэнергетических систем, прикладной математики, выполнением моделирования с сопоставлением его результатов с данными, полученными другими авторами.

## **6. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

1. Предложена потоковая модель установившегося режима, позволяющая рассчитывать режимы электрических сетей любой конфигурации.
2. Для решения проблемы большой размерности предложен алгоритм ускорения расчёта.
3. Выполнено обобщение потоковой модели для трехфазной постановки задачи.
4. Разработана гибридная трехфазно-однолинейная потоковая модель, объединяющая однофазные и трехфазные подсистемы.

## **7. Практическая значимость и использование результатов диссертационной работы**

В рамках диссертационной работы были разработаны программы для ЭВМ, которые могут быть использованы для расчёта режимов распределительных сетей на базе трехфазных моделей. Кроме того, результаты исследований были использованы при разработке программно-технического комплекса для управления цифровой подстанцией, разработанного в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 года».

## **8. Отличие выполненных исследований от других работ**

Диссертационная работа Банных П.Ю. отличается от других работ, выполненных в исследуемой области, применением уникальной потоковой модели, которая имеет ряд преимуществ при анализе распределительных сетей, по сравнению с классическими моделями установившегося режима. Уникальной является также гибридная трехфазно-однолинейная потоковая мо-

дель, которая позволяет объединять участки сети с однолинейным и трехфазным представлением.

## **9. Публикация основных результатов диссертационной работы**

По теме диссертации опубликовано четыре работы и зарегистрированы три программы для ЭВМ. Две работы опубликованы в зарубежных изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science, одна работа опубликована в журнале, включённом в перечень ВАК.

## **10. Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы**

1. Гибридная трехфазно-однолинейная модель предполагает ограничение распространения несимметрии по сети в точках сопряжения трехфазной и однофазной подсистем. Это искажает результаты расчётов режимов и требует отдельного рассмотрения.

2. Применение описанной в первой главе модели трехфазной линии электропередачи сужает возможности моделирования двухцепных ЛЭП, однофазных кабелей, многофазных систем.

Модели, реализованные в фазных координатах, позволяет обойтись без исключения из рассмотрения четвёртого провода, которое используется в работе.

3. В разделе, посвященном моделированию кабельных линий, недостаточно корректно утверждается, что эффекты взаимоиндуктивной связи жил кабельных линий малы. В целом ряде случаев эти эффекты необходимо учитывать.

4. Модель трансформатора, описанная в первой главе диссертации, не учитывает взаимоиндуктивные связи катушек. Это может приводить к неточностям в определении составляющих нулевой последовательности.

5. К вырожденности матрицы проводимости, описывающей трансформатор с группой соединения «звезда-треугольник», приводит отсутствие соединений с землёй вторичной обмотки, что создает неопределенность потенциалов ее узлов. Это затруднение может быть снято разными способами, например, путем введения в расчетную модель дополнительных фиктивных трансформаторов «треугольник-звезда» с малыми потерями.

Представленные замечания касаются частностей и не снижают научной и практической значимости результатов диссертационной работы.

## **11. Соответствие диссертации критериям положения о присуждении ученых степеней**

Диссертационная работа Банных П.Ю. в полном объеме отвечает критериям, которые установлены положением о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

## **12. Общее заключение**

В диссертационной работе Банных П.Ю. решена актуальная задача, имеющая большое научное и практическое значение для современной электроэнергетики.

Основываясь на вышеизложенном, считаю, что диссертационная работа «Развитие потоковой модели установившихся режимов электрических сетей в трехфазном и однолинейном представлении» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и содержащей значимые научные и практические результаты. Банных Павел Юрьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции и электроэнергетические системы.

**Официальный оппонент,  
профессор кафедры электроэнергетики транспорта  
Иркутского государственного университета путей сообщения,  
доктор технических наук,**

**профессор**

**Крюков Андрей Васильевич**

Сведения: 09.01.2020

**Полное наименование организации:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ИРГУПС)

**Юридический адрес:** Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15.

**Телефон:** (3952) 638-399, доб. 0274

**Эл. адрес:** and\_kryukov@mail.ru

Подпись **ЗАВЕРЯЮ:**  
Начальник **иего отдела ИрГУПС**  
Подпись   
« 09 » января 2020 г.