

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента, доктора технических наук, доцента Сацука Евгения Ивановича на диссертацию Гавриловой Альбины Евгеньевны «Расчет наименьшего предельного перетока по статической устойчивости в заданном сечении на основе потоковой модели», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3 – Электроэнергетика

### **Актуальность темы диссертации**

Для обеспечения устойчивой работы электроэнергетической системы необходимо, чтобы фактические перетоки активной мощности в контролируемых сечениях (КС) не превышали расчетные максимально допустимые перетоки (МДП). МДП в КС рассчитываются исходя из критериев, определенных в «Методических указаниях по устойчивости энергосистем». Один из основных критериев при этом – критерий сохранения статической апериодической устойчивости. Для определения МДП по критерию статической апериодической устойчивости рассчитывается предельный переток активной мощности в КС с применением метода последовательного утяжеления режима в направлении вектора изменения режима (ВИР). ВИР задается персоналом служб электрических режимов Системного оператора исходя из опыта их работы. Методологическая сложность заключается в выборе такой траектории утяжеления, которая привела бы к наименьшему предельному перетоку в КС, так как траекторий утяжеления существует множество, и каждая траектория приводит к различному предельному перетоку в КС. Таким образом, возникает необходимость в оптимизации процесса поиска минимального предельного перетока активной мощности в КС по критерию статической апериодической устойчивости без эмпирического поиска ВИР. К тому же в настоящее время развиваются программные комплексы автоматического расчета МДП или расчета управляющих воздействий при аварийных возмущениях, в которых необходимо автоматическое формирование ВИР без участия персонала. В этой связи представленные диссертационные исследования Гавриловой А.Е. являются безусловно актуальными и имеющими перспективу практического использования.

### **Анализ содержания диссертации**

Представленная к защите диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка терминов и сокращений, библиографического списка.

**В первой главе** рассмотрены существующие способы поиска предельных режимов. Подробно описан традиционный метод поиска предельного режима с помощью траектории утяжеления. Приведены его преимущества и недостатки. Кроме того, рассмотрены и другие подходы к обеспечению устойчивости – без разделения энергосистемы на контролируемые сечения: аналитический метод поиска на основе уравнений предельных режимов, методы поиска на основе нелинейного программирования.

**Во второй главе** приводится описание предлагаемого метода на основе нелинейного программирования. Приводится подробное описание целевой функции, ограничений в форме равенств и неравенств. Приводится описание применения потоковой модели в качестве уравнений установившихся режимов.

**В третьей главе** приведены результаты применения предлагаемого метода для 3-узловой, 4-узловой и 12-узловой тестовых схем. Производится сравнение полученных результатов и результатов, полученных с помощью традиционного метода последовательного утяжеления режима. Результаты, полученные с помощью методов, совпадают. Приведены способы улучшения вычислительных характеристик метода, которые были достигнуты в том числе благодаря применению потоковой модели.

### **Соответствие диссертации паспорту специальности**

Содержание диссертации соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика:

п.14. разработка методов расчета и моделирования установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем и сетей, включая технико-экономическое обоснование технических решений, разработка методов управления режимами их работы.

п.15. разработка методов статической и динамической оптимизации для решения задач в электроэнергетике.

### **Методы исследования**

Поставленные задачи решались с помощью методов математического моделирования электроэнергетических систем, методов нелинейного программирования. Метод поиска предельного режима разработан в программной среде MATLAB, комплекса для расчетов электрических режимов RastrWin.

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

Обоснованность и достоверность результатов подтверждается их убедительной физической интерпретацией, корректным использованием методов теории электроэнергетических систем. В рамках работы выполнено сравнение результатов, полученных с помощью предлагаемого метода и с помощью традиционного метода последовательного утяжеления режима.

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

В рамках проводимого исследования была всесторонне рассмотрена проблема поиска предельных режимов в заданном сечении энергосистемы. Отдельно следует выделить следующие элементы новизны полученных результатов:

1. Разработана постановка задачи поиска предельного режима на основе нелинейного программирования применительно к конкретному контролируемому сечению
2. Применена потоковая модель установившегося режима для задачи поиска предельного режима.
3. Выполнено ускорение и улучшение вычислительных характеристик предлагаемого метода
4. Представлен способ непосредственного использования критерия равенства нулю определителя матрицы Якоби.

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

Разработанный в рамках диссертации метод может быть применен технологами в процессе оперативно-диспетчерского управления. Данный метод формализует процесс расчета, устраняя необходимость в выборе траектории утяжеления режима, что ранее требовало большого опыта и знаний специалиста. Предлагаемый метод позволяет автоматизировать расчеты МДП в заданном сечении энергосистемы, выполнять их в режиме реального времени, что повышает точность расчета МДП и, в свою очередь, повышает эффективность и надежность ее функционирования.

## **Публикация основных результатов диссертационной работы**

По теме диссертации опубликовано четыре работы. Две работы опубликованы в журналах, включённых в перечень ВАК, одна работа опубликована в зарубежном издании, индексируемом в Scopus и Web of Science.

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

1. В п.2.1 на стр.39 приведены ограничения, учитываемые при минимизации целевой функции. Для более точного расчета предельного перетока активной мощности необходимо также учитывать ограничения реактивной мощности в узлах генерации
2. Из п.2.1 непонятно каким образом изменяется реактивная мощность в узлах нагрузки при изменении в них активной мощности в процессе поиска предельного перетока.
3. В п.2.1 на стр.40 указано, что исходной информацией является «тот факт, что рассматриваемое КС может являться критическим сечением». Какие сечения могут являться критическими, а какие не могут? Как это определить?
4. Как в предлагаемом методе определяется какие генераторы или узлы нагрузки будут участвовать в процедуре минимизации? Как этот выбор может повлиять на результаты расчета предельного перетока?
5. В гл.2 анализ формул затруднен, так как, во-первых, не все обозначения в формулах расшифрованы (например формула (2.31)); во-вторых, некоторые переменные обозначены одинаковыми буквами (например, количество ветвей в схеме  $M$  и количество ограничений в форме неравенства тоже  $M$ ); в-третьих, некоторые одинаковые переменные обозначены по разному (например, в формулах (2.46), (2.54) и (2.55) множество узлов, которые являются узлами начала (конца) ветвей, входящих в КС обозначены как соответственно  $\gamma_1(\gamma_2)$ ,  $\alpha_1(\alpha_2)$  и  $\beta_1(\beta_2)$ ); в четвертых, не над всеми суммами есть обозначения переменных, по которым эта сумма выполняется.
6. В главе 3 описаны методы ускорения расчета, однако не ясен результат ускорения при применении разных методов. Насколько эффективны эти методы? Необходимо было это показать хотя бы на 12-узловой модели.

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

Диссертационная работа Гавриловой А.Е. 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».



### Общее заключение

Диссертационная работа Гавриловой А.Е. «Расчет наименьшего предельного перетока по статической устойчивости в заданном сечении на основе потоковой модели» соответствует паспорту специальности 2.4.3 – Электроэнергетика, является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные положения по поиску предельный режимов в энергосистеме. В диссертационной работе решена актуальная задача, имеющая практическую и теоретическую значимость для обеспечения статической устойчивости энергосистемы.

Гаврилова Альбина Евгеньевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3 – Электроэнергетика.

### Официальный оппонент

Начальник службы внедрения  
противоаварийной и режимной автоматики  
АО «СО ЕЭС»  
доктор технических наук, доцент

Сацук Евгений Иванович

20.11.2024

### Сведения:

**Полное наименование организации:** Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы»

**Юридический адрес:** Россия, 109074, г. Москва, Китайгородский проезд, д.7, стр.3.

**Телефон:** +7 499 788 15 18

**Эл. адрес:** [satsuk-ei@so-ups.ru](mailto:satsuk-ei@so-ups.ru)

**Должность:** Начальник Службы внедрения противоаварийной и режимной автоматики

**Ф.И.О.:** Сацук Евгений Иванович

Подпись Сацука Е.И. заверяю  
начальник отдела кадрового администрирования  
Департамента кадрового администрирования и методологии

В. Павлушко

