

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Косьминой Евгении Владимировны** на тему **«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УСТРОЙСТВАМИ FACTS ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ГИБКОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ВЫСОКОЙ ДОЛЕЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **2.4.3 – Электроэнергетика**

Рост доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как ветроэнергетические установки (ВЭУ), фотоэлектрические панели, а также массовое внедрение источников распределенной генерации в целом, создают ощутимые трудности для распределительных сетей. Это проявляется в двунаправленных перетоках мощности и отклонениях напряжения, что снижает надёжность энергосистемы. Интеграция труднопрогнозируемых ВИЭ и новых типов нагрузок (зарядные станции, накопители электроэнергии) способствует тому, что традиционные методы управления напряжением в энергосистемах становятся менее эффективными. Всё это требует разработки новых адаптивных подходов.

В данном контексте перспективным решением видится применение устройств гибкой системы передачи переменного тока (FACTS), изначально созданных для магистральных сетей, но всё активнее используемых и в распределительных сетях для повышения качества и надёжности электроэнергии. Современные системы автоматического управления (САУ) на базе искусственного интеллекта, в том числе машинного обучения, позволяют устройствам FACTS гибко оптимизировать режимы работы сети с учётом изменчивости генерации и нагрузки.

Таким образом, актуальность исследования продиктована необходимостью обеспечить устойчивый баланс мощности в условиях энергетического перехода, используя современные математические модели и интеллектуальные алгоритмы управления.

Предложенные методики и алгоритмы, описанные в диссертационной работе Косьминой Е.В., решают вышеописанную проблему. В связи с этим актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений.

Научная новизна результатов состоит в том, что:

1. Обоснована необходимость применения устройств FACTS с САУ на уровне первичных распределительных сетей, включающих различные распределенные энергоресурсы, для автоматического регулирования режимов их работы с целью повышения гибкости и надёжности электроснабжения. В отличие от традиционного подхода, ориентированного в основном на передачу электроэнергии и централизованное управление, предложено локальное регулирование режимов работы на уровне распределительных сетей, что позволяет значительно повысить гибкость и устойчивость электроснабжения при высокой доле ВЭУ в энергобалансе.

2. Разработан новый методический подход к синтезу самообучающихся САУ устройствами FACTS на основе метода проксимальной оптимизации стратегий (англ. Proximal Policy Optimization, PPO), обеспечивающий адаптивное регулирование напряжения и перетоков мощности в распределительных сетях с высокой долей ВЭУ в условиях стохастической генерации и изменяющейся нагрузки. В отличие от традиционных средств управления устройствами FACTS разработанный подход обеспечивает самообучение системы на основе взаимодействия с моделью сети. Это делает подход более универсальным и устойчивым к изменениям структуры сети и внешних условий.

3. Разработан модифицированный алгоритм метода прямого-обратного хода, учитывающий нелинейные характеристики нагрузки, сложную топологию сетей (включая слабозамкнутые конфигурации) и работу управляющих устройств (FACTS, ВЭУ), что обеспечивает точный анализ режимов распределительных сетей с высокой долей стохастической генерации, в отличие от классического метода, применимого только к простым радиальным сетям с постоянной нагрузкой. Предложенный алгоритм позволяет проводить корректный анализ установившихся режимов в реалистичных условиях.

4. Разработана методика количественной оценки гибкости напряжения на основе комплекса взаимосвязанных показателей (индекс гибкости, среднее и максимальное отклонения), позволяющая сравнивать эффективность различных стратегий регулирования в распределительных сетях с устройствами FACTS и стохастической генерацией. В отличие от существующих подходов, ориентированных на качественную оценку или использование частных метрик (например, коэффициент запаса устойчивости), предложенные показатели позволяют объективно сравнивать

различные стратегии управления, что особенно важно при работе с устройствами FACTS и стохастическими источниками генерации.

К работе отсутствуют критические замечания, однако из автореферата не ясно, каким образом предполагается практическая реализация результатов работы в части применения предложенных методик и алгоритмов. В списке публикаций автора диссертации указаны свидетельства о государственной регистрации программ на ЭВМ, но не понятно, как именно они применяются: в проектных расчетах, в качестве алгоритмов для комплексных систем управления режимами в реальном времени или системах управления FACTS (алгоритм, реализованный на микроконтроллере).

В целом представленная диссертационная работа Косьминой Е.В. является самостоятельной, завершённой научно-квалифицированной работой, посвящённой актуальной тематике. Диссертационная работа **соответствует** научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика и **удовлетворяет** требованиям пунктов «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 в редакции от 01.10.2018 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Косьмина Евгения Владимировна, **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3 – Электроэнергетика.

Кандидат технических наук, главный специалист департамента технического маркетинга систем релейной защиты и автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА»

Воронов  
Павел Леонидович

Подпись Воронова П.Л. заверяю:

ения:

Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «ЭКРА»

Почтовый адрес: 428020, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр-т И.Я. Яковлева, д. 3

Тел. +7 (8352) 220-110;

E-mail: [voronov\\_pl@ekra.ru](mailto:voronov_pl@ekra.ru)