

ОТЗЫВ

доктора технических наук исполняющего обязанности директора ИНЭИ РАН Кейко Александра Владимировича на автореферат диссертации Крупенёва Дмитрия Сергеевича «Методические основы комплексного анализа надёжности электроэнергетических систем», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.3 (Электроэнергетика)

Диссертационная работа Д.С. Крупенёва посвящена разработке методов для анализа и повышения надёжности электроэнергетических систем (ЭЭС). Автор справедливо отмечает актуальность и практическую значимость данного направления для управления развитием и функционированием ЭЭС. Судя по охвату задач, рассмотренных в диссертационной работе, автором предложен единый методический аппарат для управления надёжностью ЭЭС на всех временных этапах – от проектирования на десятилетия вперед до оперативного управления. Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, описаны ясно и обстоятельно. Хочется с удовольствием отметить выраженную преемственность, которая наблюдается в постановках задач и самом стиле изложения при сравнении с работами научного «предшественника» соискателя, проф. Г.Ф. Ковалева. Приятно, когда хорошо зарекомендовавшая себя научная школа находит своих продолжателей. Методические наработки, отраженные в автореферате, являются новыми и не вызывают сомнений в авторстве. Некоторые из представленных в работе методик уже получили практическую апробацию в реальных ЭЭС России. В частности, автор работы рассчитал необходимые резервы мощности для ЭЭС России при разных нормативах надёжности. Поэтому работа производит весьма положительное впечатление.

В качестве замечаний хотелось бы отметить следующее.

1. Во второй главе предложен способ ускорения метода Монте-Карло (ММК) при оценке балансовой надёжности ЭЭС. Известно, что одним из главных недостатков ММК является медленная сходимость в отдельных случаях. В эту категорию как раз попадают случаи моделирования ЭЭС. Автор переходит от «чистой случайности» к структурированным последовательностям, в частности Соболя, Холтона и Хаммерсли (метод QMC). Автор тестировал псевдослучайные последовательности, в частности, по критерию Колмогорова-Смирнова, и пришел к выводу о их большей равномерности. Это закономерно: случайные числа могут ложиться кучно и оставлять дыры в пространстве состояний. Вместе с тем подвох методов QMC кроется именно в отходе от чисто вероятностного подхода. Сходимость QMC сильно зависит от размерности задачи. При очень большом количестве узлов преимущества псевдослучайных последовательностей могут нивелироваться,

и результаты могут стать менее точными, чем при классическом ММК. Принимал ли автор данную особенность во внимание?

2. Также во второй главе автор описывает применение машинного обучения для минимизации дефицита мощности. Он заменяет решение «тяжелых» оптимизационных задач регрессионными моделями. При этом возникает риск, что обученная модель (линейная регрессия или градиентный бустинг) хорошо работает в знакомых ей ситуациях, на которых ее обучали. И при этом же ЭЭС – это динамическая система. Поэтому при возникновении редкого, критического сочетания аварий, которого не было в обучающей выборке, модель может выдать ошибочный результат, и он может быть даже нефизическим. По этой причине необходимо регулярно переобучать модель при изменении топологии сети. В противном случае ошибка будет постепенно накапливаться, пока однажды не станет причиной дорогостоящего неверного решения. Как автор подходит к решению этой проблемы?

3. В четвертой главе обсуждается интеграция ЭЭС с водохозяйственными системами. Здесь трудность заключается в том, что моделирование притоков воды – это еще более неопределенная стохастика, чем отказы оборудования, хотя высокая инерционность водохранилищ многолетнего регулирования отчасти нивелирует ее. Объединение двух крупных систем – водохозяйственного комплекса и ЭЭС в одну модель существенно увеличивает количество необходимых допущений. Ошибка в прогнозе паводка может обесценить все расчеты надежности ГЭС. Ставка автора на скорость, критически важная для оперативного управления на основе цифровых платформ, входит в противоречие с ценой такого ускорения. Считает ли автор, что для оперативного управления в реальном времени скорость расчета имеет приоритет над точностью в экстремальных режимах?

4. В пятой главе диссертации, которая, по-видимому, наиболее близка собственным научным интересам соискателя, автор строит и использует матрицы чувствительности в рамках оптимизации режимной надежности ЭЭС. Режимная надежность – это обычно реальное время, и ускориться здесь не помешает. Автор ускоряет расчеты на величину до 30 раз, используя дифференциальные модели вместо полных уравнений Ньютона-Рафсона. Подвох этой замены заключается в том, что матрицы чувствительности – это, по сути, линеаризация, разложение в ряд Тейлора. Они дают удовлетворительную точность при малых возмущениях, скажем, при изменении нагрузки на величину до нескольких процентов. Если же в системе крупная авария с резким падением напряжения, нелинейность системы резко возрастает и может стать критической. Тогда линейная аппроксимация или даже аппроксимация 2-го порядка запросто могут пропустить точку обрушения напряжения или лавину частоты. На с. 33 автореферата автор сам признает, что подход обоснован для «краткосрочных периодов», когда изменения параметров невелики. В этой связи вопрос: как подстраховаться от выхода подхода за границы его работоспособности?

5. В главе 5, с. 30 автореферата, автор вводит предположение о том, что физически реализуемое решение – то, где потери мощности минимальны. Это красивая математическая гипотеза, упрощающая поиск решения. Однако не следует забывать, что в кольцевых сетях с активным управлением (FACTS, вставки постоянного тока) система может иметь несколько устойчивых состояний. Тогда выбор единственного решения по критерию минимума потери мощности может оказаться излишним упрощением физики реальных процессов.

Несмотря на сделанные замечания, необходимо отметить, что работа выполнена достаточно профессионально и тщательно. Неоспорим личный вклад автора в полученные результаты. Предложены математические процедуры для принятия решений, обеспечивающие надежное электроснабжение на любых отрезках планирования развития ЭЭС и управления их функционированием. Представленная работа представляет собой завершённое квалификационное исследование и соответствует заявленной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика по техническим наукам, а также требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней в актуальной редакции. Ее автор, Д.С. Крупенёв, бесспорно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Кейко Александр Владимирович, доктор технических наук, исполняющий обязанности директора, ФГБУН Институт энергетических исследований Российской академии наук. Почтовый адрес: 117186 г. Москва, ул. Нагорная, д. 31, корп. 2.

12 мая 2026 года

Доктор технических наук, исполняющий обязанности директора ИНЭИ РАН
Кейко Александр Владимирович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
энергетических исследований Российской академии наук
117186, г. Москва, ул. Нагорная, д.31, корп.2
Телефон: + 7 (499) 127-46-64
Адрес электронной почты: info@eriras.ru

