

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента Быка Феликса Леонидовича на диссертационную работу Абдель Менаем Амир Салах Хассан, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» на тему: «Improving evaluation methods of adequacy for renewable energy integrated power systems» («Развитие методов оценки показателей балансовой надежности энергосистем с возобновляемыми источниками энергии»), представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

1. Актуальность темы

За последние десятилетия в мировой электроэнергетике наблюдаются кардинальные структурные изменения, вызванные бурным развитием генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Во многом это связано с развитием силовой электроники и существенным снижением цен на преобразователи электрической энергии, благодаря чему стало возможным и доступным индивидуальное производство электрической энергии. Среди технологий производства электроэнергии с использованием ВИЭ, наиболее быстрыми темпами развивается преобразование энергии ветра и солнца. В большей степени это характерно для регионов с благоприятными для производства электрической энергии на основе использования ВИЭ климатическими условиями (морские побережья, с относительно большой скоростью ветра и страны с достаточно высоким уровнем солнечного излучения).

Египет с его протяжённой береговой линией, практически круглый год безоблачным небом и малыми запасами органических видов топлива, в наибольшей степени удовлетворяет условиям развития распределённой генерации (РГ) на базе ВИЭ. Здесь возобновляемые ресурсы позволяют производить электроэнергию не только индивидуально, но и централизованно, с высокой экономической эффективностью на электростанциях с генерирующими установками, достаточно большой единичной мощности.

Наряду с очевидными положительными характеристиками ВИЭ известны отрицательные стороны их практического применения. Прежде всего, это неопределённость располагаемой мощности источников питания. Увеличение неопределённости располагаемой генерации отражается на показателях балансовой надежности (ПБН) ЭЭС, а, следовательно, и на величине не-

обходимого централизованного резерва мощности, и на эффективности установок, сооружаемых на базе ВИЭ. При этом резко возрастают требования к точности расчетов ПБН распределительных сетей. Требуются новые математические методы и процедуры оценок ПБН ЭЭС. Диссертационная работа Абдель Менаем А.С.Х посвящена решению именно этой задачи. Основной акцент поставлен на идентификации редких событий, связанных с отказом двух и более элементов распределительной сети.

Актуальность работы не вызывает сомнения.

2. Структура и объём диссертации

Представленная на английском языке диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и библиографического списка из 140 наименований. Содержит 110 страниц, 19 рисунков и 10 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, цели и задачи диссертационной работы.

В первой главе достаточно полно представлен информационно-аналитический обзор, позволяющий оценить текущее состояние проблемы расчета ПБН ЭЭС, в том числе и распределительных электрических сетей с ВИЭ. Дана постановка задачи расчета ПБН ЭЭС. Описаны основные математические методы, получившие широкое применение при ее решении. Показано, что основным математическим методом является метод статистических испытаний Монте-Карло (ММК). Отмечается, что погрешность ПБН, получаемых данным методом, обратно пропорциональна вероятности моделируемых событий. Отсюда при их малой вероятности для обеспечения требуемой точности требуется чрезвычайно большое число статистических испытаний.

Во второй главе обсуждаются возможные для решения поставленной задачи аналитические методы, рассматриваемые как альтернатива ММК. Предлагаемые аналитические методы предполагают оперирование с эквивалентными функциями распределения вероятностей не только исходных (нагрузка, располагаемая генерация), но и функционально зависимых от исходных промежуточных (сетевые потоки мощности и др.) случайных величин. При сравнении аналитических методов в качестве основного объекта анализа рассматривается концентрированная ЭЭС.

Для описания вероятностных свойств системы предлагается использовать комбинирование метода кумулянтов с разложением Грама-Шарлье или фон Мизеса. Основная цель использования метода кумулянтов - избежать сложную свертку функций распределения (ФР) входных переменных и заменить ее простой арифметической операцией сложения кумулянтов (семинвариантов). При этом, в случае свертки групп однотипных генераторов

особенно полезно аддитивное свойство кумулянтов. Объединение систем «генерация-нагрузка» реализуется суммированием их кумулянт. Используя метод Грама-Шарлье, путем аппроксимации в общем случае произвольной расчетной функции НР, формируется ФР дефицита мощности. Показано, что наиболее точным методом оценки вероятностных параметров ограничения нагрузки является метод свертки при раздельном учете генерации и нагрузки. Метод комбинирования кумулянт, ряда Грама-Шарлье и функции фон Мизеса значительно превосходит другие аналитические методы по точности решения. Для практического использования рекомендуется метод фон Мизеса, как достаточно точный и более простой с математической точки зрения.

Большое внимание в диссертационной работе уделено методам точечной оценки вероятностей моделируемых событий. Предлагается оригинальная модификация метода Хонга $M(2n+1)$, где дополнительно к классическим, описанным в литературных источниках множествам анализируемых событий предлагается включить блок событий, связанных с двойным наложением значимых событий. Это существенно повышает точность расчетов.

В третьей главе показано, что при расчетах надежности наиболее значимыми являются события, связанные с кратными отказами (одновременное отключение двух ЛЭП, одновременное отключение ЛЭП и наиболее мощного генератора в период максимальной нагрузки и др.). Действительно ЭЭС проектируются так, чтобы при аварийном отключении любого элемента ЭЭС не нарушалось электроснабжение потребителей электроэнергии (критерий N-1). Отсюда единичные отказы практически не оказывают влияния на ПБН ЭЭС. Однако кратные отказы имеют чрезвычайно малую вероятность (при вероятности отказа одной ЛЭП $q=10^{-3}$ вероятность одновременного отказа двух ЛЭП $q=10^{-6}$). При этом для представительной идентификации такого события ММК требуется не менее 10^8 испытаний, что приводит к практической нецелесообразности использования ММК из-за недопустимо большой длительности расчетов. Требуется модификация классического ММК с целью исключения из расчетов незначимых событий. Именно этому посвящена третья глава диссертации.

Использование выборки по значимости (ВпЗ) является эффективным механизмом снижения дисперсии результирующих показателей в ММК. ВпЗ позволяет выделить ту область значимых событий, в которой события, приводящие к ограничению нагрузки, имеют большие вероятности возникновения, чем в исходных распределениях. Однако формирование множества значимых событий на основе теоретически идеальной плотности выборки по значимости» (ПВпЗ), позволяющее достичь нулевую дисперсию при идентификации редких событий, является непростой задачей. Здесь требуется а priori знать области потенциальных отказов. Для аппроксимации оптимальной ПВпЗ применён кросс-энтропийный метод (КЭМ).

В диссертационной работе КЭМ рассмотрен с двумя модификациями: с дискретной (классический КЭМ) и адаптивной (модифицированный КЭМ (МКЭМ)) индикаторной функцией. Процесс расчёта по схеме классического КЭМ состоит из двух этапов. На первом этапе идентифицируются ПВпЗ узловых нагрузок и генераций. На втором этапе, полученные ПВпЗ используются для сэмплирования состояний узловых генераций и нагрузок и рассчитываются ПБН ЭЭС.

Основной научной новизной диссертационной работы является описанная в главе 3 модификация КЭМ, заключающаяся в том, что классическая критериальная сигмоидальная функция с дискретным изменением уровней заменяется кривой нормального распределения с варьируемыми математическим ожиданием и дисперсией. Авторство предлагаемого метода подтверждается публикацией в журнале Mathematics квартиля Q1. В работе показано, что основным преимуществом данного метода является его более надежная мягкая сходимостъ. Сопоставительные расчеты позволяют считать предлагаемый метод предпочтительным для практических расчетов.

В четвертой главе, предложено решение двух основных задач, возникающих при учете ВИЭ, а именно: как согласовать моделирование генерирующей мощности ВИЭ и мощности электроприемников, и возможно ли оценить надежность ЭЭС со значительной долей ветровых и солнечных электростанций описанным в главе 3 методом МКЭМ.

Показано, что для учета ВИЭ при расчете ПБН сложной системы, в первую очередь, необходимо адаптировать стохастическую модель таким образом, чтобы она позволила максимально точно отобразить все статистические характеристики энергоносителей (скорости ветра, солнечного излучения, температуры) и согласовать их с реальными наблюдениями нагрузок. Фактор времени учитывается при анализе суточных графиков нагрузки и их согласованием с вероятностными характеристиками возобновляемых энергоносителей.

К работе прилагается официально разосланный в установленные сроки автореферат диссертации на 23 страницах.

Степень обоснованности и достоверности научных выводов, положений и рекомендаций

Достоверность и обоснованность сделанных в диссертационной работе научных выводов и рекомендаций достаточно убедительно подтверждена использованием системного подхода, а также методов теории электроэнергетических систем. Корректность и эффективность разработанных моделей и методов оценивалась проведением численных экспериментов на тестовых и реальных схемах и подтверждена непротиворечивостью полученных результатов и теоретических выводов, во многом совпадающих с решениями, применяемыми в практике. Полученные по авторской методике значения ПБН корреспондируются с результатами статистического анализа событий, связанных с дефицитом

мощности реальных ЭЭС. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, отвечает требованиям, предъявляемым к научным квалификационным работам.

Новизна научных результатов

Оппонент подтверждает, что отмеченные в автореферате и представленные ниже положения действительно можно характеризовать как научную новизну диссертационного исследования:

- С целью повышения эффективности выборки и улучшения сходимости ММК разработан основанный на кросс-энтропийном методе (КЭМ) модифицированный кросс-энтропийный метод (МКЭМ) и алгоритм формирования выборки по важности анализируемых событий. В основу МКЭМ положено адаптивное изменение параметров критериальной функции, обеспечивающее более высокую сходимость итерационного процесса выделения множества редких событий. Мягкая адаптация параметров позволяет более полно учесть дефицитные состояния ЭЭС, связанные с частичным ограничением электропотребления.

• Для повышения эффективности выборки коррелированной вероятностной модели ВИЭ и спроса предложено и обосновано комбинированное использование предлагаемого метода МКЭМ и многомерной Гауссовской смеси (МГМС).

Практическая значимость работы

Работа полностью ориентирована для решения основных технических проблем, вызванных внедрением в энергосистеме Египта распределённой генерации на базе ВИЭ. Разработанные математические методы и процедуры могут быть использованы при разработке программных комплексов расчета ПБН реальных ЭЭС с возобновляемыми источниками энергии.

Апробация работы и подтверждение опубликования основных положений работы

Результаты исследований апробированы участием автора на 4 международных и всероссийских научно-практических конференциях (2018-2020 гг.). По результатам исследования опубликовано 7 научных работ, из них 2 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, определённых ВАК и Аттестационным советом УрФУ. 5 статей опубликованы в зарубежных изданиях, входящих в международные базы цитирования Web of Science и Scopus.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении ученых степеней»

Диссертационная работа Абдель Менаем Амир Салах Хассан на тему: «Improving evaluation methods of adequacy for renewable energy integrated power systems» («Развитие методов оценки показателей балансовой надежности энергосистем с возобновляемыми источниками энергии») в полном объеме отвечает критериям, которые указаны в п. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой автором предложено новое научно обоснованное техническое решение в виде разработанных моделей и методов расчёта показателей балансовой надежности ЭЭС в локальных электрических системах с ВИЭ.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации имеются сведения о практической полезности результатов и рекомендации по использованию научных выводов. Полученные решения и выводы аргументированы.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы по следующим пунктам:

- п. 2. «Разработка методов анализа режимных параметров основного оборудования электростанций»;
- п. 4. «Разработка методов оценки надежности электрооборудования, структурных схем и схем распределительных устройств электростанций»;
- п.6. «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике»;
- п.11. «Разработка методов анализа структурной и функциональной надежности электроэнергетических систем и систем электроснабжения».
- п.13. «Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике».

Основные положения опубликованы в 7 печатных работах, в том числе в 2 работах, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК и Аттестационным советом УрФУ, включая 5 статей в зарубежных изданиях, входящих в международные базы цитирования Web of Science и Scopus.

Диссертация отвечает требованию указания ссылок на заимствованные материалы или отдельные результаты.

8. Основные замечания по работе

8.1 Автор справедливо указал, что «Фактор балансовой надежности играет решающую роль в процессе принятия решений при планировании развития ЭЭ». Однако на стадии проектирования основной задачей является обоснование размера резервов и их размещения по узлам ЭЭС для обеспечения требуемого уровня балансовой надежности. Однако в работе не указаны значения ПБН для ЭЭС РФ и энергообъединений других стран, размеры резервов или иные показатели.

8.2. Указывая на необходимость оценки «эффективности систем электроснабжения потребителей» автор не указал соответствующие индикативные показатели применяемые для этого – SAIDI, SAIFI, CAIDI прочие. Нельзя согласиться с автором, что для этого «в рамках принятых стандартов для всех узлов электропотребления может быть оценена как приемлемая или неприемлемая по критериям надежности», т.к. нормативных значений для этих показателей не устанавливается.

8.3. В качестве детерминированных ПБН используются коэффициенты резервирования, которые определяются расчетным образом для объединенных энергосистем с генераторами разного типа и величины и с определенной структурой нагрузок, графики которой имеет различную плотность и неравномерность. Чем обусловлено, что в работе нагрузка моделируется НР независимо от структуры электропотребления?

8.4. Автор заметил, что ошибки в определении ПБН «не позволяют адекватно отразить эксплуатационные риски, с учетом вероятности проявления тех или иных событий». Однако в работе определяются показатели вероятности нахождения ЭЭС в тех или иных состояниях. Следует уточнить с чем связаны эксплуатационные риски и каким образом предлагается их снизить?

8.5. В качестве вероятностных ПБН в работе основное внимание уделено : вероятности потери нагрузки (LOLP); ожидаемой недопоставленной мощности (EPNS) и показателю SPNS, не определенного в диссертации и автореферате. Каким из указанных в СТО 59012820.27.010.005-2018 «Методические указания по проведению расчетов балансовой надежности» показателям они соответствуют?

8.6. В работе сопоставляются различные существующие и предложенные автором методы расчетов показатели ПБН. В качестве одного из аргументов для их сопоставления служит длительность расчетного процесса. Однако требуется пояснить, для решения каких задач критично время расчета ПБН, которые определяются на год, а не на каждый день или час?

8.7. Важно понять насколько упрощенные аналитические методы расчетов ПБН, которыми пользуются проектировщики, уступают предложенным в работе, учитывая, что резервные агрегаты имеют дискретные значения? Насколько повышение точности и сокращение продолжительности расчетов ПБН влияет на решения по обеспечению нормативных показателей?

8.8. Как автор относится к существующему в России положению, когда источники работающие на ВИЭ не учитываются в балансе мощности и следовательно не влияют на расчет ПБН и обоснование резервов?

8.9. В формуле $I_F(x_i) := \begin{cases} 1 & \text{for } \sum_{d=1}^D V_d(x_i) > 0; \\ 0 & \text{for } \sum_{d=1}^D V_d(x_i) = 0; \end{cases}$

ошибка, т.к. $I_F(x_i) = 0$ при $\sum_{d=1}^D V_d(x_i) \leq 0$,

Замечания существенно не влияют на основные научные и теоретические результаты диссертации и имеют уточняющий, рекомендательный характер.

9. Общее заключение

Представленная диссертационная работа Абдель Менаем Амир Салах Хассан является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое научно обоснованное техническое решение задачи оценки балансовой надежности электроэнергетических систем с ВИЭ. Обладает внутренним единством, научной новизной и практической значимостью.

Разработанные модели и методы расчёта показателей балансовой надежности распределительных электрических сетей с ВИЭ являются решением важной научно-технической задачи отраслевого значения. Предложенные автором диссертации решения достаточно аргументированы.

Содержание диссертации полностью соответствует поставленным задачам и отражает последовательность их решения. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчётов, написана логичным, понятным языком, по каждой главе в работе сделаны чёткие и аргументированные выводы.

Основные научные результаты диссертации изложены в 7 печатных работах, опубликованных как в соавторстве, так и самостоятельно; 2 из них в изданиях, рекомендованных ВАК. Результаты работы докладывались на 4 конференциях и семинарах различного уровня. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и разработанным теоретическим положениям, научной новизне полученных результатов и их практической значимости с учётом сведений об апробации, публикациях и внедрении.

Это даёт основание утверждать, что диссертационная работа на тему: «Improving evaluation methods of adequacy for renewable energy integrated power systems» («Развитие методов оценки показателей балансовой надежности энергосистем с возобновляемыми источниками энергии») полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ, а её автор Абдель Менаем Амир Салах Хассан заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент



Бык
Феликс Леонидович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизированных электрических систем»,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск»

630073, Россия, г. Новосибирск,
пр. К.Маркса, д. 20.;

Телефон: +7-913-771-91-35;
e-mail: felixbyk@hotmail.com

Дата 10. 06. 2021

Подпись Быка Ф.Л. заверяю

