



**Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»**

111 250, Москва, проезд Завода Серп и Молот,
дом 10, офис 608, Тел. (495) +7 495 012 60 07
E-mail: dtv@nts-ees.ru, <http://www.nts-ees.ru/>
ИНН 7717150757

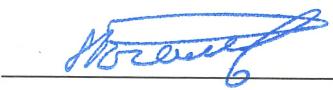


Основана в 1724 году

**Российская Академия Наук
Секция по проблемам НТП в энергетике
Научного совета РАН по
системным исследованиям в энергетике**

УТВЕРЖДАЮ

Президент, Председатель
Научно-технической коллегии,
д.т.н., профессор



«11» декабря 2022 г.
Н.Д. Рогалев

ПРОТОКОЛ № 9

совместного заседания Секции «Активные системы распределения
электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» и
Секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по
системным исследованиям в энергетике на тему: «**Особенности оценки
балансовой надёжности и обоснования уровня резервирования
генерирующей мощности энергосистем при интеграции распределенной
генерации и возобновляемых источников энергии**»

23 декабря 2021 года

г. Москва

Присутствовали: члены секции «Активные системы распределения
электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», сотрудники
НП «НТС ЕЭС», АО «НТЦ ФСК ЕЭС», ФГБУН «ИНЭИ РАН», ФГБОУ ВО
«НИУ МЭИ», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», ИСЭиЭПС ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ФГАОУ ВО «УрФУ»,
ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический
университет», ФГБОУ ВО «Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева», ПАО
«Россети ФСК ЕЭС», ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И.
Канта», ООО «Интеллэнергия», ООО «ВИЭСХ – ВИЭ», ООО НПП «ЭКРА»,
всего **44** человека.

Со вступительным словом выступил председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН», д.т.н. Илюшин П.В.

Во вступительном слове было отмечено, что во многих странах мира тренд на децентрализацию энергетики ведет к увеличению количества и суммарной установленной мощности генерирующих установок, включая установки на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), функционирующих в составе распределительных сетей. В России в последние годы наблюдается рост вводов в эксплуатацию ветровых (ВЭС) и солнечных (СЭС) электростанций, и прогнозируется массовый ввод микрогенерации. В соответствии с текущими планами до конца 2024 г. в России должны быть введены в эксплуатацию ВЭС и СЭС суммарной установленной мощностью 5,3 ГВт. В этом случае в некоторых энергосистемах доля ВИЭ приблизится к 15 % от суммарной установленной мощности. В перспективных планах на 2025-2034 г.г. объемы строительства ВЭС и СЭС составляют около 6-8 ГВт. Учитывая нестационарный характер выработки электроэнергии ВИЭ в энергосистемах необходимо наличие генерирующего оборудования, имеющего достаточную величину горячего резерва для его компенсации. Принимая во внимание один из показателей надежности ВИЭ – среднее время между вынужденными отключениями, которое в 6-12 раз меньше, чем у крупных газотурбинных парогазовых энергоблоков, в энергосистемах необходимы высокоманевренные энергоблоки на невозобновляемых источниках энергии, которые могли бы резко увеличивать выдачу активной мощности при возникновении аварийного дефицита. Следовательно, вопросы обеспечения балансовой надежности и обоснования уровня резервирования генерирующих мощностей в условиях трансформации электроэнергетики России является особенно актуальным.

С докладом «**Особенности оценки балансовой надёжности и обоснования уровня резервирования генерирующей мощности энергосистем при интеграции распределенной генерации и возобновляемых источников энергии**» выступил Крупенёв Дмитрий Сергеевич, к.т.н., заведующий лабораторией «Надёжность топливо- и энергоснабжения» Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук.

Основные положения доклада приведены ниже. Презентация доклада прикладывается (**Приложение 1**).

В современных условиях развития электроэнергетических систем (ЭЭС) вопросы обеспечения их надёжности становятся всё более актуальными по

следующим основным причинам: возрастающая роль электроэнергии в жизни людей, возрастающие требования потребителей; усложнение управления функционированием, планированием работы и перспективным развитием ЭЭС, прежде всего связанное с интеграцией в ЭЭС распределённой генерации и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), созданием цифровых систем управления ЭЭС, интеграцией в ЭЭС систем накопления энергии, преобразованием потребителей электроэнергии (управление спросом, электротранспорт), развитием водородных технологий и др.

В отношении развития распределённой генерации в России официальных статистических данных нет, поэтому приходится принимать во внимание экспертные оценки. Если проанализировать имеющуюся статистику по малой генерации (до 25 МВт), то таких источников, работающих в составе ЕЭС России на 2020 г. было порядка 3,2 % от установленной мощности. Хотя их распределение по ОЭС неравномерное, например, в ОЭС Северо-Запада 6,2 % от установленной мощности, а в ОЭС Средней Волги 2,3 %. В целом можно заключить, что это направление только начинает свое развитие в России.

Относительно развития ВИЭ в России можно сделать вывод, что это направление слабо развито (в 2020 г. в ЕЭС России доля ВИЭ от установленной мощности была на уровне 1,1 %). Планы развития ВИЭ в ЕЭС России следующие, согласно данным «Схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2021 – 2027 гг.» доля ВИЭ в 2027 году возрастет до 2,2 %, а по оценкам Минэнерго России к 2050 году доля ВИЭ в балансе мощности в ЕЭС России составит 12,5 %.

Представленные направления развития электроэнергетики, в том числе направления развития ЕЭС России, формируют ряд требований к методическому аппарату оценки балансовой надёжности. Основными требованиями являются: более детальное представление структуры ЭЭС, повышение адекватности моделирования процессов в ЭЭС, применение эффективных математических методов и цифровых технологий.

Под балансовой надежностью понимается свойство ЭЭС удовлетворять требования потребителей в пределах заданных значений и ограничений на поставки энергоресурса, с учетом запланированных и незапланированных перерывов в работе его элементов и эксплуатационных ограничений. При оценке и оптимизации балансовой надёжности, как правило, рассматривается только основная структура ЭЭС, без учета распределительной сети, потребители электроэнергии и мощности эквивалентируются на шинах понизительных подстанций 220 кВ (в некоторых случаях 110 кВ). При широком развитии распределённой генерации для адекватной оценки балансовой надёжности необходимо принимать во внимание и отдельные участки распределительной

сети с наличием распределённой генерации. Таким образом, при оценке балансовой надёжности расчетная схема может быть представлена разными способами. Каждый последующий способ представления усложняет расчетную схему ЭЭС. Самый простой способ представления ЭЭС – это представление одной зоной надёжности, при этом сетевая часть вообще не учитывается, оценку балансовой надёжности можно провести максимально просто, применяя как метод Монте-Карло, так и аналитические методы. При этом в структуре генерации можно учесть распределённую генерацию и ВИЭ. Следующий способ представления расчетной модели ЭЭС – это учет ограничивающих передачу активной мощности сечений основной сети, при этом схема ЭЭС представляет многозонную модель. Предполагается, что внутри каждой зоны надёжности не возникает ограничений при вероятных перетоках активной мощности. Для крупных энергосистем, например, ЕЭС России, подобная расчетная схема может содержать несколько сотен зон надёжности. Подобное представление повышает адекватность расчетной модели реальным условиям работы ЭЭС, но все же имеет ряд допущений и упрощений. Третьим способом представления расчетной модели ЭЭС является представление по элементам основной структуры, с учетом особенностей выдачи мощности распределённой генерации и ВИЭ.

При оценке балансовой надёжности принимаются некоторые особенности и допущения:

- под отказом системы понимается событие перехода ЭЭС в любой режим, характеризующийся дефицитом мощности. Принимается, что автоматика и персонал обусловили введение дефицитного режима в допустимую область, рационально использовав все имеющиеся возможности по снижению величины дефицита и ограничив потребителей на минимально возможную величину;
- плановые ремонты ЛЭП могут учитываться в соответствующих расчетных интервалах совместно с аварийными (путем увеличения относительной длительности простоя в ремонтах);
- считается, что используются все виды резервов (включенный и не включённый) и отказ системы определяется общим или локальным превышением нагрузки над всей генерируемой мощностью;
- дефицит мощности (недоотпуск электроэнергии) определяется глобальной или локальной нехваткой генерируемой мощности. Такие формы существования дефицита, как снижение частоты в системе, напряжений на шинах потребителей, не рассматриваются;
- особенности режимов ГЭС, ГАЭС и ТЭС могут учитываться на уровне специального задания исходных данных по этим энергообъектам.

Основными исходными данными при оценке показателей балансовой надежности ЭЭС являются: топология расчетной модели ЭЭС, почасовые

графики потребления мощности в зонах надёжности ЭЭС, нерегулярные колебания нагрузки в зонах надёжности ЭЭС, состав и располагаемая мощность генерирующих агрегатов в зонах надёжности ЭЭС, нормативы на проведение плановых ремонтов генерирующих агрегатов, коэффициенты аварийности генерирующих агрегатов, ограничения располагаемой мощности генерирующего оборудования, состав, нормативы потерь и длины ЛЭП в межзонных связях, МДП межзонных связей (контролируемых сечений) нормальной и ремонтных схем, показатели аварийности ЛЭП.

Методика оценки балансовой надёжности ЭЭС на основе метода Монте-Карло состоит из следующих основных вычислительных блоков:

1. Вероятностный блок, в котором проводится учет простоев энергетического оборудования в плановых ремонтах и формирование достаточного для достижения заданной точности количества расчетных состояний ЭЭС за оцениваемый период.

2. Блок оптимизации режимов расчетных состояний, в котором проводится минимизация дефицита мощности для каждого расчетного состояния ЭЭС.

3. Блок вычисления показателей балансовой надежности.

Учет ВИЭ (ветровых и солнечных электростанций – ВЭС и СЭС соответственно) возможен несколькими способами: по фактическим статистическим данным о выдаче мощности действующими ВЭС и СЭС; при оценке планируемых ВЭС и СЭС – моделируя надёжность ВЭС и СЭС, а также активность первичного энергоресурса: скорость ветра и солнечную радиацию.

Формирование каждого случайного состояния ЭЭС происходит путем определения состояний всех активных элементов ЭЭС. Для моделирования ВЭС и СЭС при оценке балансовой надёжности ЭЭС была разработана методика, которая состоит из следующих этапов:

1. Составление рядов распределения вероятностей работоспособных и неработоспособных состояний ВЭС и СЭС. В этих рядах распределения учитывается надёжность всего оборудования электростанций (силовых элементов, контроллеров, инверторов) и структура их соединения.

2. Составление часовых рядов распределения интенсивности первичного энергоресурса в районе расположения ВЭС и СЭС. Эта задача является самостоятельно емкой и для её удовлетворительного решения необходимо делать обработку репрезентативной выборки по интенсивности первичного энергоресурса, а также применять специализированные методы для прогнозирования интенсивности энергоресурса, учитывая корреляционные зависимости действия природных явлений в различных регионах.

3. Преобразование рядов распределения интенсивности первичного

энергоресурса в ряды распределения мощности генерирующих элементов. Эта операция проводится на основании паспортных данных ветроэнергетических установок и фотоэлектрическим систем.

4. Получение ряда распределения вероятностей значений генерирующей мощности ВЭС и СЭС проводится путём перемножения ряда распределения вероятностей работоспособных и неработоспособных состояний ВЭС и СЭС и ряда распределения интенсивности первичного энергоресурса.

5. На заключительном этапе моделирования проводится определение значений генерирующей мощности ВЭС и СЭС в конкретный момент времени на основании метода Монте-Карло, которое переходит на следующий этап оценки балансовой надёжности.

Одним из методов повышения вычислительной эффективности (скорости и точности вычислений) методики оценки балансовой надёжности ЭЭС на основе метода Монте-Карло является применение эффективных генераторов случайных чисел. Так как разработка и применение в расчетах генератора случайных чисел является трудной задачей, то на практике используются генераторы квазислучайных (генерация последовательности чисел, обладающих максимальной равномерностью на заданном интервале) и псевдослучайных (генерация последовательности чисел, обладающих свойствами случайных чисел: независимость, равномерность заполнения области и др.) чисел. Основными требованиями к таким генераторам являются максимально длинный период цикличности, максимальная независимость получаемых чисел, равномерность распределения получаемых чисел, быстрота работы алгоритма и малые затраты памяти.

Насчитывается более 30 алгоритмов генерации псевдослучайных чисел, включая как оригинальные алгоритмы, так и их модернизации. Наиболее используемые современные алгоритмы с доказанной эффективностью: Mersenne Twister (Вихрь Мерсенна), Xorshift, конгруэнтный генератор с перестановками (PCG). Алгоритмов, генерирующих квазислучайные последовательности, немного – около 5-10, все они основаны на получении точек в различных гиперфигурах (гиперсфера, гиперкубы и пр.). Были проанализированы: LP τ -последовательности (последовательности Соболя), последовательности Холтона, Хаммерсли, Рихтмайера и Нидеррайтера. Из всех проанализированных генераторов наиболее лучшие оценки показал генератор квазислучайных чисел LP τ -последовательности (последовательности Соболя).

Следующим рассмотренным способом повышения вычислительной эффективности методики оценки балансовой надёжности было применение методов машинного обучения для решения двух задач. Первая задача – это сокращение числа анализируемых случайных состояний системы. Этого можно

добраться, используя методы машинного обучения, которые используются для решения задачи классификации расчетных состояний ЭЭС. Были применены метод опорных векторов и метод случайного леса. Результат этого анализа показал, что оба метода позволяют добиться сокращения числа анализируемых состояний, а именно эффективно классифицировать состояния ЭЭС, при этом наилучшую эффективность показал метод случайного леса. Следующая задача является задачей регрессии. Она заключается в определении дефицитов мощности в зонах надёжности без их прямого вычисления. Был применен предложенный вариант модификации методики оценки балансовой надёжности методом Монте-Карло с помощью многозадачной регрессии. В её основе были использованы линейный метод, метод случайного леса, градиентный бустинг, и проведен анализ эффективности их применения. Результат анализа показал, что многозадачная регрессия позволяет добиться более высокой скорости расчёта, чем при использовании обычной методики. Прирост для наиболее эффективного метода составил в среднем 2-2,5 раза для крупной схемы, для малой схемы удалость добиться прироста примерно на 10 %. Отклонение получаемых результатов при этом сохраняется в пределах 5-7 % от эталонных, однако дисперсионный анализ говорит о более точной работе случайного леса. Полученные результаты доказали эффективность новой методики, позволяющей добиться более высокой вычислительной эффективности.

Для корректной оценки балансовой надёжности ЭЭС необходимо применять адекватные модели минимизации дефицита мощности, максимально точно отражающие реальные процессы в ЭЭС. В рамках развития методического аппарата оценки балансовой надёжности был проведен анализ существующих моделей минимизации дефицита мощности, предложены их модификации и разработаны способы их решения. Было выявлено, что применение линейных постановок приводит к значительным погрешностям в результатах. Повысить точность при этом возможно за счет учета матриц сетевых коэффициентов. Наиболее точные результаты могут быть получены при применении нелинейной модели минимизации дефицита мощности, где потери мощности при её передаче имеют квадратичную зависимость от квадрата передаваемой мощности, с учетом матриц сетевых коэффициентов. Для повышения скорости вычислений был разработан алгоритм распараллеливания вычислений.

На основании оценки балансовой надёжности решается задача оптимизации балансовой надёжности. Задача оптимизации (синтеза) балансовой надежности ЭЭС состоит в определении оптимального состава генерирующего и сетевого оборудования, необходимого для покрытия графика электропотребления, с учетом колебаний нагрузки, отказов и ремонта оборудования и других случайных факторов, оказывающих влияние на

надёжность электроснабжения. Сетевое и генерирующее оборудование состоит из отдельных элементов, которые характеризуются различными конечными свойствами и параметрами. При этом оптимизацию можно проводить как для ЭЭС с недостаточным уровнем надёжности, так и для ЭЭС с избыточным уровнем надёжности. В первом случае необходимо усиливать основную структуру ЭЭС, а во втором определить те элементы, без которых есть возможность обеспечить требуемый уровень надёжности ЭЭС и которые являются самыми неэффективными по экономическому критерию или в сочетании с другим критерием, например, экологическим. Также при рассмотрении основной структуры ЭЭС возможно сделать декомпозицию задачи и рассматривать отдельно генерирующую и сетевую части. Для решения задачи оптимизации балансовой надёжности был использован алгоритм марковской цепи Монте-Карло. Алгоритм основывается на имитации физического процесса, который происходит при отжиге металлов. При помощи моделирования такого процесса ищется такая точка (набор энергетического оборудования и структура ЭЭС) или множество точек, в которых достигается минимум некоторой числовой функции. Решение ищется последовательным вычислением значений целевой функции; каждое значение, начиная с начального, «претендует» на то, чтобы лучше предыдущих приближать решение к намеченной цели. Рассматриваемый алгоритм заключается в выборе начального состояния системы (под состоянием понимается некоторый состав генерирующих агрегатов из множества начальных генерирующих агрегатов системы), оно может быть выбрано случайным образом или же полный состав генерации может служить начальным состоянием, для которого оценивается балансовая надёжность. Далее на каждой итерации повторяются следующие шаги:

1. На основании метода Монте-Карло генерируется новое случайное состояние ЭЭС, если не превышен лимит итераций, в противном случае расчёт останавливается.

2. Для нового состояния ЭЭС выполняется решение задачи оценки балансовой надёжности с получением вероятности бездефицитной работы, проверяется выполнение условия о соблюдении нормативного значения вероятности бездефицитной работы. Если она в одной или совокупности зон надёжности приняла значение меньше норматива, то это состояние не анализируется и повторяется действие предыдущего шага.

3. Новое значение целевой функции и предыдущее используются для вычисления вероятности принятия шага, в соответствии с распределением Гиббса. Полученное значение вероятности принятия шага сравнивается со случайно сгенерированным числом. На основании этого сравнения новое состояние системы становится или не становится лучшим на момент расчета.

В обсуждении доклада и прениях выступили: Тягунов М.Г (ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ»), Бык Ф.Л. (ООО «Интеллэнергия»), Чукреев Ю.Я. (ФГБУН «ИСЭиЭПС» ФИЦ Коми НЦ УрО РАН»), Елистратов В.В. (ФГАОУ ВО «СПбПУ»), Шеповалова О.В. (ООО «ВИЭСХ – ВИЭ»), Дильман М.Д. (ФГБУН «ИНЭИ РАН»), Илюшин П.В. (председатель секции).

Тягунов М.Г. – Профессор кафедры «Гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии» ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», д.т.н., профессор.

Отметил, что вопросы обеспечения балансовая надёжности ЭЭС являются традиционно важными. При моделировании необходимо скорость ветра и солнечную инсоляцию представлять в виде случайного процесса. Нужно комплексно моделировать солнечные, ветровые и гидроэлектростанции, так как они все используют возобновляемые ресурсы, взаимосвязанные между собой.

Особо важным является адекватное рассмотрение гидроаккумулирующих станций и других накопителей энергии при оценке балансовой надёжности, так как на основании представленной методики есть возможность определять эффективность интеграции систем накопления энергии в ЭЭС.

Бык Ф.Л. – Директор ООО «Интеллэнергия», к.т.н., доцент.

Подчеркнул, что потребители прежде всего заинтересованы в обеспечении надёжности электроснабжения, которая может быть обеспечена при требуемом уровне балансовой надёжности. В связи с этим, если балансовая надёжность оценивается на уровне 0,996, то у конечных потребителей третьей категории требуется надёжность 0,9918.

Отметил, что требования к балансовой надёжности должны быть пересмотрены при развитии распределённой генерации, которая решает задачу обеспечения надежности электроснабжения. Обратил внимание, что при минимизации дефицита мощности необходимо учитывать режимные особенности работы ЭЭС и пропорциональность загрузки энергетического оборудования, а при моделировании ВЭС и СЭС необходимо учитывать корреляцию природных факторов на разных электростанциях.

Особенно выделил ряд методических продвижений, представленных в докладе, а именно анализ генераторов случайных чисел и применение методов машинного обучения.

Чукреев Ю.Я. – Директор ФГБУН «Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера» Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, д.т.н., старший научных сотрудник.

Обратил внимание, что важно обозначить иерархический и временной уровень рассматриваемой задачи, а также, что балансовая надёжность используется для решения задач планирования развития энергосистем, а расчеты балансовой надёжности проводятся для обеспечения электроснабжения в аварийных ситуациях.

Подчеркнул, что для иллюстрации корректности работы моделей минимизации дефицита мощности необходимо использовать примеры разной сложности, а для анализа генераторов случайных чисел необходимо использовать эталонные расчеты, как было правильно представлено в докладе.

Елистратов В.В. – Заместитель директора по научной работе Инженерно-строительного института, Директор Научно-образовательного центра «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе» ФГАОУ ВО «СПбПУ», д.т.н., профессор.

Подчеркнул широту и глубину рассмотренных в докладе вопросов. Отметил, что оценка эффективности интеграции ВИЭ в ЭЭС является одним из ключевых направлений на современном этапе развития ЭЭС.

Обратил внимание, что необходимо детально представлять схемы ВЭС и СЭС для учета особенностей их работы, а также максимально корректно формировать матрицы работоспособных и неработоспособных состояний и ряды распределения активности возобновляемых ресурсов. Сбор исходных данных и прогнозирование активности возобновляемого энергоресурса – это многоплановая и сложная задача, а изменчивость возобновляемого ресурса имеет территориальный, пространственный и временной характер.

При моделировании ВЭС и СЭС необходимо учитывать распределённую структуру инверторов, что позволит существенно повысить надёжность работы всей электростанции.

Шеповалова О.В. – Генеральный директор ООО «ВИЭСХ – ВИЭ», к.т.н.

Отметила, что представлена для рассмотрения очень объемная работа. В мире существует дефицит разработок по учету ВИЭ на системном уровне.

Обратила внимание, что необходимо корректно сформулировать понятие «отказ солнечной электростанции», а также корректно формировать схемы замещения по надёжности ВЭС и СЭС и учитывать все влияющие на выдачу мощности особенности ВЭС и СЭС.

Дильман М.Д. – Руководитель Центра прогнозирования НТП в энергетике и энергопотребления ФГБУН «ИНЭИ РАН», к.т.н.

Отметила, что произошли существенные изменения в энергосистеме,

которые необходимо учитывать при оценке надёжности, например, появились блоки генерации со сложной структурой.

Илюшин П.В. – Председатель секции «АСРЭ и РЭР», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН», д.т.н.

Подчеркнул, что в докладе затронуто много важных моментов, которые детально проработаны. Коллегами были заданы правильные вопросы, на которые необходимо обратить внимание и учесть в дальнейшей научной работе. При этом авторами было предложено применение целого ряд новых математических методов для решения задачи оценки балансовой надежности.

Следует детально проанализировать зарубежный опыт решения вопросов моделирования ВИЭ и распределённой генерации при оценке балансовой надёжности ЭЭС, а также уделить внимание вопросам прогнозирования выработки электроэнергии и мощности.

Заслушав выступления и мнения экспертов по результатам дискуссии совместное заседание Секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НТК НП «НТС ЕЭС» и Секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике отмечает:

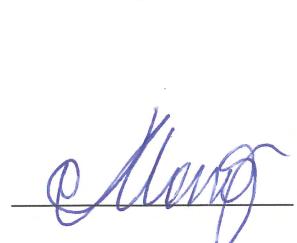
1. Важность и актуальность рассматриваемых в докладе задач по совершенствованию методического аппарата анализа и синтеза балансовой надёжности ЭЭС.
2. Необходимость более широкого обсуждения в научно-техническом сообществе рассматриваемых в докладе задач, а также учет международного опыта.
3. Глубокую проработку и научную обоснованность предлагаемых методов и подходов при решении задачи оценки балансовой надёжности ЭЭС.
4. Корректность развития математических моделей минимизации дефицита мощности ЭЭС, используемых при оценке балансовой надёжности.
5. Передовой опыт авторов доклада в исследованиях по использованию прогрессивных генераторов случайных чисел и методов машинного обучения при формировании и анализе случайных состояний ЭЭС в процессе оценки балансовой надёжности методом Монте-Карло.
6. Оригинальность подхода оптимизации балансовой надёжности (определения оптимальных резервов мощности, структуры и пропускной способности электрической сети) ЭЭС, основанного на алгоритме марковской цепи Монте-Карло.

Совместное заседание Секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НТК НП «НТС ЕЭС» и Секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике **решило**:

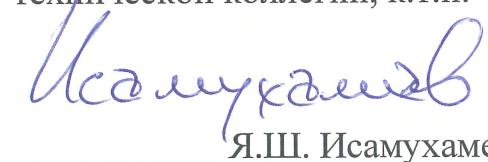
1. Рекомендовать коллективу авторов продолжить исследования в области моделирования возобновляемых источников энергии и анализа синтеза балансовой надёжности ЭЭС.
2. Рекомендовать проектным организациям и субъектам электроэнергетики рассмотреть возможность использования в текущей работе представленных в докладе результатов.
3. Рекомендовать автору выступить в 2022 г. на секции «АСРЭ и РЭР» НП «НТС ЕЭС», а также на других научных площадках и форумах, с более детальными докладами по отдельным вопросам, затронутым в докладе.

С заключительным словом выступил председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», д.т.н. Илюшин П.В., в котором отметил, что рассмотренные в докладе вопросы являются крайне важными на современном этапе трансформации электроэнергетики России. Особую актуальность приобретает задача корректного моделирования ВИЭ при оценке балансовой надёжности, так как от этого напрямую зависит обоснование необходимых резервов мощности на традиционных электростанциях, при увеличении объемов ВИЭ в структуре генерирующих мощностей, а также результаты оценки системных эффектов.

Первый заместитель Председателя
Научно-технической коллегии,
д.т.н., профессор

 В.В. Молодюк

Ученый секретарь Научно-
технической коллегии, к.т.н.

 Я.Ш. Исамухамедов

Председатель секции «АСРЭ и РЭР»
НП «НТС ЕЭС», ученый секретарь
Секции по проблемам НТП в энергетике
Научного совета РАН по системным
исследованиям в энергетике, д.т.н.



П.В. Илюшин

Ученый секретарь секции «Активные
системы распределения ЭЭ и РЭР»
НП «НТС ЕЭС»

 Д.А. Ивановский