

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рогалев Н.Д., Литвинов П.В., Прокофьев П.С., Молодюк В.В.

**Некоммерческое партнерство «Научно-технический совет
Единой энергетической системы»**

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР им. Ю.Н. Руденко

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

НАДЕЖНОСТИ БОЛЬШИХ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

95-е заседание

*«Надежность систем энергетики
в условиях современных вызовов и угроз»*

9 – 15 июля 2023 г.
оз. Байкал

Структура **доклада**

- Выбор траектории развития отрасли
- Риски и ограничения обеспечения надежности при использовании интеллектуальных информационных технологий
- Базовые технологии цифровой трансформации, концепция 6D
- Новая парадигма обеспечения надежности
- Текущее состояние и возможности интеллектуальных информационных технологий
- Выводы и предложения
- Энергетика завтрашнего дня



Информационные технологии – генератор перемен

Выбор траектории **устойчивого развития**

Повышение надежности, через использование современных ИТ технологий

Что может помешать устойчивому развитию электроэнергетики РФ?

▪ Серьезные ошибки в выборе траектории дальнейшего пути развития, главные из которых:

- упустить **возможности**
- не предусмотреть **риски**
- ошибиться в **прогнозах**

Лучше прогнозировать

Контекст, в котором мы находимся сегодня:

- Будущее все труднее предвидеть, события развиваются быстро и «турбулентно»
- Неравномерность достижений и технического прогресса в разных областях
- Усиливающееся соперничество (санкции суть недобросовестная конкуренция)

Повышать конкурентоспособность

Риски и ограничения, **существующие и новые**

постоянные

Риски электроэнергетики как отрасли:

- аварии и техногенные катастрофы
- природные катастрофы
- непредвиденные изменения в спросе
- снижение инвестиций, несовершенство рынка
- изменение цен на электроэнергию и энергоресурсы
- изменение законодательства
- отток специалистов
- ошибки в проектировании и производстве
- недостатки в строительстве

новые растущие

Необходимо прогнозировать при планировании развития:

- «**Декарбонизация и энергетический переход**», инициативы по введению трансграничного углеродного регулирования, а по сути, налога на экспорт ископаемого топлива;
- «**Санкции**» – это не только ограничение доступа к технологиям, но и недобросовестная конкуренция;
- «**Изменение климата**» – количество стихийных бедствий неуклонно растет во всех категориях: геофизические, метеорологические, гидрологические, что приводит к снижению надежности энергоснабжения и увеличению потребности в электроэнергии
- «**Киберугрозы**» – вредоносное воздействие на ИТ инфраструктуру может привести к массовым сбоям, даже повреждению первичного оборудования
- «**Терроризм**» – особенно в приграничных территориях. К сожалению и ВЛ и ОРУ подстанций очень уязвимы.

Глобальные экологические и климатические задачи, стоящие перед человечеством, политики упростили. Основной угрозой назвали глобальное потепление, основной причиной – выбросы углеводородов, а виновной, без долгих научных изысканий, назначили традиционную тепловую энергетику.

Базовые технологии цифровой трансформации

Технологии	Направления использования	Результаты использования новых технологий и их преимущества
Искусственный интеллект (AI)	Оптимизация	Разработка новых стратегий управления и энергосбережения
Машинное обучение (ML)	Диагностика	Выявление паттернов аномалий, предотвращение аварий
Интернет вещей (IoT)	Мониторинг	Сбор данных о состоянии энергосистем, оборудования. Ситуационная осведомленность в режиме реального времени. Умные счетчики
Цифровые двойники (Digital Twin)	Прогнозирование	Прогнозирование потребления электроэнергии. Анализ и оптимизация производственных процессов
Облачные вычисления (Cloud Computing)	Инфраструктура	Улучшенная гибкость и масштабируемость, быстрая адаптация к меняющимся требованиям ИТ инфраструктуры и программных средств
Виртуальная и дополненная реальность (VR/AR)	Обучение	Создание интерактивных симуляций, получение реалистичного опыта без потребности в фактическом доступе к оборудованию; визуализация
Большие данные (Big Data)	Аналитика	Оптимизация расходов, снижение затрат на обслуживание и ремонт оборудования. Определение причин сбоев в работе оборудования
Распределенный реестр (Blockchain)	Безопасность	Децентрализация данных; умные контракты. Прозрачные и безопасные операции для всех участников

Совместное применение дает синергетический эффект

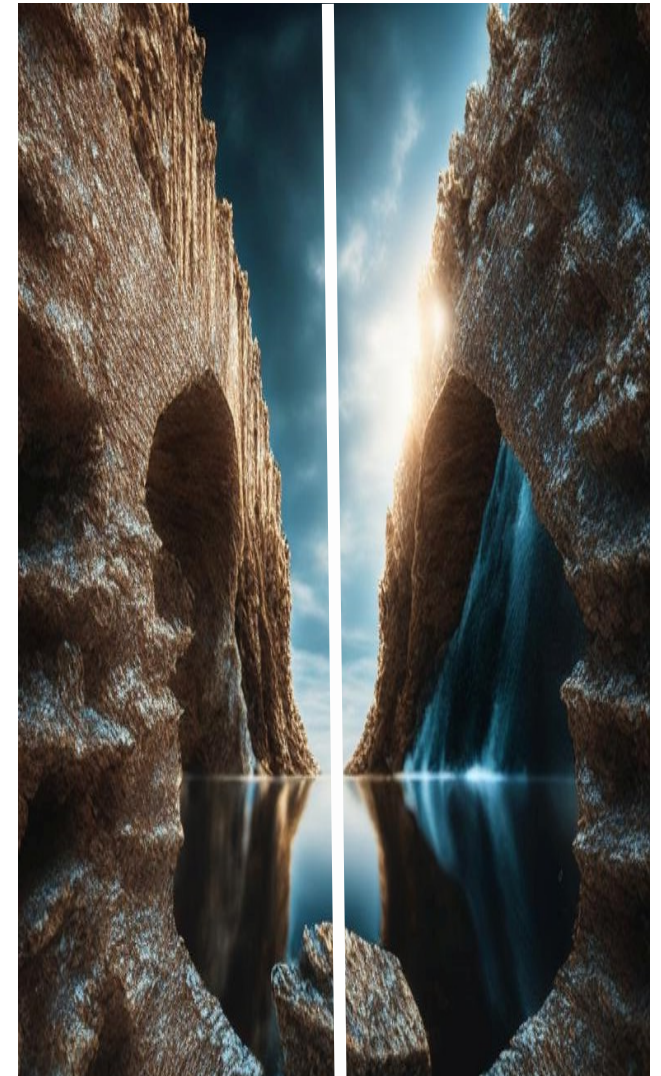
Концепция 6D для экспоненциальных технологий



Все современные IT технологии имеют признаки экспоненциальных

Новая парадигма **обеспечения надежности**

- ✓ Переход к **управлению надежностью** с оптимизацией совокупных расходов энергетиков и потребителей на обеспечение надежности (**экономические стимулы**)
- ✓ Потребители принимают максимально активное участие в управлении нагрузкой, локальной генерации и резервировании (**концепция интернета энергии или ЭНЕРНЕТ**)
- ✓ Современные достижения в области информационных и телекоммуникационных технологий становятся **фундаментом** интеллектуальных электрических сетей (ИЭС).
(прикладной уровень – набор технологий smart grid)
- ✓ Государственная политика, закреплённая в программе «Цифровая экономика РФ» (**новая регуляторная база**)

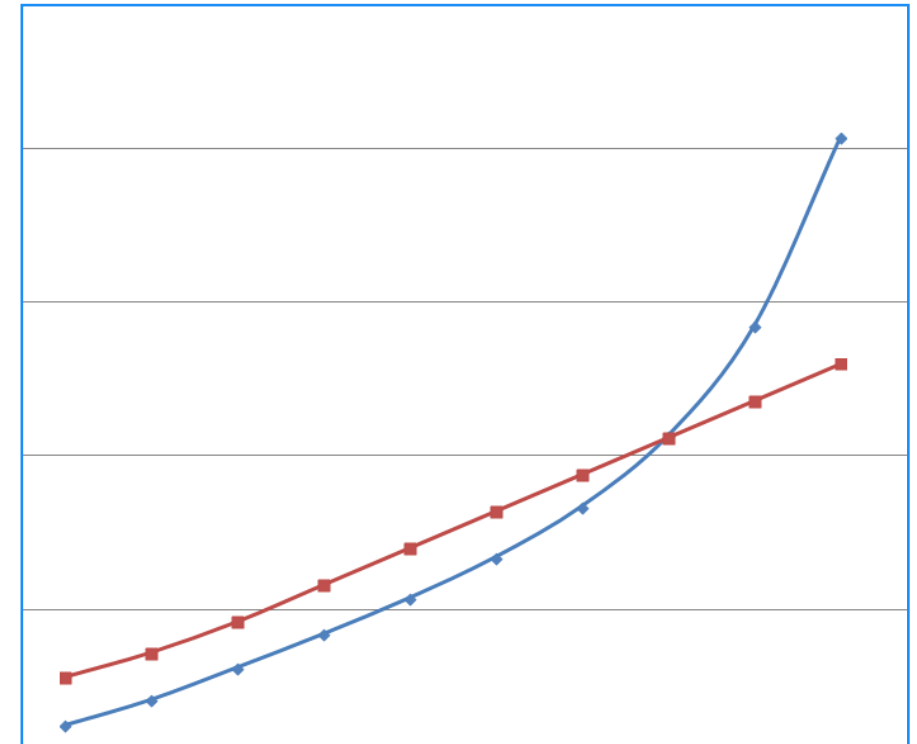


Эффект от перехода к **управлению надежностью**

$$\text{Риск} = \text{Вероятность (энергетики)} * \text{Ущерб (потребитель)}$$

- Задача энергетиков **уменьшить вероятность** перебоев в электроснабжении
Потребитель в свою очередь, должен принимать меры к **минимизации ущерба** от перерывов в электроснабжении.
- Это экономически целесообразно:
 - расходы на достижение и поддержание более высоких уровней надежности растут быстро и нелинейно (иногда экспоненциально!)
 - убытки от перерывов в электроснабжении, если предотвратить катастрофические последствия, линейно пропорциональны времени

—◆— Расходы энергетиков на повышение надежности
—■— Расходы потребителей на защиту от перебоев в электроснабжении



Как объединить существующие и **новые подходы?**

Начать можно с имитационного моделирования

- Методы расчетов структурной и балансовой* надежности электроэнергетических систем хорошо изучены и успешно применяются
- Результаты этих расчетов и существующую статистику отказов можно использовать для параметризации и верификации модели
- Можно начинать с верхнеуровневых моделей
- Брать в расчет только самые существенные факторы, влияющие на риски и гипотезы об их изменениях в ближайшие 10 лет.
- В качестве критерия, подлежащего оптимизации можно использовать совокупные расходы энергетиков и потребителей на компенсацию рисков.

В первом приближении составить реестр рисков и заполнить матрицу

Вероятность	Редко	Однажды	Случайно	Часто	Регулярно
Ущерб					
Незначительный	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow
Малый	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Orange
Умеренный	Light Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange
Большой	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
Катастрофа	Yellow	Orange	Orange	Red	Red

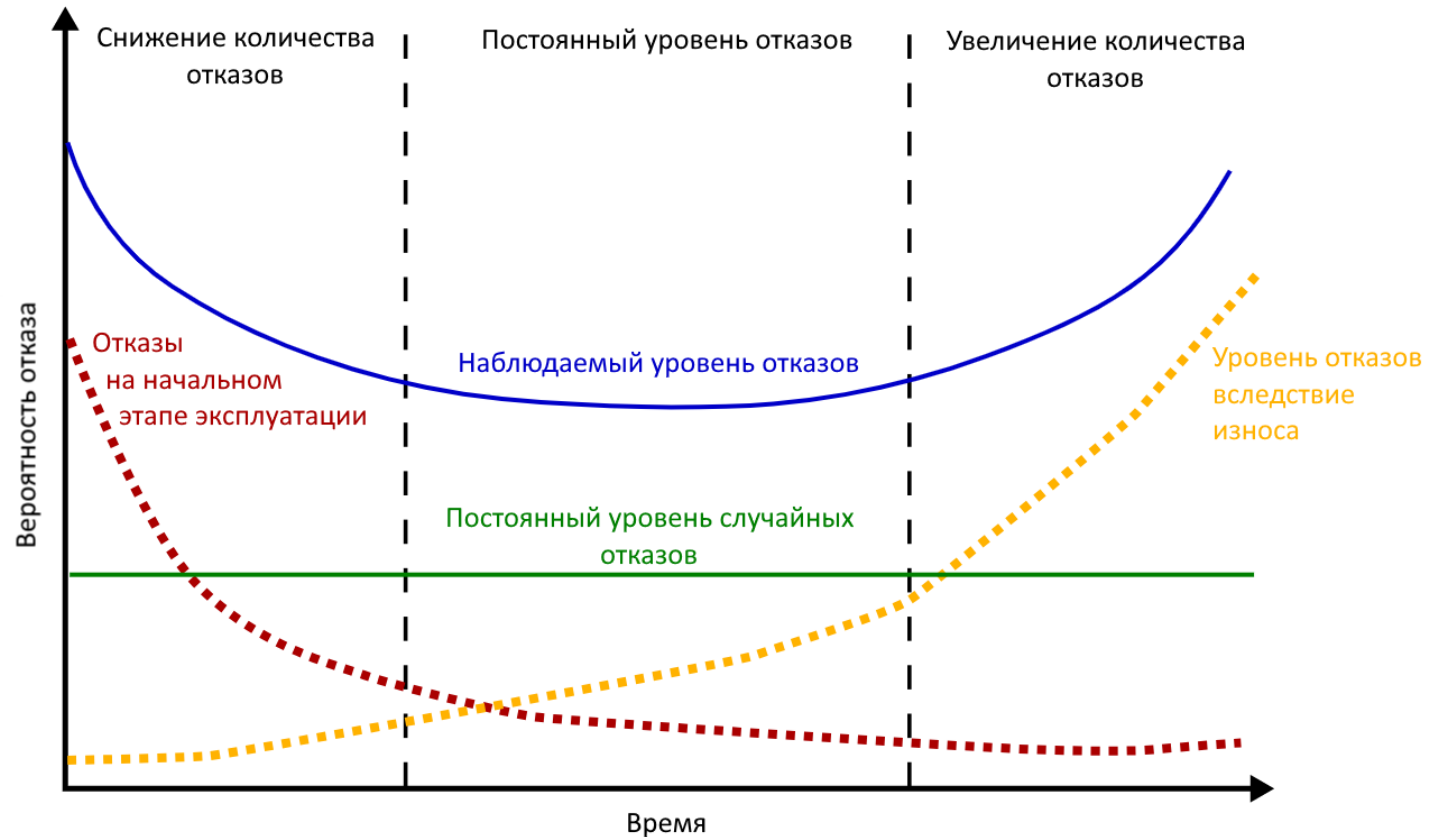
Задача сложная, вероятность и ущерб определяются суперпозицией влияющих факторов и причинно-следственных связей, являющихся сложной функцией времени. Одни события могут быть триггерами для других и (или) существенным образом влиять на вероятность и ущерб.

* СТАНДАРТ СТО 59012820.27.010.005-2018
«Методические Указания по проведению расчетов балансовой надежности»

Моделирование позволяет предвидеть последствия

Совсем неочевидно, но обновление и модернизация может временно снизить надежность

- На начальном этапе эксплуатации, когда идет «приработка», вероятность отказов больше
- Современное оборудование, при всех его достоинствах, как правило более уязвимо к кибератакам
- Качество обслуживания нового оборудования напрямую будет зависеть от уровня подготовки и опыта персонала. Готовых специалистов и программ обучения может не быть
- В начале эксплуатации еще мало данных о произошедших аварийных ситуациях и их причинах для статистического анализа и интерпретации



Зависимости вероятности отказа устройства от продолжительности его работы

Новые тренды – на службе надежности

Электроэнергия — это товар и услуга, поэтому цена должна зависеть от себестоимости, качества, сложности доставки и других характеристик*

- **Умные счетчики** и устройства IoT – позволят использовать гибкие тарифы, снизить потери, быстро выявлять нештатные ситуации и управлять нагрузкой в широких пределах;
- **Электротранспорт V2G** (Vehicle-to-Grid) – это новый потребитель и источник энергии* для балансировки нагрузки и резервирования;
- **Майнинг** – с точки зрения надежности – это источник постоянной регулируемой нагрузки. Только на биткоин расходуется ~120 ТВт·ч в год, это примерно потребление Швеции.

- Изменение структуры и характеристик электроприемников в бытовом потреблении:
 - Все шире используются аккумуляторы и led освещение – перерывы уже не так неприятны.
 - Импульсные источники питания не требуют качества электроэнергии по ГОСТ-у*
- **Использование ВИЭ** – мы можем и должны найти свой российский путь в этом тренде!
 - «второй фидер» для второй категории*;
 - возможность не строить ВЛ для удаленных потребителей малой мощности;
 - совместно с накопителями гарантировать бесперебойное питание собственных нужд.
- **Распределенная генерация и просьюмеры**
 - снижение нагрузки на сети;
 - «срезание» пиков энергопотребления;
 - еще один «АВР» для критических объектов.

** Необходимо изменение нормативной базы*

Положительные изменения регуляторной базы

Регуляторная база развивается и улучшается.
Вот несколько примеров:

- **Стратегия.** Распоряжение Правительства № 1523-р от 9 июня 2020 г. утвердило «Энергетическую стратегию Российской Федерации на период до 2035 года» (сроки действия Стратегии на период до 2030 года, утвержденной в 2009 г. еще на прошли)
- **Технократия.** Государственная политика, закрепленная в программе «Цифровая экономика РФ» стимулирует развитие информационных технологий
- **Независимость.** Электроэнергетика, как отрасль, проявила высокую устойчивость к санкциям. Достаточность ресурсов, высочайший уровень достижений в атомной энергетике, мероприятия по импортозамещению, сильная научная школа позволяют с уверенностью смотреть в будущее
- **Планирование.** Министерство энергетики Российской Федерации Приказом №108 от 28 февраля 2023 г. утвердило «Схемы и программы развития электроэнергетических систем России (СиПР ЭЭС) на 2023–2028 годы». Многократно улучшена процедура планирования, разработаны детальные «Методические указания»
- **Моделирование.** Постановление Правительства от 30 декабря 2022 г. № 2557 утвердило «Правила формирования и поддержания в актуальном состоянии цифровых информационных моделей электроэнергетических систем и перспективных расчетных моделей электроэнергетических систем для целей перспективного развития электроэнергетики»
- **Общая информационная модель.** АО «СО ЕЭС» будет предоставлять информационную модель энергосистемы в формате CIM (МЭК 61970 и МЭК 61968) для разработки ТЭО и проектирования на безвозмездной основе*

* «Планирование развития энергосистем», <https://www.so-eps.ru/future-planning/>

Интеллектуальные ИТ снижают стоимость надежности

- **Новые платформы разработки ПО позволяют:**
 - ускорить создание программного обеспечения;
 - выполнять кроссплатформенную разработку;
 - поддерживать процессы непрерывной интеграции (CI/CD; DevOps)

Часто не хватает постановщиков задач, понимающих современные возможности и их ограничения.

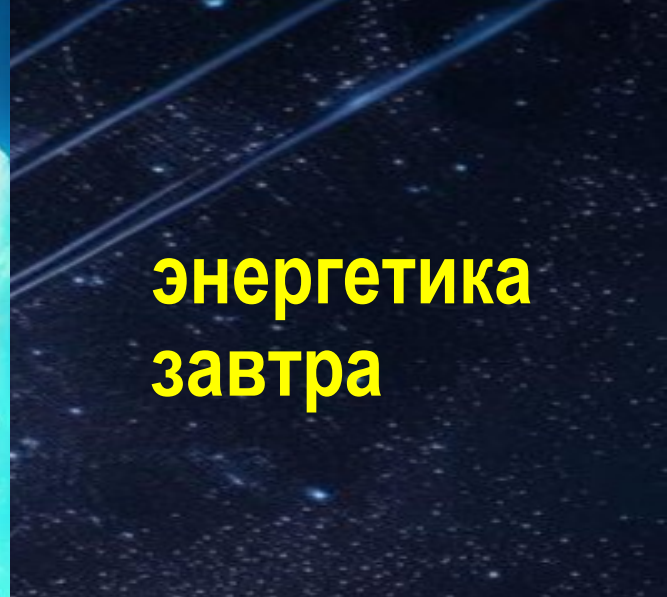
- **Средства мониторинга, машинное зрение.** Квадрокоптеры, снабженные камерами и лидарами могли бы автоматически контролировать состояние ВЛ и просек. Стационарные камеры - получать дополнительную и косвенную информацию о состоянии оборудования ОРУ и КРУ
- **Зарубежные САПР и научное ПО.** Использование вызывает обоснованное недоверие к расчетам. Можно параллельно использовать программы разных производителей и сравнивать результаты со своими.

- **Искусственный интеллект.** Его применение затрудняется в силу «необъяснимости», в то время как в энергетике процессы можно описать уравнениями и произвести расчеты. Но чем эффективнее мы будем делать отрасль, тем больше будет узлов, сложнее связи и расчеты для чисто «аналитического» решения
- **Генеративный ИИ.** Колоссальные объемы отраслевых знаний, опыта и идей, накопленные в научных статьях, диссертациях, результатах НИОКР, материалах CIGRE, патентах не используются. Работы дублируются и ведутся параллельно. Новые технологии индексации информации позволили бы создавать более компактные сущности с учетом знаний, опыта и потребности целевой аудитории
- **Имитационное моделирование.** Можно использовать для оценки надежности и производительности электрических систем, прогнозирования их поведения, анализа и управления рисками, оптимизации процессов и технологий, а также для обучения и тренировки персонала

Выводы и предложения

- **Смена парадигмы: от обеспечения надежности к управлению надежностью** – техническая, экономическая и законодательная поддержка новых отношений энергетиков-производителей и потребителей – Интернета энергии или ЭНЕРНЕТ
- **Цифровая трансформация на службе надежности**
– составить реестр возможностей современных интеллектуальных информационных и коммуникационных систем и трендов, которые можно использовать для повышения надежности
- **Онтология**
приступить к решению амбициозной задачи – перехода от словарей, таксономий, тезаурусов и тематических карт к отраслевой онтологии – новому уровню возможностей и семантической строгости (плюс машиночитаемость!)
- **Информационная база** – аккумулировать в базе данных колоссальные объемы отраслевых знаний, опыта и идей, накопленные в научных статьях, диссертациях, результатах НИОКР, материалах CIGRE, патентах посвященные теме надежности. Провести индексацию и анализ* с применением технологий Natural Language Processing, NLP

* Хороший шанс найти идеи, которые в прошлом было сложно реализовать и про них забыли



**энергетика
завтра**



**надо уметь
мечтать**



Желаем успешной работы на семинаре!

Молодым ученым –
смелости в генерации новых идей и упорства в их защите

Признанным авторитетам и опытным экспертам –
мудрости и гибкости в оценках

Всем участникам –
плодотворного общения,
споров и обмена мнениями

Будущее ближе чем кажется :)





НТС ЕЭС

НТС ЕЭС ▾

Новости

Коллегия ▾

Секции

События ▾

Публикации ▾

Партнеры ▾

Медиаотека ▾



Поиск

Некоммерческое партнерство
Научно-технический совет
Единой энергетической системы



НТС ЕЭС

Опыт, квалификация и
надежность

Спасибо за внимание!

[nts-ees.ru](https://www.nts-ees.ru)

[@ntsees](https://t.me/ntsees)

<https://www.nts-ees.ru>

<https://t.me/ntsees>