



Некоммерческое партнерство  
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ  
Единой энергетической системы»

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

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель научно-технической  
коллегии НП «НТС ЕЭС»,  
д.т.н. профессор

Н.Д. Роголев

« 10 » 06 2025 г.

## ПРОТОКОЛ

заседания секции «Интеллектуальные системы измерений и учёта энергоресурсов»

НТС ЕЭС по теме

Исследование эффективности применения цифровых измерительных трансформаторов

28.05.2025 г.

№ 25

г. Москва

**Заседание проводилось в комбинированном формате (очно и дистанционно).**

**Присутствовали:** 28 человек (список прилагается)

**На заседании выступили:**

Александр Васильевич Покатилов - председатель секции «Интеллектуальные системы измерений и учёта энергоресурсов» рассказал об участии в круглом столе НП «НТС ЕЭС» в рамках Российского международного энергетического форума (РМЭФ-2025). Александр Васильевич выступил в Санкт-Петербурге с докладом на тему «Обзор современной нормативной базы по средствам измерений с искусственным интеллектом. Возможности использования таких систем на крупных промышленных предприятиях». В докладе отмечалось неоднозначное отношение к искусственному интеллекту в целом, но сам доклад был о современной нормативной базе по искусственному интеллекту (далее – ИИ), то есть о ГОСТах, касающихся внедрения ИИ-систем в измерительные процессы, которые вступили в действие с января 2025 года. Была рассмотрена возможность применения таких решений на крупных промышленных объектах и актуальность внедрения ИИ в средства измерений. Докладчик обратил внимание на термин «машинное обучение» (англ. machine learning), который нашел широкое распространение среди русскоязычных

специалистов по ИИ. Правильный формально и по сути перевод с английского будет «обучение машин». Что исключает неправильное толкование процесса «как обучение человека с помощью машин». К тому же используемое сокращение МО уже «занято» в технической литературе для сокращения термина «метрологическое обеспечение». Поэтому в докладе используется термин «обучение машин», чтобы не возникло путаницы.

В ГОСТах вышедших в последнее время в РФ определены понятия качества систем ИИ и доверия к ним. Доверие к системам ИИ важный параметр, и он имеет определённые характеристики, когда человек может доверять информации полученной при помощи ИИ. В этих же ГОСТах введено понятие метрологического самоконтроля, когда в составе комплекса необходимо иметь одно средство измерений с точностью измерений выше чем у остальных, тогда по нему как по эталону можно проводить самоконтроль. В том числе, с автоматической коррекцией, что позволит получить существенную экономию на поверке средств измерений за счет увеличения межповерочного интервала.

Системы измерений с ИИ имеют ряд плюсов, а именно - эффективно измеряют многопараметрические величины (любая станция содержит тысячи средств измерений, частично они включены в разные системы АСУ, АСУ ТП, АСКУЭ и т.д. но охватить все системы и сказать в каком режиме сейчас функционирует вся станция сейчас не предоставляется возможным), многозадачность использования, реализация функций метрологического самоконтроля. Однако, есть и ряд моментов, которые необходимо учитывать при разработке и внедрении систем измерений с ИИ - ограниченные прозрачность и объяснимость алгоритма получения результата измерений (невозможно восстановить цепочку рассуждений ИИ), большое количество разнообразных компонентов в аппаратуре и высокая ее стоимость, повышенная вероятность ухудшения метрологических характеристик из-за многокомпонентности.

В части международных стандартов существуют ИСО/ МЭК 5259-1/2/3/4:2024 переведенные в РФ - ГОСТ Р 71484.1/2/3/4-2024 – где идет речь о подготовке баз данных для обучения машин.

Основные преимущества использования ИИ в измерении — это повышение точности за счет применения метрологического самоконтроля с автоматической коррекцией и автоматизацией рутинных операций. А также, сокращение времени на обработку данных, оптимизация и снижение энергопотребления, оптимизация производственных процессов. Отмечено, что применение ИИ для работы с большими базами данных (например, «Аршин») абсолютно оправдано.

Были рассмотрены примеры успешного внедрения ИИ, в том числе, пример компании «Т Плюс», которая развернула систему предиктивной аналитики в семи филиалах

на базе российской цифровой платформы. Благодаря этой системе на ТЭЦ «Академическая» уже удалось предотвратить три инцидента за счет анализа работы станции в режиме реального времени.

Основной проблемой внедрения ИИ-систем на промышленных предприятиях является высокая стоимость. Проведение успешных пилотных проектов может помочь в принятии решения о внедрении. Среди проблем отмечен недостаток квалифицированных кадров, который требует адаптации и обучения персонала работе с ИИ. Нужен выпуск новой нормативной документации (сейчас в данном направлении идут работы). Остро стоит вопрос кибербезопасности. Необходимо серьезное взаимодействие с регуляторами (Росстандарт, Ростехнадзор и т.д.) в части разработки нормативных документов, сертификации и тестирования ИИ-систем, а также обмен опытом с международными организациями.

Системы измерений с искусственным интеллектом становятся неотъемлемой частью современных промышленных предприятий. Они помогают улучшить качество измерений, автоматизировать процессы и обеспечить более эффективное управление производством. Современные нормативные акты обеспечивают правовую основу для внедрения ИИ-систем. Практическое применение ИИ позволяет значительно повысить производительность и надежность предприятий. Важно учитывать риски, связанные с кибербезопасностью и адаптацией персонала.

**В обсуждении доклада приняли участие:**

Представители АО «Профотек», ПАО «Мосэнерго», АО «Росатом Автоматизированные системы управления», ФБУ «Пензенский ЦСМ».

Обсудили аргумент против ИИ-систем в части предиктивной аналитики – ориентировочный срок, за который система может спрогнозировать появление аварийной ситуации – 24 часа. Учитывая высокую стоимость таких систем, подвергается сомнению их целесообразность. Например, заказать новое оборудование за такой короткий интервал времени невозможно. Однако, внедрение таких систем оправдано, т.к. большинство нештатных ситуаций не связаны с заменой основного оборудования, а в основном, вызваны и могут быть устранены косвенным путем и/или изменением режима функционирования.

Отметили, что ПАО «Россети» проделали большую работу и сформировали специализированную методику выявления уязвимостей для промышленных систем в части информационной безопасности, а также согласовали ее в ФСТЭК.

Отметили, что экономическая эффективность от внедрения ИИ-систем в части измерений в первую очередь состоит из предупреждения аварийных ситуаций, а также за

счет увеличения межповерочных интервалов большого количества средств измерений при применении метрологического самоконтроля и автоматической коррекции.

Высказали сомнения по поводу применения техники метрологического самоконтроля, т.к. техника требует использования нескольких средств измерений повышенной точности (для применения в качестве эталона), однако, для поверки таких средств измерений также нужен эталон с более высокой точностью. Здесь стоит вопрос о необходимости более точной экономической оценки таких действий.

Отметили актуальность темы. В АО «Росатом» рассматривают установки функции калибратора в первичные измерительные преобразователи АСУ ТП. С этой функцией калибратора рассматривается возможность калибровки и самопроверки вторичного измерительного канала АСУ ТП, а в перспективе возможность автоматизированной поверки. Последнее в настоящее время невозможно без внесения изменений в нормативную документацию.

Было отмечено, что все доклады с круглого стола в рамках РМЭФ-2025 выложены на официальном сайте НП «НТС ЕЭС» и доступны к ознакомлению. Акцентировали внимание на нескольких докладах:

- Воздействие «Солнечных бурь» и токов геомагнитной индукции – защита энергосистем и силовых трансформаторов. Автор - Хренников Александр Юрьевич.
- Способы эффективного применения систем накопления электроэнергии для повышения гибкости энергосистем. Автор - Илюшин Павел Владимирович.

**С докладом «Исследование эффективности применения цифровых измерительных трансформаторов»** (Приложение 1) выступил Александров Леонид Борисович, директор по развитию АО «Профотек».

Доклад начался с демонстрации различий аналоговых и цифровых АИИС КУЭ. Полная погрешность традиционного информационно-измерительного канала (далее – ИИК) велика и меняется в течение времени, цифровой ИИК имеет низкую и стабильную погрешность. Исходя из стандартной формулы расчета погрешности ИИК для аналоговых ИИК, первая часть — это составляющие погрешности трансформаторов, потери в цепях – уже понятные и изученные, которые особо не меняются. А вот вторая часть формулы - погрешности, вызываемые внешним воздействием – магнитное поле, температура, и т.д. вносят довольно значительную величину в сумму погрешности. Клеммная часть (окислившиеся контакты и т.д.) оказывают сильное влияние на величину погрешности, погрешность вносит и сам счетчик. Для цифрового ИИК погрешность фактически складывается из погрешностей вычислений. Рассмотрели кривые воронок погрешностей,

убедились, что цифровые средства измерений работают в полном динамическом диапазоне без ухудшения параметров. Никаких электромагнитных преобразований в оптическом датчике нет. Рассмотрели стандартную кривую распределения погрешностей (кривую Гаусса) – где наглядно видна разница между погрешностью аналогового и цифрового ИИК.

Переходя от погрешности измерений к показателям экономической эффективности обратились к изданию «Коммерческий учет электроэнергии на оптовом и розничном рынках» авторства Е.В. Андреева, Л.К. Осика, В.В. Тубинис. В данном «справочнике» есть часть, написанная Л.К. Осикой – Обоснование эффективности коммерческих систем учета электроэнергии с точки зрения их информационных свойств, которая содержит методику расчёта, которая позволяет перейти от величин погрешностей измерительного канала к экономическому эффекту. При экономическом обосновании внедрения оптических трансформаторов тока и измерительных систем на их основе для промышленных предприятий в расчёты Л.К. Осики были внесены следующие корректировки – принимали в расчет только половину величины погрешности (по требованию заказчиков). Экономический эффект Красноярского алюминиевого завода (6 питающих линий 220 кВ, где были внедрены оптические трансформаторы производства АО «Профотек») позволил окупить всю стоимость внедрения системы (стоимость трансформаторов и строительно-монтажные работы) за период меньше трех лет. Еще один пример, Челябинский цинковый комбинат (2 линии 220 кВ, установлены цифровые оптические измерительные трансформаторы производства АО «Профотек») – экономический эффект позволяет окупить затраты на внедрение этой технологии за два года. Системы ставились не взамен, а параллельно существующим потому, что необходимо оставлять в работе релейную защиту, телеметрию и т.д.

В процессе создания, исследования характеристик и внедрения цифровых систем была выявлена проблема. Фундаментальная основа работы всех измерительных трансформаторов - за счет использования стальных сердечников в конструкциях измерительных трансформаторов тока (далее ИТТ) практически все трансформаторы имеют остаточную намагниченность сердечника, которая влияет на погрешность измерений, выполняемых трансформатором. Для исключения влияния остаточной намагниченности разработаны специальные конструкции ИТТ позволяющие ослабить этот эффект (трансформаторы типов ТРХ, ТРЗ, ТРУ). Так же разработаны методики расчетов по определению времени до насыщения измерительных трансформаторов тока. Существующие методики расчетов времени до насыщения трансформаторов тока пока не имеют подтвержденных реальными испытаниями исследований этих характеристик. В части релейных защит и обеспечения работы систем автоматики есть динамика развития.

При этом, проблема остаточной намагниченности железа сердечника ИТТ так же важна и при проведении измерений для целей коммерческого и технического учета электроэнергии, систем телемеханики. Единственная работа в этом направлении – кандидатская диссертация главного метролога Свердловского завода трансформаторов тока Раскулова, написанная 8 лет назад. Где было сказано, что если после различных коллизий на линии (замагничивания и т.д.), линия не введена в режим, когда нагрузка превышает более 30 процентов нагрузки трансформатор тока, то он из режима насыщения практически не выйдет. Но до сих пор нет критериев влияния таких процессов на погрешность измерений.

АО «Профотек» предлагает провести НИОКР по созданию стенда, который бы позволил ввести обычные трансформаторы тока в режим замагничивания с различным процентным соотношением и выстроить зависимости погрешностей от причин намагничивания. В рамках исследования разработать методику наиболее эффективного применения ЦИИК в зависимости от места его применения – на генераторах, на блоках, в точках поставки ОРЭМ, на потребителях собственных нужд, на распределительных подстанциях при разном уровне напряжений отходящих линий и режимах их работы (прием-отдача, только отдача, только прием электроэнергии).

Предлагается для начала провести работу для определения существования зависимости погрешностей измерений от намагниченности ИТТ. Провести натурные испытания с использованием нескольких типов ИТТ, с последовательным включением в токовую цепь: электромагнитных ИТТ и ИТТ не имеющих остаточной намагниченности (оптических). А также, создать стенд по оценке влияния остаточной намагниченности ИТТ на погрешность измерительного канала учета электроэнергии, с возможностью создания различной степени намагниченности железа ИТТ. Такая работа видится полезной и эффективной для применения. По работе с потребителем уже имеется понимание и опыт, виден экономический эффект. Интерес заключается в получении аналогичного опыта с генерацией. Экономический эффект станции рассчитывается на выдачи в линии, т.к. там производятся финансовые расчеты на рынке. Но, для того чтобы перейти к линиям, нужно определиться с тем, что мы имеем на генераторе. Видится полезным проведение вышеописанных исследований с параллельной установкой оптических трансформаторов на генераторе 150-200 МВт (для оценки реальных экономических показателей). Установка оптических трансформаторов на генераторе дает увеличение выработки на генераторе (гарантированное снижение погрешности на 0,41%). Примерный расчет показал, что таким образом отпуск с генератора увеличивается на 0,4% в год. Это работа может привести к тому, что станция покажет экономию условного топлива. А это один из элементов эффективной работы станции.

Подводя итоги, отметили что, применение особо точных средств измерений (оптических трансформаторов) в совокупности с внедрением ИИ-систем с использованием функций самоконтроля и автоматической коррекции позволит создать наиболее эффективную работу станции в части средств измерений и перейти к обслуживанию системы, когда поверку СИ можно будет делать не по графику, а на основе самоконтроля и балансового метода, учитывающего погрешности. Анализируя имеющуюся информацию можно уже говорить и о предиктивной аналитике.

**В обсуждении доклада приняли участие:**

Представители АО «Профотек», ПАО «Мосэнерго», АО «НТЦ ФСК ЕЭС», АО «Росатом Автоматизированные системы управления», ФБУ «Пензенский ЦСМ», ООО НПП «ЭКРА».

Обсудили методику расчета экономической эффективности. В докладе выполнялись ориентировочные расчёты эффективности за год, как пример оценки эффективности в целом. Оценка экономической эффективности за срок службы (или за срок владения) пока не выполнялась, для этого требуется поддержка и данные от профильных специалистов генерирующего предприятия.

Затронули вопрос срока службы оптических трансформаторов. Согласно канадским исследованиям срок службы оптического волокна 120 лет (без изменения параметров). Исследование старения — это все же синтетические методы, а из реальных данных по внедренным устройствам есть информация о трансформаторе, установленном 11 лет назад. Прибор попал в сервисный центр АО «Профотек» по причине механического повреждения. Диагностика оптической части и электронно-оптический блок не выявила никаких ухудшений параметров, приводящих к деградации сигналов. Отметили, что к сроку службы оптических трансформаторов бессмысленно предъявлять требования выше срока службы генераторов (примерно 30-40 лет).

С точки зрения нормативной документации электронно-оптический блок подчиняется тем же требованиям по безопасности, что и устройство релейной защиты. Эти требования выполнены. Проблема радиоэлектронной защищенность (в частности на новых территориях) в настоящее время актуальна, но рассчитать ее пока не предоставляется возможным.

В настоящее время отсутствует информация о существующих научно-исследовательских работах по влиянию намагничиванию сердечников трансформаторов на точность измерений.

Ранее на секции рассматривали доклад об опыте реализации цифровых АИИС КУЭ производства НПП «ЭКРА» на ПС «Ухват» и ПС «Десна» ПАО «Транснефть». Проект был реализован фактически в качестве пилотного, и была отмечена целесообразность рассмотрения командой, его реализовавшей, дальнейшего развития в направлении, предложенном АО «Профотек».

**Заслушав выступление и обсуждение секция «Интеллектуальные системы измерений и учёта энергоресурсов» НТС ЕЭС отметила:**

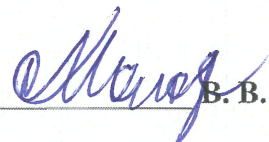
- ✓ Актуальность тематики внедрения на крупных промышленных предприятиях систем и средств измерений с искусственным интеллектом.
- ✓ Необходимость более широкого участия представителей промышленности и научных учреждений энергетического профиля в разработке и формировании НТД по системам и средствам измерений с искусственным интеллектом.
- ✓ Целесообразность:
  - применения оптических трансформаторов при новом строительстве особенно при создании ЛЭП постоянного тока.
  - сравнения точности измерений оптических и электромагнитных трансформаторов при наличии частотных искажений мощности.
  - сравнения точности измерений оптических и электромагнитных трансформаторов при остаточной намагниченности последних.

**Секция «Интеллектуальные системы измерений и учёта энергоресурсов» НТС ЕЭС решила:**

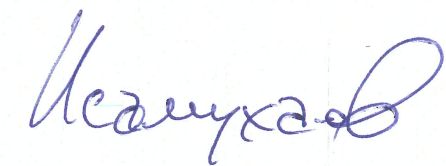
1. Направить Протокол заседания секции в Технический комитет Росстандарта №164 «Искусственный интеллект» с просьбой сделать сообщение об актуальных нормативных документах, которые в настоящее время находятся в разработке, а также об участии представителей секции в работе комитета.
2. Запланировать проведение отдельного совещания по применению систем и средств измерений с искусственным интеллектом на объектах энергетики.
3. Предоставить анализ теоретических исследований увеличения погрешности измерений при использовании измерительных трансформаторов тока с остаточной намагниченностью позволяющих сформулировать направления выполнения ОКР с использованием оптических трансформаторов.
4. Продолжить рассмотрение на заседаниях секции вопросов внедрения оптических трансформаторов.

4. Продолжить рассмотрение на заседаниях секции вопросов внедрения оптических трансформаторов.
5. АО «Профотек» направить в АО «Мосэнерго» предложение по установке цифрового информационно-измерительного комплекса учета электроэнергии, с использованием оптических трансформаторов тока производства АО «Профотек», на одном из энергоблоков компании.
6. Разослать членам секции Протокол для ознакомления соответствующих служб организаций с состоявшимся обсуждением.

Первый заместитель председателя  
Научно - технической коллегии  
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор

  
В. В. Молодюк

Ученый секретарь научно-  
технической коллегии  
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.

  
Я.Ш. Исамухамедов

Председатель секции  
«Автоматизированный учет  
электроэнергии и управление  
электропотреблением»,  
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.

  
А.В. Покатилов

Ученый секретарь секции  
«Автоматизированный учет  
электроэнергии и управление  
электропотреблением»,  
НП «НТС ЕЭС»

  
Е.Ю. Евенок

**Список участников заседания секции «Автоматизированный учет электроэнергии и управление электропотреблением» НТС ЕЭС, состоявшегося 28 мая 2025 года**

1. Александров Леонид Борисович, АО «Профотек», член секции.
2. Бирюков Алексей Константинович, ПАО «Россети», приглашенный.
3. Большаков Олег Вадимович, член секции.
4. Бойченко Светлана Игоревна, Ассоциация НП «Совет рынка», член секции.
5. Быков Дмитрий Сергеевич, ПАО «Мосэнерго», член секции.
6. Воронков Максим Владимирович, АО «Профотек», приглашенный.
7. Воротницкий Валерий Эдуардович, АО «НТЦ ФСК ЕЭС», член секции.
8. Гришин Максим Викторович, АО «Росатом Автоматизированные системы управления», член секции.
9. Губа Ирина Сергеевна, ПАО «Мосэнерго», член секции.
10. Данилов Александр Александрович, Директор ФБУ «Пензенский ЦСМ»
11. Евенок Екатерина Юрьевна, ПАО «Мосэнерго», ученый секретарь секции.
12. Завируха Анастасия Викторовна, ООО «Энергосбережение», член секции.
13. Иванов Иван Петрович, ООО «Транснефтьэнерго», член секции.
14. Исамухамедов Якуб Шукурович, ученый секретарь НП «НТС ЕЭС», к.т.н.
15. Коржов Геннадий Васильевич, ПАО «Мосэнерго», член секции.
16. Кустиков Алексей Валерьевич, ООО НПП «ЭКРА», приглашенный.
17. Лещев Илья Евгеньевич, АО «МОЭК», приглашённый.
18. Матисон Владимир Арнольдович, ООО НПП «ЭКРА», приглашенный.
19. Муртазалиева Фариза Хабибовна, ПАО «Мосэнерго», приглашенный.
20. Перепелицын Артем Владимирович, АО «Профотек», приглашенный.
21. Петрухин Сергей Андреевич, НП «НТС ЕЭС».
22. Покатилов Александр Васильевич, ПАО «Мосэнерго», руководитель секции.
23. Пуцылов Иван Александрович, ПАО «МОЭК», член секции.
24. Ташин Антон Вячеславович, ООО «Ситиэнерго», член секции.
25. Тимошенко Ольга Андреевна, ПАО «Мосэнерго», приглашенный.
26. Хрулева Юлия Рудольфовна, член секции.
27. Чернецов Виктор Федорович, ФГБУ «ВНИИМС», член секции.
28. Щитников Александр Яковлевич, член секции