



Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»



Российская Академия Наук
Научный совет РАН по системным
исследованиям в энергетике

УТВЕРЖДАЮ

Президент НП «НТС ЕЭС»,
д.т.н., профессор

Н. Д. Рогалев

ПРОТОКОЛ

совместного заседания Научно-технического совета НП «НТС ЕЭС»,
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:

**«Опыт эксплуатации отечественных и зарубежных газотурбинных и
газопоршневых установок на объектах распределенной генерации
ПАО «ЛУКОЙЛ»»**

27 мая 2021

№ 2/21

г. Москва

Заседание подготовлено секцией «Активные системы распределения
электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС»
(председатель Секции д.т.н. Илюшин П.В.)

Присутствовали: члены секции «Активные системы распределения
электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», члены Научно-
технического совета НП «НТС ЕЭС», ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», АО «НТЦ ФСК
ЕЭС», НИК С6 РНК СИГРЭ, ФГБУН «ИНЭИ РАН», Комитета ВИЭ РосСНИО,
ФГАОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический
университет», ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-
экономический университет», Общевойсковой академии ВС РФ, ФГБОУ ВО
«Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева», АО «Техническая инспекция ЕЭС»,
ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ», ООО «РТСофт-СГ», всего 26 человек.

Со вступительным словом выступил председатель секции «Активные
системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические

ресурсы» (АСРЭ и РЭР) НП «НТС ЕЭС», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН», д.т.н. **Илюшин П.В.**

Во вступительном слове Илюшин П.В. отметил, что изучение и анализ опыта эксплуатации объектов распределенной генерации имеет очень важное значение. Они позволяют выявлять проблемные вопросы, связанные с корректностью проектных технических решений, особенности функционирования оборудования в реальных схемно-режимных и климатических условиях, а также формировать предложения по внесению изменений в действующие нормативно-технические документы по проектированию и эксплуатации. Выявление особенностей эксплуатации генерирующих установок на объектах распределенной генерации и формализация проблемных технических вопросов позволяют сделать подстановку задачи для прикладных научно-технических исследований с целью разработки научно-обоснованных подходов к их решению.

В отечественной электроэнергетике одним из крупнейших собственников объектов распределенной генерации является ПАО «ЛУКОЙЛ», суммарная установленная мощность которых составляет более 1 ГВт. Причем объекты распределенной генерации компании функционируют как в составе Единой энергетической системы России (ЕЭС России), так и изолированных энергорайонах. Основная цель их строительства — эффективная утилизация попутного нефтяного газа с целью выработки необходимой для функционирования технологических площадок электроэнергии. Компания применяет на своих объектах как газопоршневые, так и газотурбинные установки отечественного и зарубежного производства.

Одним из важных проблемных вопросов эксплуатации генерирующего оборудования является организацию взаимодействия с заводами-изготовителями генерирующих установок. Выработка адекватных подходов к решению данного вопроса имеет существенное значение как для ПАО «ЛУКОЙЛ», так и для других компаний, эксплуатирующих объекты распределенной генерации.

В связи с этим важным является изучение и анализ отечественного опыта эксплуатации объектов распределенной генерации, функционирующих как в составе энергосистем, так и в изолированных энергорайонах. Цель такого анализа — выявление проблемных технических вопросов, их научно-техническое изучение и последующее применение выработанных подходов и технических решений при проектировании, эксплуатации и управлении данными объектами, а также при обучении и повышении квалификации эксплуатационного персонала.

С докладом «**Опыт эксплуатации отечественных и зарубежных газотурбинных и газопоршневых установок на объектах распределенной генерации ПАО «ЛУКОЙЛ»**» выступил Шашин А.В., генеральный директор ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ».

Основные положения доклада приведены ниже.

1. Отмечено, что география расположения объектов распределенной генерации ПАО «ЛУКОЙЛ» достаточно широка, а суммарная установленная мощность всех генерирующих установок составляет более 1 ГВт.
2. Отмечено, что объекты распределенной генерации ПАО «ЛУКОЙЛ»

функционируют как параллельно с ЕЭС России, так и в изолированных энергорайонах.

3. Представлен обзор эксплуатируемого генерирующего оборудования на базе газотурбинных установок следующих производителей:

- российских: АО «ОДК Авиадвигатель», ПАО «ОДК Сатурн».
- зарубежных: SIEMENS, DRESSER, RAND, SOLAR, OPRA.

4. Представлен обзор эксплуатируемого генерирующего оборудования на базе газопоршневых двигателей зарубежного производства: CUMMINS, JENBACHER, CATERPILLAR, GUASCOR.

5. Приведены данные по эксплуатируемым мини-электростанциям на базе газотурбинных/газопоршневых двигателей, в том числе экспериментальным.

6. Представлены основные подходы, используемые ПАО «ЛУКОЙЛ» при взаимодействии с заводами-изготовителями генерирующих установок и подрядными организациями в процессе эксплуатации, сервисного обслуживания и ремонта генерирующего оборудования.

7. Отмечено, что отечественные заводы-изготовители, являющиеся разработчиками генерирующих установок, получают доступ к системам мониторинга и диагностики в процессе эксплуатации, что позволяет им получать объективную информацию о техническом состоянии оборудования для последующего проведения необходимых доработок и усовершенствований.

8. При заключении договора на обеспечение работоспособности генерирующих установок в течение всего жизненного цикла, исполнитель (завод-изготовитель) обеспечивает:

- формирование аварийного запаса запасных частей и материалов;
- замену неисправных агрегатов;
- выполнение регламентного технического обслуживания, а также всех плановых, внеплановых и капитальных ремонтов;
- выполнение демонтажа, монтажа, транспортировки элементов генерирующих установок при проведении всех видов ремонтов;
- поддержание работоспособности генерирующих установок в течение жизненного цикла с оплатой за фактически отработанные машино-часы;
- внесение конструкционных доработок, направленных на повышение надежности и продление ресурса генерирующего оборудования;
- сокращение сроков внеплановых ремонтов при изменении производственной программы технологических площадок ПАО «ЛУКОЙЛ».

9. Отмечено, что до проведения и в процессе выполнения работ по ремонтно-эксплуатационному обслуживанию генерирующих установок силами собственного персонала объектов распределенной генерации или персоналом подрядных организаций, осуществляется:

- формирование аварийного запаса запасных частей и материалов силами Заказчика;
- замена отдельных элементов с использованием запасных частей и материалов из аварийного запаса Заказчика;
- выполнение регламентных работ по техническому обслуживанию.

10. Представлены подходы по проведению ремонтов генерирующего оборудования по схеме сервисного обмена с заводами-изготовителями.

11. Отмечено, что в случае, когда исполнитель по договору на ремонтно-эксплуатационное обслуживание является официальным представителем либо заводом-изготовителем генерирующего оборудования, то им обеспечивается выполнение следующих функций:

- поставка запасных частей и материалов для проведения капитального ремонта;
- проведение работ по замене отработавшего ресурс оборудования;
- приобретение отработавшего ресурс оборудования по согласованной выкупной стоимости.

12. Представлена автоматизированная система удаленного мониторинга и диагностики технического состояния генерирующего оборудования на примере газотурбинной установки (ГТУ) ЭГЭС-12С, имеющая следующие особенности:

- исключена возможность удаленного управления ГТУ;
- исключено взаимодействие с информационной инфраструктурой собственника генерирующего оборудования;
- передача данных осуществляется по защищенному каналу;
- обеспечена сетевая безопасность при подключении сети Интернет;
- передача информации осуществляется с периодичностью формирования каждого вида отчета: часового, суточного, аварийного.

13. Отмечено, что данные от автоматизированной системы удаленного мониторинга и диагностики генерирующих установок передаются непосредственно в специализированное подразделение завода-изготовителя (разработчика оборудования).

14. Представлены принципы продления назначенного эксплуатационного ресурса генерирующего оборудования, практический опыт проведения таких продлений, а также полученные эффекты.

15. Так как энергоблок ЭГЭС-12С является опасным производственным объектом с назначенным ресурсом 100 тыс. моточасов, то в соответствии с требованиями № 116-ФЗ от 21.07.1997 после его выработки необходимо проведение экспертизы промышленной безопасности для принятия решения о возможности его дальнейшей эксплуатации.

16. Отмечено, что техническое перевооружение ЭГЭС-12С включает в себя реализацию следующих мероприятий, которые проводятся в зависимости от стоимости нового ЭГЭС-12С (X), и имеют следующие стоимостные показатели:

- модернизация энергоблока с затратами на 1 энергоблок – около $0,15 \cdot X$;
- замена газотурбинных двигателей с единичной стоимостью газотурбинного двигателя (ГТД) ПС-90 ГП-1 – около $0,3 \cdot X$.

17. Отмечено, что модернизация генерирующего оборудования осуществляется на действующих объектах распределенной генерации силами завода-изготовителя. При этом ориентировочные затраты на продление ресурса до 200 тыс. моточасов составляют около $0,45 \cdot X$ на 1 энергоблок.

18. Представлены основные мероприятия по продлению ресурса энергоблока типа Урал:

- замена ГТД, капитальный ремонт (в условиях завода-изготовителя) генератора, редуктора, замена элементов систем контроля, автоматики, газообеспечения;
- проведение экспертизы промышленной безопасности с привлечением завода-изготовителя (разработчика оборудования);
- продление ресурса на 120 тыс. моточасов.

19. Представлены основные мероприятия по продлению ресурса энергоблока ГПЭА:

- капитальный ремонт по схеме «Long Block», «Short Block» с продлением ресурса газопоршневого двигателя на 60 тыс. моточасов;
- капитальный ремонт генератора, замена элементов систем контроля, автоматики, газообеспечения;
- проведение экспертизы промышленной безопасности.

Схемы «Long Block» и «Short Block» отличаются только наличием головки блока цилиндров, распределала и комплектующими в первом варианте.

20. Предложен перечень основных мероприятий по продлению ресурса энергоблоков SIEMENS, SOLAR и OPRA:

- по схеме сервисного обмена производится замена ГТД с продлением ресурса до очередного капитального ремонта;
- капитальный ремонт генератора, замена элементов систем контроля, автоматики, газообеспечения;
- проведение экспертизы промышленной безопасности.

21. Отмечено, что фактический коэффициент готовности генерирующего оборудования к несению нагрузки по всем площадкам ПАО «ЛУКОЙЛ» составляют: ЭГЭС-12С – 94,4 %; ГТЭС-25ПА – 88,7 %; УРАЛ – 90,9 %; JGC 620 GS-S.L – 87,6 %; Cummins 1750 GQNB – 86,3 %; CAT 3512/CAT3532 – 75,3 %; JGC 320GS-S.L – 98,6 %.

22. Предложен перечень основных неисправностей газотурбинных и газопоршневых генерирующих установок отечественных и зарубежных производителей, а также подходы по их устранению.

23. Приведены общие подходы к работе с ремонтно-эксплуатационным персоналом объектов распределенной генерации:

- профессиональная подготовка персонала по программам повышения квалификации «Конструкция и эксплуатация энергоагрегатов ГТЭС-25ПА на базе двигателей ПС-90ГП-25А, ПС-90ГП-1, Д-30»;
- обучение персонала по программам, разработанным совместно с представителями SIEMENS, SOLAR, OPRA, CUMMINS, INNIO;
- ротация персонала между объектами распределенной генерации;
- включение в закупочную документацию и договоры следующих требований к подрядным организациям: обязательное страхование производственной деятельности по оперативно-технологическому управлению и эксплуатации объектов распределенной генерации для возмещения ущерба,

причиненного в результате аварии на данных опасных производственных объектах; необходимость прохождения персоналом обучения в лицензированных учебных центрах, имеющих аккредитацию разработчиков и заводов-изготовителей генерирующих установок.

В обсуждении доклада и прениях выступили: Гусев Ю.П. (НИУ МЭИ), Безруких П.П. (Комитет ВИЭ РосСНИО), Гельфанд А.М. (НП «НТС ЕЭС»), Дильман М.Д. (ИНЭИ РАН), Хазиахметов Р.М. (АО «Техническая инспекция ЕЭС»), Симонов А.В. (ООО «РТСофт-СГ»), Ивановский Д.А. (НИК С6 РНК СИГРЭ), Илюшин П.В. (председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС»).

Гусев Ю.П. — заведующий кафедрой «Электрические станции» НИУ «МЭИ», к.т.н., доцент — обратил внимание на то, что в настоящее время НИУ «МЭИ» планирует начать обучение студентов особенностям эксплуатации объектов распределенной генерации на базе реконструируемой ТЭЦ МЭИ, на которой планируется ввести газотурбинную установку мощностью 9 МВт.

В последнее время возросло количество выпускных квалификационных работ студентов, в которых представляются различные инженерно-технические решения в области распределенной энергетики.

Гусев Ю.П. отметил, что в представленном докладе основное внимание уделено проблемным вопросам, связанным с механической частью генерирующего оборудования, а проблемы, связанные с электрической частью, например динамической устойчивостью и отказами электрооборудования в следствии коммутационных перенапряжений, отмечены в меньшей степени.

Основной трудностью при подготовке студентами выпускных квалификационных работ является отсутствие актуальной информации по проблемам, возникающим на объектах распределенной генерации, а также исходных данных для проведения технических расчетов и исследований.

Безруких П.П. — председатель комитета ВИЭ РосСНИО, академик РИА д.т.н. — обратил внимание на то, что около 40 % суммарной установленной мощности объектов распределенной генерации ПАО «ЛУКОЙЛ» функционирует в изолированном режиме. В соответствие с требованиями Системного оператора, при технологическом присоединении объекта генерации установленной мощностью свыше 5 МВт необходима разработка схемы выдачи мощности (СВМ).

При отделении энергорайонов от энергосистемы на сбалансированную нагрузку, например расположенных в Республике Коми, объекты распределенной генерации, должны участвовать в общем первичном регулировании частоты.

Он также отметил, что количество проблемных технических вопросов, связанных с эксплуатацией генерирующего оборудования, напрямую зависит от качества проектирования и разработки СВМ. Чем качественнее произведено проектирование, тем меньше неплатных ситуаций возникает при эксплуатации и, соответственно, меньше экономические ущербы у собственника.

Гельфанд А.М. — заслуженный работник ЕЭС России, член секции АСРЭ и РЭР НП «НТС ЕЭС» — обратил внимание на то, что развитие собственной распределенной генерации на объектах нефтедобычи в первую очередь обусловлено необходимостью эффективной утилизации попутного нефтяного

газа. На объектах распределенной генерации с большим количеством генерирующих установок требуется применение автоматики выявления и ликвидации асинхронного режима.

Одной из проблем, связанных с функционированием генерирующих установок параллельно с энергосистемой, в отличие от изолированного режима работы, является возникновение перенапряжений в электрической сети, что влияет на их техническое состояние.

При интеграции объектов распределенной генерации на этапе проектирования целесообразно рассмотреть техническую возможность применения силовых преобразователей частоты в цепях статоров генераторов. Это способствует обеспечению динамической устойчивости генерирующих установок при возникновении большинства аварийных возмущений.

Хазиахметов Р.М. — советник генерального директора АО «Техническая инспекция ЕЭС», к.т.н. — отметил, что проведение мониторинга, диагностики и оценки технического состояния генерирующих установок на объектах распределенной генерации персоналом завода-изготовителя особенно эффективно.

Он обратил внимание на то, что одним из наиболее сложных вопросов во взаимодействии с заводами-изготовителями генерирующего оборудования является организация его технического обслуживания на протяжении всего срока эксплуатации, т. е. в гарантийный и постгарантийный период.

Ивановский Д.А. — секретарь НИК С6 РНК СИГРЭ, ученый секретарь секции «АСРЭ и РЭР» НП «НТС ЕЭС» — обратил внимание на то, что при организации сети передачи данных в системы управления верхнего уровня о состоянии генерирующего оборудования в обязательном порядке должны быть решены вопросы кибербезопасности.

Он также отметил, что климатические зоны, в которых размещается генерирующее оборудование одного вида, оказывают незначительное влияние на особенности его эксплуатации, за исключением температурных зависимостей, например, для газотурбинных установок.

Накопленный опыт ПАО «ЛУКОЙЛ» в области эксплуатации объектов распределенной генерации в данное время не отражен в национальных стандартах и стандартах организаций, за исключением внутренних технических регламентов.

Он отметил, что генераторы соединены с повышающими трансформаторами в ряде случаев с помощью экранированных шинопроводов, но системы мониторинга и диагностики опорной изоляции шинопроводов не применяются.

Илюшин П.В. — председатель секции «АСРЭ и РЭР» НП «НТС ЕЭС», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН», д.т.н. — отметил, что ранее на объектах распределенной генерации на базе газотурбинных двигателей применялись редукторы немецкого производства, при этом аналогичные редукторы ряда отечественных машиностроительных заводов отличались более низким эксплуатационным ресурсом и более высокой стоимостью по сравнению с зарубежными.

Он обратил внимание на то, что генераторы отечественного производства,

применяемые на объектах распределенной генерации, обладают достаточно высокой аппаратной надежностью.

На некоторых объектах распределенной генерации коэффициент готовности оборудования составляет 65–73 %, что связано с высоким количеством отказов генерирующего и вспомогательного оборудования, а также большой длительностью внеплановых ремонтов. Это обусловлено длительностью изготовления и доставки запасных частей, узлов.

При аварийном останове единицы генерирующего оборудования, работающего на попутном нефтяном газе, не происходит его сжигания в факеле. Это связано с тем, что на технологических площадках имеются резервные генерирующие установки, а также возможности для его глубокой переработки, эффективность которой составляет не менее 97,5 %. Кроме того, избытки газа могут быть направлены на отопительные котельные.

С заключительным словом выступил д.т.н. **Илюшин П.В.**, председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН». Он отметил, что результаты анализа отечественного опыта эксплуатации генерирующих установок на объектах распределенной генерации особенно актуальны потому, что позволяют выявить те проблемные вопросы, которые характерны для российской электроэнергетики. Кроме того, важной стороной эксплуатации генерирующих установок является организация взаимодействия собственников объектов распределенной генерации и заводов-изготовителей, с целью повышения качества мониторинга, диагностики и оценки их технического состояния. Это позволяет минимизировать затраты на техническое обслуживание и ремонт генерирующих установок, а также повысить показатели их аппаратной надежности. Взаимодействие собственников объектов распределенной генерации с отечественными научными организациями и вузами по актуальным проблемным вопросам является перспективным для выработки обоснованных научно-технических подходов к их решению. Кроме того, это позволяет проводить подготовку студентов и повышение квалификации персонала объектов распределенной генерации с учетом особенностей их эксплуатации.

Совместное заседание отмечает

1. Важность представленного в докладе практического опыта в области эксплуатации отечественных и зарубежных газотурбинных и газопоршневых установок на объектах распределенной генерации ПАО «ЛУКОЙЛ».
2. Высокую потребность в квалифицированном сервисном обслуживании генерирующего оборудования объектов распределенной генерации, а также обучении и повышении квалификации ремонтно-эксплуатационного персонала.
3. Важность взаимодействия между компаниями, эксплуатирующими объекты распределенной генерации, и учебными заведениями в части предоставления информации об актуальных проблемных технических вопросах для подготовки выпускных квалификационных работ студентов.
4. Соответствие ресурсных показателей мировых лидеров в производстве

газотурбинных установок аналогичным показателям для отдельных типов энергоблоков российского производства.

5. Большое количество генерирующих агрегатов на базе газопоршневых двигателей, эксплуатируемых в отечественной энергетике, зарубежных заводов-изготовителей в связи с отсутствием на рынке адекватных предложений.

6. Отсутствие газотурбинных и газопоршневых энергоблоков российского производства в климатическом исполнении, позволяющем их использовать на морском шельфе.

7. Наличие на текущий момент возможностей для организации сервисного технического обслуживания генерирующего оборудования со стороны зарубежных заводов-изготовителей в требуемые сроки в условиях санкционных ограничений.

8. Важность наличия прямого доступа для заводов-изготовителей (разработчиков) к системам мониторинга и диагностики генерирующих установок в процессе эксплуатации, с целью получения объективной информации о техническом состоянии оборудования для выполнения необходимых доработок и усовершенствований конструкции.

Совместное заседание решило

1. Рекомендовать автору продолжить проведение анализа опыта и проблемных вопросов организации эксплуатации отечественных и зарубежных газотурбинных и газопоршневых установок для последующей выработки и реализации подходов к их решению.

2. Рекомендовать образовательным учреждениям высшего и дополнительного профессионального образования рассмотреть возможность подготовки студентов и курсов повышения квалификации персонала объектов распределенной генерации с учетом особенностей эксплуатации указанных объектов с генерирующими установками разных видов.

3. Рекомендовать автору сформировать перечень перспективных научно-технических исследований для решения проблемных технических вопросов, возникающих на действующих объектах распределенной генерации.

4. Рекомендовать отечественным проектно-конструкторским бюро и машиностроительным предприятиям рассмотреть возможность разработки газотурбинных и/или газопоршневых генерирующих агрегатов в климатическом исполнении, позволяющем их использовать на морском шельфе.

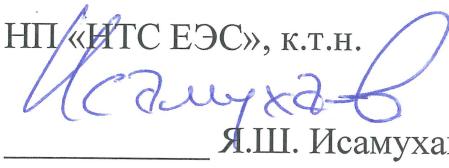
5. Рекомендовать автору подготовить и представить на заседании секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» доклад, отражающий проблемные технические вопросы, связанные с электрической частью генерирующего оборудования объектов распределенной генерации.

6. Рекомендовать отечественным машиностроительным предприятиям рассмотреть возможность организации полного цикла производства газопоршневых генерирующих установок отечественной разработки или локализованных (не крупноузловая сборка).

7. Рекомендовать автору консолидировать накопленный опыт в области эксплуатации отечественных и зарубежных газотурбинных и газопоршневых

установок для подготовки проектов стандартов организации ПАО «ЛУКОЙЛ» и национальных стандартов (ГОСТ Р) по тематике доклада.

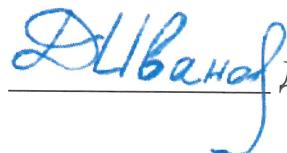
Первый заместитель Председателя
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС»,
д.т.н., профессор


V.B. Молодюк
Ученый секретарь Научно-
технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», 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