

Активные системы распределения электроэнергии и распределённые энергетические ресурсы



Тема совместного заседания Научно-технического совета НП «НТС ЕЭС», секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределённые энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» и секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике, состоявшегося в конце мая с.г., – «Опыт эксплуатации отечественных и зарубежных газотурбинных и газопоршневых установок на объектах распределённой генерации ПАО «ЛУКОЙЛ».

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

В работе приняли участие члены секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределённые 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», Общевоинской академии ВС РФ, ФГБОУ ВО «Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева», АО «Техническая инспекция ЕЭС», ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ», ООО «РТСофт-СГ» – всего 26 человек.

Во вступительном слове руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределённой энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН» д.т.н. П.В. Илюшин отметил, что изучение и анализ опыта эксплуатации объектов распределённой генерации имеют 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 распределённой 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 распределённой генерации является ПАО «ЛУКОЙЛ»: их суммарная установленная мощность составляет более 1 ГВт. Причём объекты распределённой генерации компании функционируют как в составе Единой энергетической системы России (ЕЭС России), так и в изолированных энергорайонах. Основная задача 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 ключевых проблемных вопросов эксплуатации генерирующего оборудования является организация 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 распределённой генерации.

В связи с этим большое значение имеет изучение и анализ отечественного опыта эксплуатации объектов распределённой 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 распределённой генерации ПАО «ЛУКОЙЛ» выступил **генеральный директор ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» А.В. Шапин.**

В основных положениях доклада отмечено, что география расположения объектов распределённой генерации ПАО «ЛУКОЙЛ» достаточно широка, а суммарная установленная мощность всех генерирующих установок составляет более 1 ГВт; объекты распределённой генерации ПАО «ЛУКОЙЛ» функционируют как параллельно с ЕЭС России, так и в изолированных энергорайонах.

Кроме того, представлены обзоры эксплуатируемого генерирующего оборудования на базе газотурбинных установок следующих производителей: российских — АО «ОДК Авиадвигатель», ПАО «ОДК Сатурн»; зарубежных — SIEMENS, DRESSER, RAND, SOLAR, OPRA, а также обзор эксплуатируемого генерирующего оборудования на базе газопоршневых двигателей зарубежного производства — CUMMINS, JENBACHER, CATERPILLAR, GUASCOR.

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

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

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.

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 надёжности и продление ресурса генерирующего оборудования;
- сокращение сроков внеплановых ремонтов при изменении производственной программы технологических площадок ПАО «ЛУКОЙЛ».

До проведения и в процессе выполнения работ по ремонтно-эксплуатационному обслуживанию генерирующих установок силами собственного персонала объектов распределённой 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.

В докладе также представлены подходы по проведению ремонтов генерирующего оборудования по схеме сервисного обмена с заводами-изготовителями.

Указано, 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.

Представлена автоматизированная система удалённого мониторинга и диагностики технического состояния генерирующего оборудования на приме-

ре газотурбинной установки (ГТУ) ЭГЭС-12С, имеющие 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 отчёта: часового, суточного, аварийного.

Данные от автоматизированной системы удалённого мониторинга и диагностики генерирующих установок передаются непосредственно в специализированное подразделение завода-изготовителя (разработчика оборудования).

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

Отмечается: так как энергоблок ЭГЭС-12С является опасным производственным объектом с назначенным ресурсом 100 тыс. мото-часов, 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.

Техническое перевооружение ЭГЭС-12С включает в себя реализацию следующих мероприятий, которые проводятся в зависимости от стоимости нового ЭГЭС-12С (Х), и имеют следующие стоимостные показатели:

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

Модернизация генерирующего оборудования осуществляется на действующих объектах распределённой генерации силами завода-изготовителя. При этом ориентировочные затраты на продление ресурса до 200 тыс. мото-часов составляют около $0,45 \times X$ на один энергоблок.

Так, основные мероприятия по продлению ресурса энергоблока типа «Урал» включают:

- замену ГТД, капитальный ремонт (в условиях завода-изготовителя) генератора, редуктора, замену элементов систем контроля, автоматики, газообеспечения;

- проведение экспертизы промышленной безопасности с привлечением завода-изготовителя (разработчика оборудования);
- продление ресурса на 120 тыс. мото-часов.

Основные мероприятия по продлению ресурса энергоблока ГПЭА предусматривают:

- капитальный ремонт по схеме «Long Block», «Short Block» с продлением ресурса газопоршневого двигателя на 60 тыс. мото-часов;
- 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, распредвала и комплектующими в первом варианте.

В докладе приведён 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.

Фактический коэффициент готовности генерирующего оборудования к несению нагрузки по всем площадкам ПАО «ЛУКОЙЛ» составляет: ЭГЭС-12С – 94,4%; ГТЭС-25ПА – 88,7%; «Урал» – 90,9%; JGC620 GS-S.L – 87,6%; Cummins 1750 GQNB – 86,3%; CAT 3512/CAT3532 – 75,3%; JGC320GS-S.L – 98,6%.

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

Приведены общие подходы к работе с ремонтно-эксплуатационным персоналом объектов распределённой 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 распределённой генерации;

- включение в закупочную документацию и договоры следующих требований к подрядным организациям: обязательное страхование производственной деятельности по оперативно-технологическому управлению и эксплуатации объектов распределённой генерации для возмещения ущерба, причинённого 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: Ю.П. Гусев (НИУ «МЭИ»), П.П. Безруких (комитет ВИЭ РосСНМО), А.М. Гельфанд (НП «НТС ЕЭС»), М.Д. Дильман (ИНЭИ РАН), Р.М. Хазиахметов (АО «Техническая инспекция ЕЭС»), А.В. Симонов (ООО «РТСофт-СГ»), Д.А. Ивановский (НИК С6 РНК СИГРЭ), П.В. Илюшин (председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределённые энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС»).

Заведующий кафедрой «Электрические станции» НИУ «МЭИ», к.т.н., доцент Ю.П. Гусев обратил внимание на то, что в настоящее время НИУ «МЭИ» планирует начать обучение студентов особенностям эксплуатации объектов распределённой 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 распределённой энергетики.

Ю.П. Гусев 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 вследствие коммутационных перенапряжений, отмечены в меньшей степени.

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

Председатель комитета ВИЭ РосСНМО академик РИА, д.т.н. П.П. Безруких обратил внимание на то, что около 40 % суммарной установленной мощности объектов распределённой генерации ПАО «ЛУКОЙЛ» функционирует в изолированном режиме. В соответствии 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 распределённой генерации должны участвовать в общем первичном регулировании частоты.

Он также отметил, что количество проблемных технических вопросов, связанных с эксплуатаци-



ей генерирующего оборудования, напрямую зависит от качества проектирования и разработки СВМ. Чем качественнее произведено проектирование, тем меньше нештатных ситуаций возникает при эксплуатации и, соответственно, меньше экономические ущербы у собственника.

Заслуженный работник ЕЭС России, член секции АСРЭ и РЭР НП «НТС ЕЭС» **А.М. Гельфанд** обратил внимание на то, что развитие собственной распределённой генерации на объектах нефтедобычи в первую очередь обусловлено необходимостью эффективной утилизации попутного нефтяного газа. На объектах распределённой 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 распределённой генерации на этапе проектирования целесообразно рассмотреть техническую возможность применения силовых преобразователей частоты в цепях статоров генераторов. Это содействует обеспечению динамической устойчивости генерирующих установок при возникновении большинства аварийных возмущений.

Советник генерального директора АО «Техническая инспекция ЕЭС» к.т.н. Р.М. Хазиахметов отметил, что проведение мониторинга, диагностики и оценки технического состояния генерирующих установок на объектах распределённой 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.

Секретарь НИК С6 РНК СИГРЭ, ученый секретарь секции «АСРЭ и РЭР» НП «НТС ЕЭС» Д.А. Ивановский 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 влия-

ние на особенности его эксплуатации, за исключением температурных зависимостей, например, для газотурбинных установок.

Накопленный ПАО «ЛУКОЙЛ» опыт в области эксплуатации объектов распределённой генерации в данное время не отражён в национальных стандартах и стандартах организации, 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.

Председатель секции «АСРЭ и РЭР» НП «НТС ЕЭС», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределённой энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН» д.т.н. П.В. Илюшин отметил, что ранее на объектах распределённой 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 распределённой генерации, обладают достаточно высокой аппаратной надёжностью.

На некоторых объектах распределённой 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 сжигания газа в факеле. Это связано с тем, что на технологических площадках имеются резервные генерирующие установки, а также возможности для глубокой переработки газа, эффективность которой составляет не менее 97,5%. Кроме того, избытки газа могут быть направлены на отопительные котельные.

В заключительном слове П.В. Илюшин отметил, что результаты анализа отечественного опыта эксплуатации генерирующих установок на объектах распределённой 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 распределённой 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 надёжности. Взаимодействие собственников объектов распределённой 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 распределённой генерации с учётом особенностей эксплуатации этих объектов.

СОВМЕСТНОЕ ЗАСЕДАНИЕ ОТМЕЧАЕТ

1. Важность представленного в докладе практического опыта в области эксплуатации отечественных и зарубежных газотурбинных и газопоршневых установок на объектах распределённой генерации ПАО «ЛУКОЙЛ».

2. Высокую потребность в квалифицированном сервисном обслуживании генерирующего оборудования объектов распределённой генерации, а также в обучении и повышении квалификации ремонтно-эксплуатационного персонала.

3. Важность взаимодействия между компаниями, эксплуатирующими объекты распределённой 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 организации курсов повышения квалификации персонала объектов распределённой генерации с учётом 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 распределённой 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 распределённые энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» доклад, отражающий проблемные технические вопросы, связанные с электрической частью генерирующего оборудования объектов распределённой 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.