

Комплекс мероприятий, разработанный в рамках проекта модернизации газотурбинного двигателя ГТД-110*

Заседание 21 июля 2020 г. проведено в режиме видеоконференции, в которой приняли участие: представители АО “Татэнерго”, АО “Институт Гидропроект”, НИУ “МЭИ”, ЗАО “Интеравтоматика”, АО “СО ЕЭС”, ПАО “ОДК-Сатурн”, ИСЭМ РАН, Группы компаний “ИнЭнерджи”, ОАО “НПО ЦКТИ”, ПН “Прорыв”, НТЦ “ФСК ЕЭС”, ПАО “Интер РАО”, ООО “ИЦ “Газотурбинные технологии”, ООО “Газпром энергохолдинг”, ОАО “ВТИ”, АО “Институт “Теплоэлектропроект”, Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, Совета РАН по проблема развития энергетики, Научного совета РАН по комплексной проблеме “Теплофизика и теплоэнергетика”, ПАО “РусГидро”, СКБ ГТУ, АО “Техническая инспекция ЕЭС”.

Заседание открыл президент НП “НТС ЕЭС”, ректор НИУ “МЭИ”, доктор техн. наук, профессор Н. Д. Роголёв. В своём вступительном слове Н. Д. Роголёв отметил важность создания газовых турбин ГТЭ-110М для обеспечения модернизации электростанций и развития новых мощностей.

Со вступительным словом выступил доктор техн. наук А. Я. Копсов – президент компании ООО “К-Энерго”. Он отметил важность модернизации газотурбинных двигателей ГТД-110, выпускаемых ПАО “ОДК-Сатурн”.

В процессе эксплуатации на электростанциях на них выявилось много недостатков и узких мест. По инициативе ПАО “Интер РАО”, УК “РОСНАНО” и ПАО “ОДК Сатурн” была осуществлена глубокая модернизация двигателя, и сегодня будут рассмотрены результаты этой работы.

К реализации проекта были привлечены, кроме названных компаний, предприятия и институты, специализирующиеся в области газотурбостроения, такие как ОАО “ВТИ”, НПО “ЦНИИТМАШ”, ОАО “НПО ЦКТИ”, ЦИАМ им. П. И. Баранова, ЗАО “Интеравтоматика” и другие научные и специализированные организации.

В настоящее время модернизированный двигатель ГТД-110М российского производства прошёл регламентные испытания и успешно работает в составе второго энергоблока Ивановских ПГУ.

Надеюсь, что сегодняшнее обсуждение будет способствовать ускорению внедрения отечественного двигателя ГТД-110М в серийное производство.

С докладом “О модернизации газотурбинного двигателя ГТД-110М” выступил А. Н. Климов – главный конструктор ООО “ИЦ “Газотурбинные технологии” (доклад подготовлен совместно с В. В. Романовым – техническим директором и С. М. Скиртой – главным специалистом ООО “ИЦ “Газотурбинные технологии”).

В докладе отмечено, что для реализации проекта ГТД-110М создан инжиниринговый центр ООО “ИЦ “Газотурбинные технологии”, задачей которого была модернизация двигателя ГТД-110 в целях повышения надёжности его работы и увеличения паркового ресурса, а также доведения технических характеристик до уровня зарубежных аналогов близкой мощности.

Работы по проекту начались в середине 2014 г. и проводились с привлечением наиболее компетентных в области газотурбостроения предприятий и институтов.

В ходе выполнения проекта разработаны технологические и конструктивные мероприятия, позволяющие устранить ранее выявленные проблемы и обеспечить требуемые показатели надёжности. Все модернизированные узлы, аппараты и детали прошли испытания и проверку эффективности на стендах ПАО “ОДК-Сатурн”, ОАО “НПО ЦКТИ”, ОАО “ВТИ” и в составе опытного двигателя ГТД-110 (заводской № 2), а затем внедрены на серийный двигатель ГТД-110 (заводской № 6), находящийся в опытно-промышленной эксплуатации в ячейке второго энергоблока Ивановских ПГУ.

Наиболее важными для обеспечения ресурса являются мероприятия по рабочей лопатке первой ступени турбины и штатной камере сгорания с учётом возможности параллельной проверки и обеспечения опережающей наработки на серийных двигателях в ячейках энергоблоков Ивановских ПГУ.

Кроме них, проведена оптимизация теплового состояния сопловых аппаратов турбины, изменено

* По материалам совместного заседания Научно-технического совета НП “НТС ЕЭС” и Секции по проблемам надёжности и безопасности больших систем энергетики Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике от 21 июля 2020 г.

число сопловых лопаток первой и второй ступеней для снижения динамического воздействия на рабочие лопатки, разработаны составы и технология нанесения термобарьерных и износостойких наноструктурированных покрытий, выполнена доработка трубопроводов обвязки воздухоохладителей.

Ряд работ проведён по моделированию, верификации и оптимизации вибрационного состояния системы роторов. На основании расчётно-исследовательских и опытных работ разработана конструкция и выпущена документация на модернизированные узлы.

Значимой частью проекта была разработка малоэмиссионной камеры сгорания (МЭКС) на уровень вредных выбросов NO_x 25 млн^{-1} в диапазоне 50 – 100% номинальной мощности турбины. По результатам проекта проведены испытания при полных и частичных нагрузках, выпущена конструкторская документация и изготовлен комплект МЭКС для подтверждения заданных характеристик в составе двигателя ГТД-110М. Для проведения испытаний в составе двигателя обновлены алгоритмы САУ и системы розжига, контроля пульсаций и эмиссии.

Усовершенствованы тепло- и звукоизоляция, снижены гидравлические потери во входном тракте ГТД. Разработаны и внедрены мероприятия по устранению вибрации выхлопного газохода.

При реализации проекта выполнено пять этапов испытаний на модернизированном опытном двигателе ГТД-110М (заводской № 2). В ходе их проведены термо- и тензометрирование рабочих лопаток и дисков 1-й – 4-й ступеней турбины, термометрирование деталей статора турбины и деталей камеры сгорания.

Модернизирован также двигатель ГТД-110 (заводской № 6) и проведены его успешные длительные испытания. По их результатам и оценке технического состояния при эндоскопическом осмотре основных деталей и узлов с частичной разборкой, двигатель допущен к опытно-промышленной эксплуатации в ячейке второго энергоблока Ивановских ПГУ по диспетчерскому графику.

В настоящее время он работает в условиях конкурентного рынка электрической энергии и мощности. Его суммарная текущая наработка составляет более 5100 эквивалентных часов.

Таким образом, создан отечественный газотурбинный двигатель большой мощности с характеристиками, не уступающими зарубежным аналогам.

В докладе “Развитие проекта ГТД-110М” В. В. Бушманов – и.о. главного конструктора по ГТД-110, сообщил, что на ПАО “ОДК-Сатурн” в рамках проекта выполнен объём опытно-конструкторских работ, аналогичный созданию нового двигателя. Были изготовлены опытные образцы рабочих и сопловых лопаток турбины, жаровых

труб, газосборников, блоков форсунок и других деталей, выполнена препарация, поузловая доводка деталей в составе стендовых установок и испытания в составе препарированных двигателей ГТД-110 № 2 и ГТД-110 № 6 на испытательном стенде Ивановских ПГУ.

При выполнении работ создана динамическая 3D-модель двигателя на раме для оценки критических частот вращения системы роторов с учётом податливости опор и корпусов. Проведён анализ прочности и ресурса роторов компрессора и турбины по 2D- и 3D-моделям, разработаны расчётные 3D-модели сопряжённого теплообмена рабочих колёс первой и второй ступени турбины с учётом смежных полостей. Разработана расчётная модель сопряжённого теплообмена соплового аппарата первой ступени турбины с учётом смежных полостей и сделана оценка его теплового состояния с учётом неравномерности температурного поля за камерой сгорания. Расчётные модели были верифицированы по результатам испытаний препарированного ГТД-110 № 2.

Изготовлен комплект жаровых труб и горелочных устройств МЭКС для испытаний в составе двигателя. Выполнена доработка топливного оборудования испытательного стенда Ивановских ПГУ. Подготовлено проведение комплекса испытаний МЭКС в составе двигателя с последующей постановкой (внедрением) её на серийных двигателях.

По состоянию на 21.07.2020 г. наработка ГТД-110М № 6 с внедрёнными мероприятиями по проекту ГТД-110М в составе испытательного стенда и блока № 2 Ивановских ПГУ составила 5166 эквивалентных часов. Параметры двигателя соответствуют техническим условиям R1 0009500ТУ.

С экспертным заключением выступил М. С. Золотоголов – главный специалист ОАО “НПО ЦКТИ”.

Первостепенной задачей модернизации ГТЭ-110 являлось обеспечение ресурса наиболее напряжённых рабочих лопаток турбины и камеры сгорания для достижения межремонтного ресурса не менее 25 000 эквивалентных часов с плановыми периодическими инспекциями и полного назначенного ресурса не менее 100 000 эквивалентных часов.

ОАО “НПО ЦКТИ” принимало непосредственное участие в выполнении и обсуждении работ.

Одним из наиболее существенных дефектов, отмечавшихся при эксплуатации ГТД-110, являлся обрыв рабочей лопатки 1-й ступени турбины по замковому соединению. По результатам исследований фрагментов разрушившихся лопаток выявлено, что разрушение носит усталостный характер. Зонай зарождения трещины является галтель над средним или над верхним зубом (со стороны

входной кромки и спинки по диагонали острого угла).

Расчётами ОАО “НПО ЦКТИ” было показано, что разрушения происходят по 2-й форме колебаний, и указано на возможность возникновения резонансных режимов на 40-й и 48-й гармониках (что соответствует числу лопаток сопловых аппаратов 1-й и 2-й ступеней соответственно), а также на исключительно малый осевой зазор между сопловым аппаратом и рабочей лопаткой 1-й ступени. Была определена также высокая термонапряжённость трактовой полки (со стороны входной кромки) и неоптимальная схема охлаждения рабочей лопатки.

Кроме того, рядом организаций было указано на возможность снижения работоспособности лопатки из-за:

- особенностей её конструкции (массивная жёсткая ножка, составляющая до 50% массы лопатки, узкая замковая часть и др.);

- длительного запуска двигателя до холостого хода и времени нахождения на резонансных режимах;

- неравномерного распределения напряжений в замковом соединении из-за значительной разницы коэффициентов теплового расширения материалов рабочей лопатки и диска.

С учётом этих замечаний и рекомендаций были разработаны конструктивные и технологические мероприятия для устранения дефекта и обеспечения ресурса рабочей лопатки 1-й ступени турбины:

- в конструкцию внедрён демпфер;
- оптимизирована схема охлаждения;
- изменено число лопаток сопловых аппаратов 1-й и 2-й ступеней;
- сопловой аппарат 1-й ступени смещён в сторону камеры сгорания.

Кроме того, выполнены целесообразные дополнительные мероприятия:

- изменена конструкция ножки замка;
- увеличена ширина замка;
- изменена конструкция реборды;
- выполнена подрезка выходной кромки рабочей лопатки;
- внедрена разношаговость в замковом соединении;

- выполнена разнонаправленная подрезка выходной кромки соплового аппарата 1-й ступени;
- оптимизирован химический состав сплава ЧС88У-ВИ (в пределах паспорта на сплав), режимы литья и термообработки;

- применено наноструктурированное термобарьерное покрытие.

Все указанные мероприятия внедрены на серийной ресурсной рабочей лопатке двигателя.

Кроме того, ПАО “ОДК-Сатурн” были устранены дефекты внешней обвязки (трещины трубопроводов, обрыв кронштейнов, разрушение силь-

фонных компенсаторов и т.д.). И дефекты штатной камеры сгорания.

Выполнена разработка малоэмиссионной камеры горения. Изготовлен комплект жаровых труб для натурального двигателя. Эти работы обсуждены и одобрены на заседании НТС ООО “ИЦ “Газотурбинные технологии” 04.12.2019 г.

Заключительными этапами реализации проекта модернизации являются испытания на стенде АО “Стенд” модернизированного двигателя ГТД-110 № 2 (выполнены пять этапов, в ходе которых проведены термо- и тензометрирование рабочих лопаток и дисков 1-й – 4-й ступеней турбины, термометрирование деталей статора турбины и деталей камеры сгорания) и на АО “Стенд” в ячейке штатного блока ПГУ-325 модернизированного двигателя ГТД-110 № 6. В настоящее время этот двигатель с комплексом внедрённых мероприятий успешно эксплуатируется.

По результатам анализа представленных материалов, с учётом выполненных ОАО “НПО ЦКТИ” работ сделаны следующие выводы:

1. Результаты работ по проекту создания газотурбинного двигателя ГТД-110М, представленные для экспертной оценки, свидетельствуют о глубоком понимании авторским коллективом выявленных в ходе опытной эксплуатации проблем.

2. Представленные материалы свидетельствуют о грамотной и полной постановке расчётных, экспериментальных и конструкторско-технологических работ, а показанные результаты свидетельствуют также о глубокой проработке всех внедрённых в серийную конструкцию мероприятий и решений.

3. Комплекс мероприятий, разработанный в ходе проекта и внедрённый в серийный двигатель ГТД-110М, прошёл проверку эффективности и работоспособности в ходе нескольких этапов испытаний, в том числе в условиях опытно-промышленной эксплуатации в ячейке штатного блока Ивановских ПГУ.

4. На основании анализа представленных материалов о положительных результатах длительных испытаний модернизированного агрегата ГТД-110М, следует считать проведённую работу по модернизации агрегата эффективной и ведущей к достижению поставленных целей.

Необходимо продолжить следующие работы по усовершенствованию агрегата:

ПАО “ОДК-Сатурн” разработал конструкторскую документацию на оптимизированный диск 3-й ступени турбины. Этот вариант в основном соответствует результатам расчётов, ранее выданных ОАО “НПО ЦКТИ”. Считаем необходимым рекомендовать этот вариант диска для использования во всех вновь изготавливаемых агрегатах ГТД-110М;

продолжить оптимизацию систем охлаждения, в частности, корневой и периферийной полок со-

пловой лопатки 1-й ступени (хотя бы в расчётном плане).

С сообщением “Создание двигателя ГТД-110М” выступил Г. Г. Ольховский – член-кор. РАН, президент ОАО “ВТИ”, председатель секции “Тепловые электростанции” НП “НТС ЭЭС”.

Газотурбинной установке ГТЭ-110 не повезло. Вначале она была спроектирована НПО “Машпроект” в г. Николаеве (Украина). Головной образец был изготовлен и испытывался также НПО “Машпроект” на своём стенде, а все последующие ГТУ выпускались уже в России ОАО “НПО Сатурн” в г. Рыбинске, для которого эта была лицензионная продукция.

Возникавшие трудности рассматривались без участия разработчика и не получали должной технической оценки. Лишь несколько лет назад, после соглашения ПАО “ОДК-Сатурн”, ПАО “ИнтерРАО” и УК “РОСНАНО” были созданы нормальные условия для доводки ГТУ, проведён необходимый объём исследований и разработаны изменения конструкции, устранившие причины неполадок. В настоящее время двигатель, на котором выполнены эти изменения, прошёл длительные испытания.

Важный вопрос, не получивший пока решения, – это установка на двигатель комплекта малоэмиссионных жаровых труб камеры сгорания, полностью изготовленных и отработанных на стенде, и их испытания.

Другой важный вопрос – это организация серийного производства ГТД-110М в количестве, обеспечивающем потребности технического перевооружения и нового строительства ТЭЦ.

В настоящее время на отечественных ТЭЦ установлено около 60 ГВт энергоустановок с докритическими параметрами пара, из них 8 ГВт – на давлении 9 МПа и температуру 510 – 540°C. Возраст большей части из них превысит к 2025 г. 55 лет.

Энергетическое оборудование не отвечает современным требованиям по тепловой экономичности, манёвренности, автоматизации, воздействию на окружающую среду, ремонтным затратам. Экономика страны несёт большие потери из-за перерасхода топлива. На таком оборудовании модернизировать энергетику нельзя.

Действующие в нашей стране энергетические рынки не создают стимулов для разработки новых технологий и оборудования. Для рынка модернизации решающим фактором является её минимальная цена. Это всегда означает использование технологически старых, уже давно освоенных конструкций и технологий.

Для техперевооружения ТЭЦ целесообразно использовать парогазовые установки с ГТУ мощностью 65, 110 – 120 и 160 – 170 МВт. Работы, ранее выполненные В. В. Нечаевым, показали, что

для этого потребуется 250 – 300 таких ГТУ, в том числе более 100 мощностью 110 – 120 МВт.

Необходимо правительственное решение о масштабном техническом перевооружении ТЭЦ с использованием парогазовых установок там, где они работают на природном газе.

Важно сформировать заказ со стороны потребителей ГТУ-110М, обеспечивающий производство не менее 10 – 15 машин в год.

В обсуждении докладов приняли участие: В. Е. Михайлов – генеральный директор ОАО “НПО ЦКТИ”, доктор техн. наук, профессор Ю. А. Радин – ОАО “ВТИ”, канд. техн. наук Р. М. Хазиахметов – АО “Техническая инспекция ЭЭС”, С. В. Куликов – главный инженер – технический директор Филиала “Ивановские ПГУ” АО “ИнтерРАО – Электрогенерация”, кан. техн. наук Ю. П. Гусев – заведующий кафедрой электрических станций НИУ “МЭИ”, А. С. Иванов – начальник отдела продаж энергетических ГТД ПАО “ОДК-Сатурн” и др.

Комментарий доктор техн. наук В. А. Биленко – технического директора ЗАО “Интеравтоматика”, председателя секции АСУТП НП “НТС ЭЭС”.

Весь цикл испытаний двигателей ГТД-110М – как опытного двигателя ГТД-110М (заводской № 2) на испытательном стенде, так и находящегося в опытно-промышленной эксплуатации в ячейке блока ПГУ серийного двигателя ГТД-110М (заводской № 6) – обязательно сопровождался включением в работу всего необходимого объёма технологической автоматики: защит, блокировок, регуляторов, сигнализации и др.

При проведении модернизации ГТД-110М затруднений со стороны автоматики не было. В процессе работ возникала необходимость внесения изменений в САУ ГТД, которые были реализованы в АСУТП стенда, а затем перенесены в АСУТП энергоблока № 2.

ЗАО “Интеравтоматика” разработало и реализовало в САУ стенда алгоритмы управления ГТД-110М с малоэмиссионной камерой сгорания с учётом доработанной схемы распределения топливного газа.

В целях локализации производства ГТД-110М в России целесообразно все дальнейшие образцы газотурбинной техники автоматизировать только на российском оборудовании.

Комментарий доктора техн. наук, профессора В. Е. Михайлова – генерального директора ОАО “НПО ЦКТИ”.

Усовершенствованная конструкция газотурбинных двигателей ГТД-110М является очень хорошей. Целесообразно расширять производство ГТД-110М.

Комментарий доктора техн. наук, профессора В. Г. Грибина – заведующего кафедрой паровых и газовых турбин НИУ “МЭИ”.

В презентациях и заключении эксперта представлены данные по разработке и внедрению комплекса мероприятий, которые заслуживают высокой оценки.

Необходимо провести анализ возможностей дальнейшего снижения аэродинамических потерь в проточной части ГТУ и дальнейшего повышения эффективности двигателя.

Целесообразно продолжить опытно-промышленную эксплуатацию модернизированного двигателя ГТД-110 и рассмотреть на Научно-технической совете НП “НТС ЕЭС” результаты эксплуатации и дефектации после 6500 ч работы.

Комментарий А. С. Иванова – начальника отдела продаж энергетических ГТД ПАО “ОДК-Сатурн”.

В настоящее время разработан бизнес-план выпуска ГТД-110М. Предприятие ПАО “ОДК-Сатурн” готово выпускать 4 турбины в год.

Комментарий Г. Г. Ольховского – ОАО “ВТИ”.

Как уже отмечалось, количество турбин для техперевооружения ТЭЦ очень велико. Если переводить стоимость отечественных газовых турбин в доллары США не по курсу продажи нефти, а по паритету покупательной способности (что более правильно), то их стоимость будет существенно ниже зарубежных.

С заключительным словом выступил доктор техн. наук А. Я. Копсов – президент компании ООО “К-Энерго”.

Уважаемые коллеги, мне понравилось сегодняшнее обсуждение. Оно прошло активно, несмотря на режим видеоконференции. Подавляющее число участников выступило с одобрением проведённой работы и рекомендовало запуск ГТД-110М в серийное производство.

Сегодняшняя обстановка обострила необходимость импортозамещения этого оборудования. Для этого имеются положительные предпосылки.

Давайте вспомним, что после московской аварии в мае 2005 г. оперативно, в течении двух лет, ОАО “Силовые машины” изготовили для московских электростанций шесть газовых турбин ГТЭ-160, три паровые турбины и девять генераторов.

Сегодня три ПГУ-450, на которых около 90% оборудования изготовлено в России, успешно эксплуатируются на ТЭЦ-21 и ТЭЦ-27 в Мосэнерго.

В 2007 г. ОАО “Силовые машины” изготовили газовую турбину ГТЭ-65, которая была установлена на Московской ТЭЦ-9. К сожалению, эта турбина не была доведена до нормального эксплуатационного состояния.

К чему я это говорю: сегодня у российских энергомашиностроительных компаний, в частности, у ПАО “ОДК-Сатурн” и ПАО “Силовые машины” имеются все возможности для производства газовых турбин единичной мощностью 65, 110

и 180 МВт, на базе которых можно формировать ПГУ в диапазоне мощностей 100 – 600 МВт.

Надеюсь, что сегодняшнее решение, будет способствовать организации серийного производства ГТД-110М.

Совместное заседание отмечает

1. В соответствии с государственной программой “Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности” и подпрограммой “Силовая электротехника и энергетическое машиностроение”, направленных на поддержание российских производителей газотурбинного оборудования, принято решение о совершенствовании конструкции газотурбинных двигателей ГТД-110, выпускаемых ПАО “ОДК-Сатурн” и установленных на электростанциях филиала “Ивановские ПГУ” АО “Интер РАО Электрогенерация” и Рязанской ГРЭС-24. Направления работ по повышению надёжности и улучшению технических характеристик были определены по результатам эксплуатации газовых турбин на этих электростанциях и материалов экспертной комиссии, созданной по инициативе ПАО “Интер РАО”, УК “РОСНАНО” и ПАО “ОДК-Сатурн”.

2. Для реализации проекта модернизации ГТД-110 группой компаний создано ООО “ИЦ “Газотурбинные технологии”, перед которым была поставлена задача по совместной с ПАО “ОДК-Сатурн” работе по доведению ГТД-110 до технического уровня зарубежных ГТУ в данном классе мощности. В работе приняли участие наиболее компетентные в области газотурбостроения предприятия и институты: ПАО “ОДК-Сатурн”, ПАО “Интер РАО”, УК “РОСНАНО”, ОАО “НПО ЦКТИ”, ОАО “ВТИ”, ЗАО “Интеравтоматика”, ОАО “ЦНИИТМАШ”, ФГУП “ЦИАМ им. П. А. Баранова” и др.

3. При реализации указанного проекта разработан ряд технологических и конструктивных мероприятий, позволяющих устранить ранее выявленные в процессе эксплуатации оборудования недостатки и дефекты и обеспечить требуемые показатели надёжности и экономичности. Всё модернизированное оборудование проходило испытания на стендах или в составе двигателей ГТД-110М заводской № 2 и заводской № 6.

4. Наиболее важными для решения поставленных задач явились мероприятия по рабочей лопатке первой ступени турбины и штатной камере сгорания.

Проведены также мероприятия по оптимизации теплового состояния сопловых аппаратов турбины, вибрационного состояния системы роторов, разработке составов и технологий нанесения термобарьерных и износостойких наноструктурированных покрытий.

Значимой являлась разработка малоэмиссионной камеры сгорания с обеспечением выбросов NO_x в 25 млн^{-1} в диапазоне мощностей 50 – 100%.

Изготовлен комплект жаровых труб для поставки на двигатель, подготовлены алгоритмы САУ и дополнительные системы розжига, контроля пульсаций и эмиссии.

В соответствии с техническим заданием ИЦ “ГТТ”, ОАО “ВТИ” и ЗАО “Интеравтоматика” разработали и реализовали в САУ стенда алгоритмы управления ГТД-110М с малоэмиссионной камерой сгорания с учётом доработанной схемы распределения топливного газа.

5. Эффективность и достаточность разработанных и проведённых мероприятий подтверждены в ходе исследований на стендах ПАО “ОДК Сатурн”, ОАО “НПО ЦКТИ”, ОАО “ВТИ” и нескольких этапов работы двигателя на площадке Ивановских ПГУ.

6. Параллельно с доводкой ГТУ проведены работы по усовершенствованию тепло- и звукоизоляции, снижены гидравлические потери во входном тракте ГТУ, реализованы мероприятия по устранению вибраций выхлопного газотока.

Выполнены пять этапов испытаний, в ходе которых проведены термо- и тензометрирование рабочих лопаток и дисков 1-й – 4-й ступеней турбины, термометрирование деталей статора турбины и деталей камеры сгорания.

В рамках проекта был также модернизирован двигатель ГТД-110 (заводской № 6), который использован для подконтрольной эксплуатации в ячейке второго блока ПГУ-325. После наработки 2545 эквивалентных часов проведена его инспекция с частичной разборкой двигателя и эндоскопический осмотр всего газоздушного тракта, выполнена дефектация основных деталей и узлов.

7. Весь цикл испытаний двигателей ГТД-110М сопровождался включением в работу всего объёма технологической автоматики, реализованной ЗАО “Интеравтоматика” на базе программно-технических средств (ТПТС) российского производства доведён до типового решения.

8. Положительные результаты испытаний позволили допустить двигатель ГТД-110М (заводской № 6) в опытно-промышленную эксплуатацию в ячейке блока ПГУ № 2 для работы по диспетчерскому графику. В настоящее время этот двигатель с комплексом внедрённых мероприятий успешно эксплуатируется в условиях конкурентного рынка электрической энергии и мощности. На сегодняшний день его суммарная наработка составляет 5166 эквивалентных часов.

9. Длительные испытания двигателя ГТД-110М (заводской № 6) с внедрённым комплексом мероприятий в условиях испытательного стенда и опытно-промышленной эксплуатации дали положительный результат.

Разработанный комплекс мероприятий по проекту создания ГТД-110М включён в состав перевыпущенной конструкторско-технологической документации, которая готова к серийному производству.

10. Представленные к рассмотрению НТС материалы свидетельствуют о высоком техническом уровне выполненных расчётно-аналитических, экспериментально исследовательских и конструкторско-технологических работ и глубокой проработке проведённых мероприятий и решений.

11. Проект модернизации ГТД-110М, реализованный на площадке Ивановских ПГУ, является инновационным, поскольку он вводит в употребление значительно улучшенный процесс производства электроэнергии.

12. Целесообразно рекомендовать НП “Совет рынка” зарегистрировать для оборудования энергоблока ст. № 2 филиала Ивановские ПГУ АО “Интер ПАО Электрогенерация” признак генерирующего оборудования инновационного вида при работе на оптовом рынке электроэнергии и мощности в связи с наличием в его составе оборудования и решений инновационного вида (газовая турбина ГТД-110М).

13. Требуется разработать нормы повреждаемости для оценки технического состояния двигателя в условиях эксплуатации с целью принятия решения о продолжении его эксплуатации при выполнении технического обслуживания.

14. Необходимо провести испытания малоэмиссионной камеры сгорания в составе двигателя ГТД-110/ГТД-110М.

Совместное заседание решило

1. Одобрить работу ООО “ИЦ “Газотурбинные технологии”, ПАО “Интер ПАО”, ПАО “ОДК-Сатурн”, ОАО “ВТИ” и УК “РОСНАНО по модернизации газотурбинного двигателя ГТД-110 и доведению его технических характеристик и показателей надёжности работы до уровня, удовлетворяющего требованиям рынка электрической энергии и мощности Российской Федерации.

2. Считать положительным результат длительных испытаний двигателя ГТД-110 (заводской № 6) с внедрённым комплексом мероприятий (облик ГТД-110М) в условиях испытательного стенда и опытно-промышленной эксплуатации в составе ячейки блока ПГУ-325 суммарной наработкой 5166 эквивалентных часов.

3. Отметить, что разработанный комплекс мероприятий по проекту модернизации ГТД-110М включён в состав перевыпущенной конструкторско-технологической документации на ГТД-110М производства ПАО “ОДК Сатурн”, которая готова к серийному производству и соответствует постановлению Правительства РФ от 17.07.2015 г. № 719 “О подтверждении производства промышлен-

ленной продукции на территории Российской Федерации”.

4. Отметить значительный объём выполненных в ходе проекта расчётно аналитических работ с применением современных методик и программных комплексов, лабораторных и стендовых испытаний деталей и узлов, значительного числа металлургических и металлографических исследований и соответствие двигателя ГТД-110М заявленным в технических условиях характеристикам и требованиям целевых показателей проекта как в условиях испытательного стенда, так и в ячейке блока ПГУ.

Считать проведённые в рамках инвестиционного соглашения работы и комплекс мероприятий по устранению недостатков и повышению надёжности двигателя ГТД-110 успешными и подтвердившими свою эффективность.

5. Отметить, что весь цикл работ проводился с высоким уровнем автоматизации технологических процессов, реализованным ЗАО “Интеравтоматика” на базе типовых программно-технических средств (ТПТС) российского производства. Разработка доведена до типового решения, является существенным шагом в развитии средств управления и открывает возможность применения не только на ГТД-110М, но и другими ГТУ при локализации их производства в России.

6. Признать целесообразным проведение комплекса испытаний ГТД-110М с малоэмиссионной камерой сгорания.

7. Рекомендовать ПАО “ОДК-Сатурн” продолжить работы по импортозамещению комплектующих изделий ГТД-110М, созданию норм повреждаемости и внедрению удалённого мониторинга параметров в эксплуатации двигателя.

8. Признать проект модернизации ГТД-110М, реализованный на площадке Ивановских ПГУ инновационным и считать целесообразным присвоить энергоблоку № 2 статус инновационной площадки для отработки технических решений по доводке тепловой схемы и режимов работы ПГУ-325 с получением соответствующих преференций со стороны НП “Администратор торговой системы” и НП “Совет рынка” при работе на оптовом рынке электроэнергии и мощности.

9. Рекомендовать НП “Совет рынка” зарегистрировать для оборудования энергоблока ст. № 2 филиала “Ивановские ПГУ” АО “Интер РАО Электрогенерация” признак генерирующего оборудования инновационного вида при работе на оптовом рынке электроэнергии и мощности, в связи с наличием в его составе оборудования и решений инновационного вида (газовая турбина ГТД-110М).

10. Рекомендовать Минэнерго и Минпромторгу РФ модернизированный двигатель отечественного производства ГТД-110М к широкому применению в энергетике в программах технического перевооружения ТЭС, работающих на природном газе, при строительстве новых электростанций.