

«Газпром энергохолдинг индустриальные активы» на пути к импортонезависимости ГТУ

Заканчивается 2022 год, наступает время подведения итогов уходящего года. Энергомашинно-строительные предприятия Группы «Газпром энергохолдинг индустриальные активы» в текущем году реализовали ряд крупных проектов, направленных на импортозамещение и локализацию производства основного, вспомогательного оборудования и запасных частей газотурбинных установок, необходимых для обеспечения развития и бесперебойной работы газотранспортной системы и энергетических предприятий нашей страны.

Компания «Газпром энергохолдинг индустриальные активы», специализированное подразделение группы «Газпром энергохолдинг», была создана в 2019 году с целью консолидации активов в сфере энергетического машиностроения и обеспечения сервисных и ремонтных работ. Промышленная группа объединяет уникальные по своему профилю и опыту российские предприятия – АО «Невский завод», ООО «Центральный ремонтно-механический завод», ПАО «Тюменские моторостроители», ООО «Газэнергосервис», ОАО «Уралтурбо», ООО «ГЭХ Сервис газовых турбин», ООО «ИТЦ». Все эти предприятия активно включились в совместную работу и смогли достичь значительных успехов в решении наиболее актуальной задачи последнего времени – освоение компетенций в ремонте и сервисном обслуживании импортных образцов газотурбинных установок, с возможностью последующей 100% локализации не только ремонта, но и производства новых деталей и узлов.

Локализация производства и сервиса газотурбинной установки Т32

В настоящее время Невский завод является единственным в России производителем стационарных газовых турбин мощностью 32 МВт. Силами инженерного центра Невского завода осуществляется комплекс мероприятий по повышению надежности и экономичности стационарных газовых

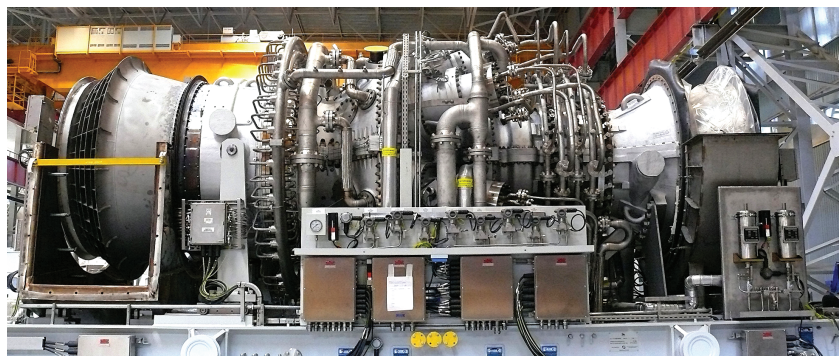


Фото 1. Газотурбинная установка Т32 на агрегатном производстве Невского завода

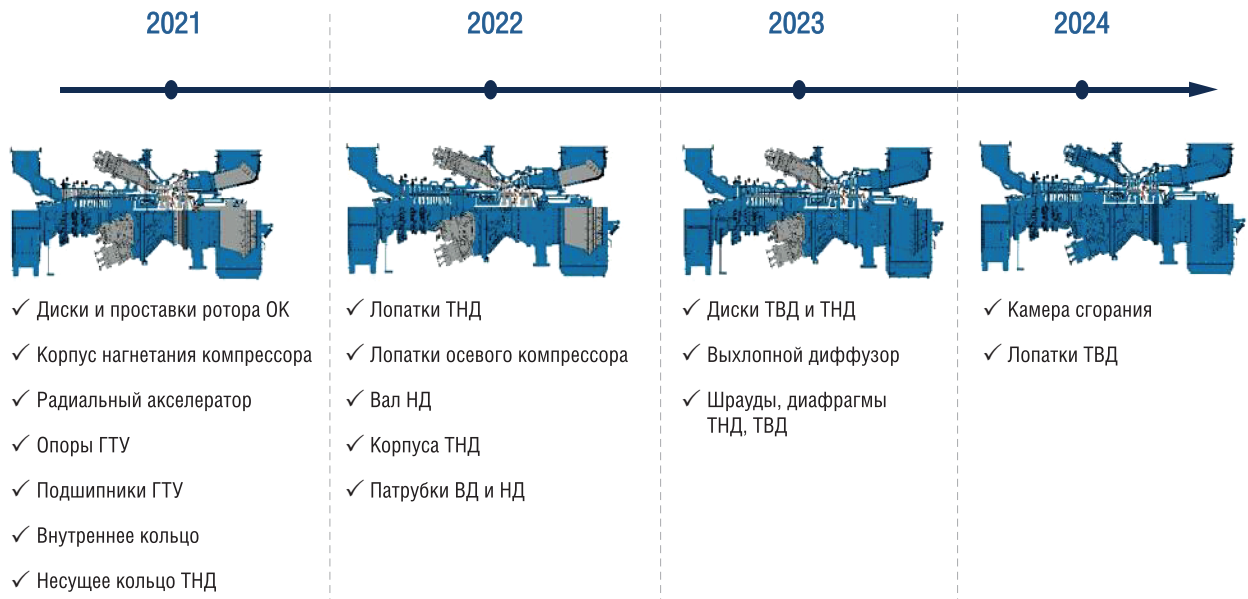


Рис. 1. Этапы локализации ГТУ Т32

турбин. Реализуется программа локализации элементов конструкции газотурбинного оборудования, разработана собственная система управления газоперекачивающим агрегатом на отечественной элементной базе, оптимизирована компоновка агрегата, проводятся мероприятия по повышению технико-экономических характеристик.

В рамках стратегической программы импортозамещения и локализации газотурбинной установки Т32, входящей в состав ГПА-32 «Ладога», а также программы локализации основного и вспомогательного оборудования ГПА-32 «Ладога», на Невском заводе активно ведется работа по локализации основного и вспомогательного оборудования. На сегодняшний день достигнут уровень локализации ГТУ Т32 более 75%. В планах до конца 2023 года – 85%, до конца 2024 года 100% (рис. 1).

На текущий момент выполняется замена оригинальных материалов на отечественные, осваиваются технологии изготовления основных компонентов ГТУ, в том числе компонентов «горячей» части, а также импортозамещение оборудования, обеспечивающего работоспособность ГТУ. Приобретено и введено в эксплуатацию технологическое оборудование, на котором освоена технология изготовления лопаток осевого компрессора. В кооперации с производителями РФ освоена технология изготовления всех литых заготовок корпусов ГТУ Т32. Освоены технологии изготовления дисков турбины низкого и высокого давления, а также лопаток турбины низкого давления. В кооперации с российским производителем ведется отработка технологии изготовления шраудов и диафрагм турбин низкого и высокого давления. По компонентам камеры сгорания специалистами Инженерного центра Невского завода завершается перевод конструкторской документации под технологические возможности российского производства с за-

меной на отечественные материалы. Осуществлена контрактация на производство компонентов камеры сгорания с отечественным производителем, а также по изготовлению лопаток турбины высокого давления.

В программу локализации включились сразу все предприятия Группы. В частности, на Невском заводе освоено производство элементов ротора осевого компрессора ГТУ – дисков, рабочих и направляющих лопаток. Завершена локализация основных корпусных элементов установки, освоена технология изготовления заготовок вала турбины и других важных элементов турбины низкого давления. На введенном в эксплуатацию комплексе оборудования, включающем станки для 5-осевой фрезерной и токарной обработки лопаток и установку дробеструйного уплотнения поверхностей, освоено изготовление всех ступеней лопаток ротора осевого компрессора ГТУ Т32.

В 2021 году в состав Группы вошло ведущее предприятие по производству запасных частей для импортных и отечественных газоперекачивающих агрегатов – АО «Газэнергосервис». Интеграция этого актива в производственную цепочку холдинга позволила значительно увеличить объемы и глубину кооперации, ускорить многие процессы локализации. Для ГТУ Т32 на производственных площадках АО «Газэнергосервис» освоено изготовление литых рабочих и направляющих лопаток ТНД 1-й и 2-й ступеней, а также ремонт элементов камеры сгорания.

ОАО «Уралтурбо» активно включилось в работу по производству рабочих и направляющих лопаток осевого компрессора, а также направляющих аппаратов ТВД и ТНД газотурбинной установки Т32.

Обслуживание газовых турбин в структуре холдинга обеспечивает ООО «ГЭХ Сервис газовых турбин». В 2021 году предприятие выполнило первый капитал-

ный ремонт газовой турбины зарубежного производства в полевых условиях самостоятельно, без привлечения зарубежных производителей. Кроме того, получен успешный опыт ремонта и обслуживания оборудования ГПА-32 «Ладога» на объектах ПАО «Газпром» и «Газпром нефть».

В кооперации с Невским заводом «ГЭХ Сервис газовых турбин» будет развивать эти компетенции на одном из ведущих предприятий «Газпрома» – Амурском ГПЗ, что стало возможным после подписания долгосрочного сервисного контракта.

Модернизация и повышение технико-экономических характеристик Т32 силами Инженерного центра Невского завода

Газотурбинные двигатели Т32 производства Невского завода от начала серийного производства в 2009–2010 г. не претерпели существенных модернизаций, оставаясь на уровне проектных показателей эффективности. К настоящему времени назрела необходимость разработки и проведения поэтапной модернизации с повышением эксплуатационных свойств, показателей экономичности и надежности. Реализация программы локализации производства газотурбинных двигателей в сочетании с проектом поэтапной модернизации значительно расширяет возможности Группы в сервисном обслуживании парка изготовленных ГТУ Т32.

В ходе дальнейшего совершенствования газовой турбины Т32 планируется повысить ее технико-экономические характеристики (табл.).

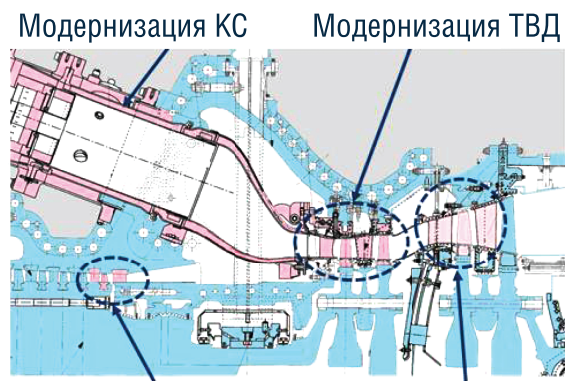
Этапы развития ГТУ			
	Т32	Т32М1	Т32М2
Год реализации	2024	2026	2028
КПД, %	36,2	37,5	39
Полный ресурс, ч	200 000	250 000	250 000
Техническое обслуживание, ч	4000	8000	10 000

На первом этапе будут выполнены следующие мероприятия:

- оптимизация режимов работы камеры сгорания;
- минимизация вторичных потерь;
- оптимизация и согласование проточной части ТВД и ТНД;
- установка 12-й ступени компрессора (рис. 2).

В результате проведения мероприятий предполагается повысить КПД ГТУ до 37,5 %.

На втором этапе предполагается проведение научно-исследовательских работ, направленных на существенный рост начальных характеристик цикла (поднятие степени сжатия до 22–24 и увеличение начальной температуры газа перед турбиной на ~ 50 °С), что позволит поднять КПД до 39%. Реализация таких решений потребует замены лопаточного аппарата компрессора, переработки конструкции турбин и оптимизации системы охлаждения лопаток.



Установка 12-й ступени Модернизация ТНД

Рис. 2. Планируемые мероприятия первого этапа модернизации Т32

Вышеперечисленные работы выполняются силами четырех профильных конструкторских бюро инженерного центра Невского завода:

- КБ газотурбинных приводов и турбин;
- СКБ автоматизации, регулирования и электротехнических систем;
- КБ ГПА и турбоагрегатов;
- СКБ систем магнитных подвесов.

Работы выполняются с использованием методов сквозного проектирования, конструкторская и технологическая документация загружается в систему управления жизненным циклом изделия, позволяющую автоматизировать процесс подготовки производства.

Модернизация компрессора. Наиболее эффективным резервом повышения экономичности ГТД является освоение более высоких степеней повышения давления в ОК и начальной температуры газа перед турбиной. В соответствии с термодинамической моделью рабочего цикла газотурбинного двигателя Т32 КПД цикла заметно растет при увеличении степени сжатия в ОК до значений $\pi_k \approx 22-24$. По предварительным оценкам, дополнительная 12-я ступень может обеспечить степень повышения давления $\pi_{12ст} \approx 1,13-1,14$. Таким образом, степень повышения давления в осевом компрессоре модернизированного двигателя можно прогнозировать на уровне $\pi_k \approx 19,2-19,5$.

На основе вышеприведенного анализа предложен вариант дополнительной 12-й ступени. Направляющий аппарат 11-й ступени сдвигается вдоль оси ОК таким образом, что входные кромки его лопаток располагаются позади зазора между валом и корпусом. На освободившееся место за рабочими лопатками 11-й ступени копируются сдвижкой вдоль оси ОК направляющий аппарат 10-й ступени и лопатки рабочего колеса 11-й ступени (рис. 3)

Модернизация камеры сгорания. В настоящий момент выполнен тепловой расчет камеры сгорания ГТУ Т32 (рис. 4); расчет гидравлики КС, учитывающий все вдувы вторичного воздуха, поступающего внутрь жа-

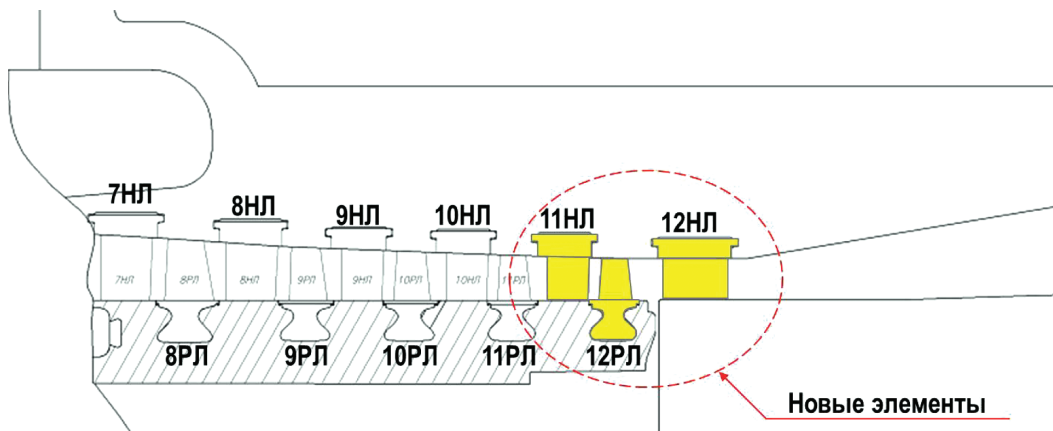


Рис. 3. Конфигурация проточной части выходной зоны компрессора с дополнительной 12-ой ступенью

ровой трубы. В результате расчета получены предварительные гидравлические характеристики основных трактов камеры сгорания: расходы, давления, скорости рабочих тел по трактам с целью использования их при назначении тепловых граничных условий. Расчеты физико-химического процесса горения природного газа в камере сгорания выполнены с использованием современного расчетного комплекса ANSYS Fluent.

Работа выполнена в рамках комплексного реинжиниринга узлов камеры сгорания, в составе программы локализации, включающей в себя внедрение мероприятий для повышения надежности и технологичности изготовления, применения российских материалов.

Камера сгорания является высокотехнологичным, сложным изделием, это один из основных узлов горячего тракта ГТУ. Она выполнена противоточной, с 6 выносными жаровыми трубами с технологией сжигания бедных, предварительно перемешанных топливозвоздушных смесей. Фронтное устройство содержит 5 равнорасположенных топливных форсунок. Охлаждение жаровой трубы осуществляется за счет снятия тепла импактно-конвективным способом с их наружной поверхности, на которой для увеличения теплоотдачи применяются кольцевые ребра. Охлаждение па-

трубков, подводящих продукты сгорания к турбине, осуществляется струйным обдувом наружной поверхности. ГТУ оснащена комбинированной системой сгорания топлива, работающей в двух режимах: диффузионном и сжиганием предварительно подготовленной бедной смеси топлива с воздухом.

Уточнение расчетной модели будет выполнено после проведения экспериментальных исследований секции камеры сгорания на специальном стенде совместно с ОАО «ВТИ».

Оптимизация выхлопного диффузора ГТУ. В рамках работ по локализации основного оборудования серийной ГТУ проведена оптимизация конструкции выхлопного диффузора. Оригинальная конструкция выхлопного диффузора ГТУ MS5002E включает в себя кольцевые направляющие лопатки, служащие для снижения потерь энергии потока. В результате работы спроектирован новый выхлопной безлопаточный диффузор (рис. 5). Расчет характеристик был выполнен методом численного моделирования в программном комплексе Ansys. По итогам расчетов установлено, что безлопаточная конструкция диффузора обладает лучшими газодинамическими характеристиками по сравнению с оригинальным вариантом. Также новая безлопаточная конструкция является дешевле на 40–50 % в сравнении с исходной,

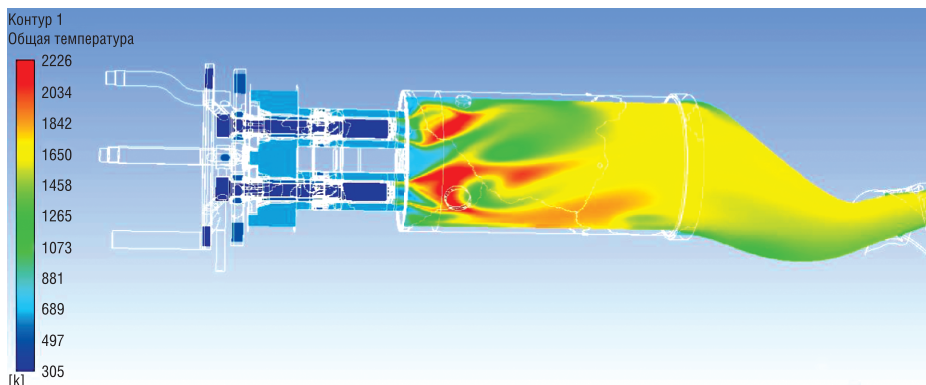


Рис. 4. Поле температур (К) в камере сгорания Т32

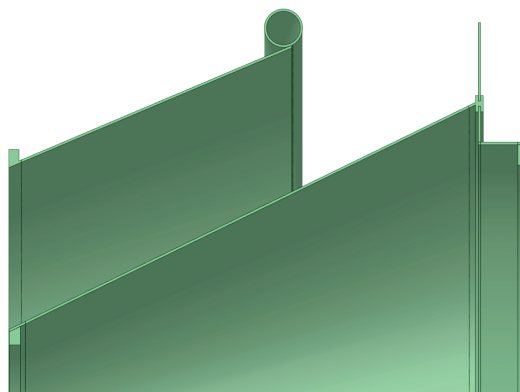


Рис. 5. Проточная часть новой безлопаточной конструкции выхлопного диффузора для ГТУ Т-32

обладает большей технологичностью в производстве, соответствует предъявляемым нормам и требованиям по эксплуатации.

Выхлопная система MS5002E включает в себя диффузор и выходной патрубков. Ключевой особенностью данной конструкции является наличие кольцевых направляющих лопаток, служащих для минимизации отрывных явлений в канале диффузора и плавного поворота потока на 90°. Конструкция диффузора также предусматривает наличие продольных ребер жесткости, расположенных радиально по выходному сечению, связывающих наружную обечайку и обтекатель. Главной проблемой является то, что полный состав упомянутых выше комплектующих является импортным. Изготовление поворотных частей диффузора и кольцевых направляющих лопаток – дорогостоящая и трудоемкая технологическая операция. Поэтому в настоящий момент остро стоит потребность в замене данной конструкции диффузора на более технологичную и дешевую, которую возможно изготавливать на производственной площадке Невского завода.



Фото 2. Блоки системы автоматического управления «ТЕКОН»

Итоговый вариант безлопаточного диффузора, сконструированного по результатам проектных работ, изображен на рис. 5. В его составе полностью отсутствуют штампованные детали. Для увеличения жесткости конструкции к наружной обечайке диффузора приварена вальцованная труба. Обтекатель выполнен из листа в виде соединения усеченного конуса и вертикального кольца. В результате себестоимость производства выхлопного диффузора сокращается на 40–50 % (с учетом динамичности рыночных цен), повышается мощность ГТУ и снижается расход топлива на номинальном режиме на 0,92 %, что в свою очередь также улучшает эксплуатационные показатели установки.

Внедрение российской комплексной системы автоматического управления ГТУ

Важным этапом в реализации программы локализации газотурбинной установки ГПА-32 «Ладога», стала разработка собственной комплексной системы автоматического управления (КСАУ) ГПА базе отечественного программно-технического комплекса «ТЕКОН» (фото 2).

Программно-технический комплекс «ТЕКОН» разработан на промышленных контроллерах и программном обеспечении (собственной SCADA-системе), которые включены в единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных в соответствии с Федеральным законом от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации». Кроме того, оборудование ГК «ТЕКОН» имеет все необходимые сертификаты и лицензии для применения на объектах ПАО «Газпром», соответствует требованиям Указа Президента РФ от 30.03.2022 № 166 «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», а также Постановления Правительства Российской Федерации от 17 июля 2015 г. № 719 «О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации».

В планах холдинга к 2025 году заменить все аналогичное зарубежное оборудование собственными разработками. В комплексную систему автоматического управления ГПА-32 «Ладога» в том числе будет интегрирована и система удаленного мониторинга, которая находится на завершающей стадии тестирования и разработки. Невский завод в тесной кооперации с ООО «ГЭХ Сервис газовых турбин» и Санкт-Петербургским политехническим университетом разработали полностью российский программный продукт. Он позволяет оценить текущее техническое состояние оборудования, снизить риски внеплановых остановов за счет контроля и анализа отклонений, выявляемых в ходе эксплуатации.

Система предназначена для работы на газотурбинных установках «Ладога» с возможностью дальнейшего распространения на ГТУ другого типа. Предполагается, что

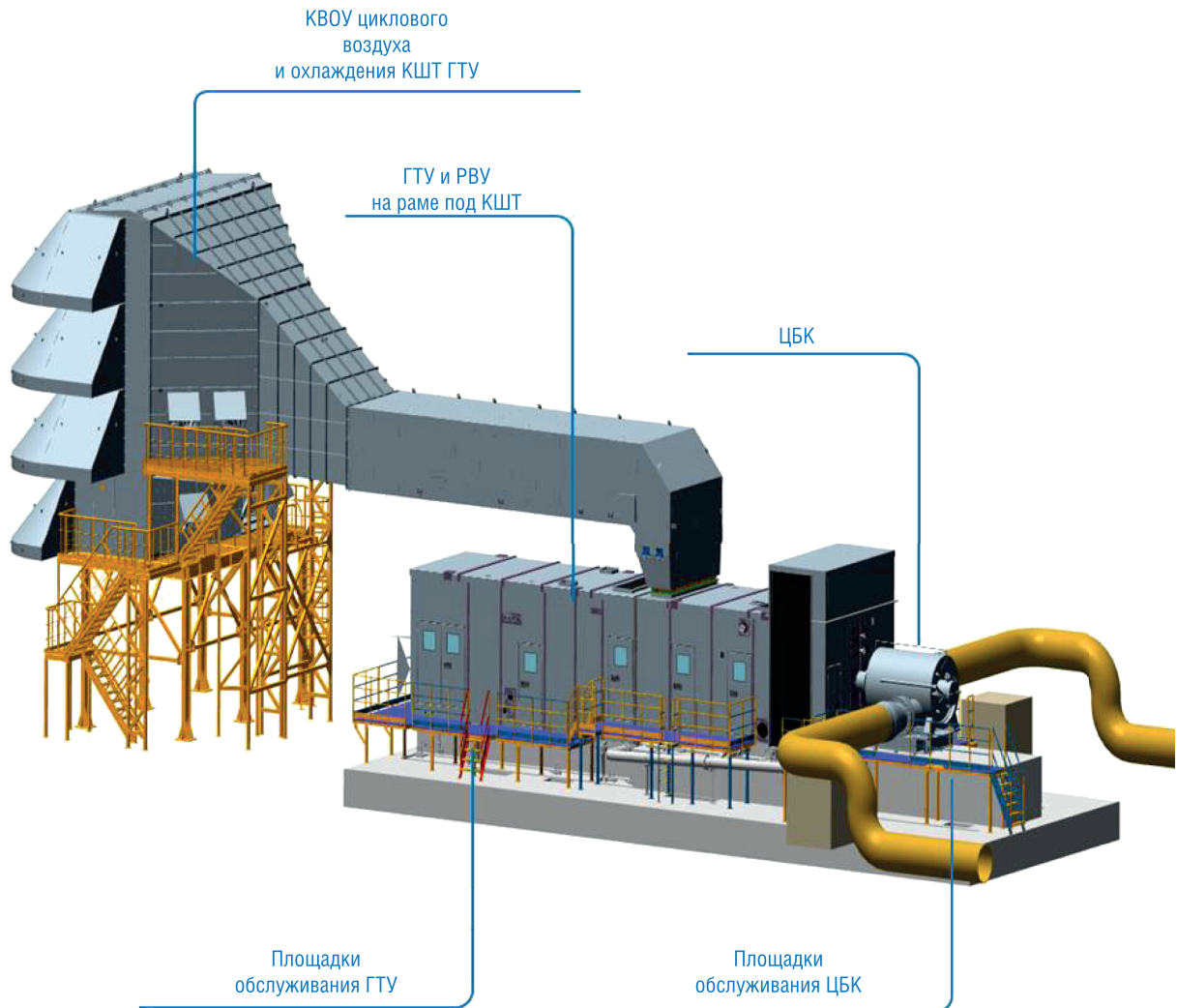


Рис. 6. Унифицированный профиль ГПА-32 «Ладога»

данная система станет одним из важных инструментов концепции долгосрочного технического обслуживания.

Создание унифицированного ГПА

Перед инженерами Группы стоит задача не только локализовать, но и унифицировать и усовершенствовать конструкцию ГПА, и такая работа уже начата.

Проведены работы по унификации и оптимизации компоновки ГПА-32 «Ладога» (рис. 6). Единые компоновочные решения обеспечивают взаимозаменяемость узлов, а также снижают «пятно застройки» не менее чем на 20 % и затраты на строительство компрессорных станций.

Разработка нового газотурбинного двигателя ТМ16

Подготовлена технологическая база для запуска в производство нового двигателя ГТД ТМ16. В рамках

кооперации, которая активно развивается между предприятиями Группы «Газпром энергохолдинг индустриальные активы», успешно решаются различные стратегические задачи, в том числе в области разработки новых продуктов. Предприятиями АО «Невский завод» и ПАО «Тюменские моторостроители» совместно со специалистами академических вузов разработан проект усовершенствованного газотурбинного двигателя мощностью 16 МВт, который должен стать альтернативой двигателям ДГ90, задействованным в парке ПАО «Газпром».

Современные конструкторские и технологические решения, реализованные в новом агрегате, позволят улучшить экологические показатели камеры сгорания двигателя и увеличить его КПД (35 %+). По результатам испытаний на базе ПАО «Тюменские моторостроители», решения расчетно-аналитических задач и конструкторско-технологической подготовки в ближайшее время компания приступит к производству перспективных газотурбинных двигателей.

