

Комплексные решения при проектировании и изготовлении ВОУ ГПА и энергетических агрегатов «Иртыш»

С. И. Бурдюгов², д.т.н. – заместитель руководителя, sburdyugov@ingc.ru

О. В. Бычков¹ – генеральный директор, obychkov@ingc.ru

В. Б. Ильин² – начальник отдела, vilin@ingc.ru

С. В. Кудрявцев² – заместитель генерального директора, skudriavtsev@ingc.ru

С. Ф. Машанов¹ – главный конструктор, smashanov@ingc.ru

С. Н. Шевнин² – генеральный директор, sshevnin@ingc.ru

¹ООО «ИНГК»

²ООО «ИНГК–Промтех»

Ключевые слова:

воздухоочистительное устройство, газотурбинная установка, газоперекачивающий агрегат, CFD-моделирование, модульная конструкция, энергоэффективность

Аннотация

В статье представлены этапы выполненных работ ООО «ИНГК» по разработке и изготовлению воздухоочистительных устройств (ВОУ) для газоперекачивающих агрегатов и энергетических агрегатов большой мощности, отмечены их основные особенности. Рассмотрен комплекс CFD-программ и методик многооперационных расчетов, применяемых для решения задач проектирования, определения конструктивных решений, обоснования оптимизации конструкции, снижения аэродинамического сопротивления.

Представлена концепция выбора конструктива и унификации элементов ВОУ модульного построения. Отмечены ряд особенностей и принятых технических решений, направленных на повышение надежности и энергоэффективности элементов конструкции. Особое внимание уделено ВОУ для энергетических агрегатов большой мощности, описаны конструктивные особенности и характеристики выполненных проектов. Рассмотрены технологии изготовления элементов ВОУ, применяемые передовые методы изготовления, контроля и испытаний.

Comprehensive solutions for the design and manufacture of GPU AIS and Irtysh power units

S.I. Burdyugov², Doctor of Engineering Science – Deputy Head, sburdyugov@ingc.ru

O.V. Bychkov¹ – General Director, obychkov@ingc.ru

V.B. Ilyin² – Department Head, vilin@ingc.ru

S.V. Kudryavtsev² – Deputy General Director, skudriavtsev@ingc.ru

S.F. Mashanov¹ – Chief Designer, smashanov@ingc.ru

S.N. Shevnin² – General Director, sshevnin@ingc.ru

¹INGC LLC

²INGC–Promtek LLC

Key words:

air intake system, gas turbine unit, gas pumping unit, CFD modeling, modular design, energy efficiency

Abstract

This article describes the stages of work carried out by INGC LLC on the development and manufacture of air intake systems (AIS) for gas-handling units and high-power energy units, and highlights their main features. The article examines the CFD software suite and multi-step calculation methods used to address design challenges, determine structural solutions, justify design optimization, and reduce the aerodynamic drag of the system. It presents a concept for selecting the design and standardizing the components of modularly constructed air intake systems.

A number of features and technical solutions aimed at improving the reliability and energy efficiency of structural elements are highlighted. Particular attention is paid to structural components for high-power energy units; the design features and characteristics of completed projects are described. Issues related to the technology and quality of manufacturing structural components are examined, along with the advanced methods of manufacturing, inspection, and testing employed.

ООО «ИНГК-Промтех» образовано в 2010 году. Основным видом деятельности предприятия является разработка и изготовление поршневых и винтовых компрессорных установок. По мере расширения портфеля заказов компания приступила к разработке и поставке ГПА. Первый ГПА-1601 серии «Иртыш» был поставлен в 2016 году на ДКС «Актыртобе», Республика Казахстан.

На следующем агрегате, изготовленном для нужд Газпрома, были проведены приемочные и сертификационные испытания, по их итогам утверждены ТУ на поставку ГПА серии «Иртыш».

Всего с 2016 года предприятием было изготовлено и поставлено 55 агрегатов с компрессорами и газотурбинными приводами ведущих отечественных и зарубежных производителей для подразделений компаний «Газпром», «Роснефть», «Лукойл», ИНК, СНПП, а также газотранспортных предприятий Казахстана, Узбекистана и Туркмении.

Изначально агрегаты комплектовались ВОУ сторонних изготовителей, в основном ООО «Самара-Авиагаз» и фирмы Donaldson. (Последние в основном применялись на объектах, находящихся в республиках Узбекистан и Казахстан, с учетом их местных особенностей климата).

Важной вехой в деятельности компании было изготовление в 2016–17 гг. ВОУ по давальческой конструкторской документации для Прегольской ТЭС, где установлены двигатели 6F.03 (6FA) мощностью 88 МВт производства компании GE Vernova (рис. 1).

Опыт изготовления данного ВОУ, а также элементов воздухозаборного тракта из состава первых поставленных ГПА позволил создать технологический и производственный задел, на базе которого ООО «ИНГК» самостоятельно приступило к проектированию и изготовлению агрегата с применением ВОУ собственной разработки.

Перед специалистами предприятия стояла комплексная задача спроектировать и изготовить наиболее надежное и энергоэффективное оборудование по подготовке рабочего тела ГТУ, учитывая различные режимы эксплуатации, и инженерных компонентов проекта (география размещения объекта, системы подогрева циклового воздуха, повышенные требования к надежности).

Для решения нестандартных задач и поиска наиболее эффективных решений для проекта ООО «ИНГК» анализирует опыт эксплуатации газоперекачивающих и энергетических объектов РФ и зарубежья.

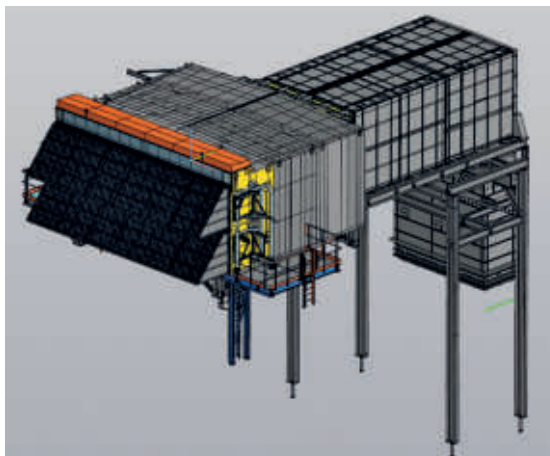


Рис. 1.
ВОУ Прегольской ТЭС

С помощью комплекса CFD-программ и разработанных методик многоитерационных расчетов успешно решаются следующие задачи:

1. *Оптимизация конструкции и форм элементов.* CFD-расчет позволяет смоделировать движение воздуха через все узлы ВОУ: фильтры, направляющие, завихрители, дренажные секции, шумоглушители и элементы тракта всасывания. Это обеспечивает:

- выявление зон турбулентности, застойных зон, обратных токов;
- подбор оптимальных геометрий каналов, поворотных колен, диффузоров;
- равномерное распределение воздушного потока по фильтрующим кассетам, что снижает локальные перегрузки;

2. *Снижение аэродинамического сопротивления.* CFD-анализ позволяет точно определить потери давления на каждом участке системы, что дает возможность:

- повысить надежность эксплуатации за счет увеличения ресурса работы воздушных фильтров ВОУ;
- повысить КПД всей установки;
- выбрать оптимальную компоновку без дорогостоящих физических испытаний;



Рис. 2.
Общий вид ВОУ с проставкой



Рис. 3.
Каркас ВОР с козырьками

- определить зоны преждевременного засорения;
- повысить срок службы фильтрующих элементов;
- оптимизировать расположение и комбинацию фильтров по степени очистки;

3. Анализ взаимодействия с внешними условиями: работа при осадках, снегопадах, обледенении; эффективность влагоотделения и подогрева воздуха; влияние загрязнений (пыль, аэрозоли);

4. Документированное обоснование проектных решений. Результаты CFD-анализа (карты скоростей, распределение давления, траектории потоков, визуализация влагоотделения и осадконакопления) используются:

- в технических отчетах и презентациях для заказчика;
- для сертификации и подтверждения соответствия стандартам (EN 779, ISO 16890, EN 1822, ASHRAE 52.2 и др.);
- при защите инженерных решений в проектных организациях и конкурсных закупках.



Рис. 4.
ВОР фильтрующего типа

При выборе конструктива ВОР была принята концепция модульного построения. В мировой и отечественной практике данный способ много лет используется в энергетических установках большой мощности, где в зависимости от климатических условий применяются различные наборы устройств подготовки воздуха, такие как защитные ролеты, теплообменники, капле- и влагоуловители, сетки против насекомых и птиц, различные комплекты фильтров [1].

Принятая ООО «ИНГК» линейка ВОР ГПА и ГТЭС в диапазоне мощности 4...32 МВт включает изделия, рассчитанные на расход циклового воздуха 45, 60, 80 и 100 кг/с. Для энергетических машин большой мощности расход определяется по параметрам конкретного типа двигателя. Разработка конструкторской документации проводится с учетом нормативных требований ПАО Газпром и РАО «ЕАС России» [2, 3].

За основу воздухоочистительного устройства принят корпус ВОР, расположенный на проставке (рис. 2). С двух сторон к корпусу примыкают секции, поставляемые отдельными грузовыми местами и собираемые вместе с корпусом и проставкой на заводе-изготовителе в рамках контрольных сборок (рис. 3).

В зависимости от климатического исполнения, требований заказчика и ограничений со стороны двигателя состав секций меняется – при неизменной конструкции корпуса и проставки, которые являются унифицированными узлами. Секции комплектуются площадками обслуживания и системой раздачи горячего воздуха (ПОС). Такой тип ВОР в приложении В СТО Газпром 2-2.1-226-2008 назван фильтрующим (рис. 4).

По желанию заказчика данная комплектация может быть дополнена противомоскитными и птичьими сетками. При этом в корпус устанавливаются компакт-кассеты, включающие влагоотделители, фильтры грубой и тонкой очистки, собранные в один узел. Присоединительные размеры в корпусе ВОР выполнены с учетом возможности установки фильтров различных поставщиков, присутствующих на российском рынке.

В северном исполнении комплектация секций предлагается в двух вариантах:

1. Оснащение мультициклонами, встроенными в конструкцию секций, площадками и воздухопроводами ПОС. При этом в корпус устанавливаются только фильтры тонкой очистки (рис. 5);

2. В состав секции входят не только площадки обслуживания и трубопроводы ПОС, но и отдельная ступень влагоотделения,

отстоящая от фильтров грубой и тонкой очистки на расстоянии, достаточном для прохода между ступенями и обслуживания ступеней влагоотделения и ФГО (рис. 6).

Вынесенные в отдельную ступень влагоотделители расположены Z-образно, благодаря чему удалось вдвое увеличить их фильтрующую поверхность, встречающую снеговую нагрузку, по сравнению с компоновкой, когда они входят в состав компакт-кассет с фильтрами грубой и тонкой очистки. Это позволяет повысить надежность работы ВОУ при повышенной снеговой нагрузке или инееобразовании без увеличения количества фильтров грубой и тонкой очистки и, соответственно, увеличения габаритов и металлоконструкции ВОУ. Для повышения надежности работы в экстремальных условиях предусмотрены также и другие мероприятия:

- увеличение высоты «юбки» ВОУ выше минимальной нормы, указанной в СТО Газпром 2-2.1-226-2008, с целью удлинения пути прохождения снеговых частиц от среза ОЗК до поверхности влагоотделителей;
- байпасный клапан максимально поднят и установлен в самой верхней части корпуса ВОУ;
- применение преградителей, препятствующих выдуванию тепла ПОС из-под ОЗК при боковом ветре;
- применение профильных уплотнений в стыках наружных листов с каркасом ОЗК, чтобы исключить подсос воздуха в зазоры.

Также следует сказать о распределении горячего воздуха ПОС, отбираемого от двигателя. По результатам численного моделирования было выявлено, что при наличии боковой ветровой нагрузки под козырьками ВОУ имеются зоны вихреобразования, расположенные вблизи козырька. Горячий воздух ПОС при классической схеме раздачи, когда сечение на срезе ОЗК полностью перекрыто коллекторами раздачи горячего воздуха, частично попадает в указанные зоны и циркулирует внутри стоячих вихрей, отдавая свое тепло внешней стенке ОЗК и далее в атмосферу. Для исключения данного явления схема раздачи воздуха ПОС оптимизирована таким образом, чтобы тепло воздуха ПОС не попадало в вихревые зоны, а полностью распределялось по поверхности влагоотделителей.

По мере расширения географии объектов компания «ИНГК-Промтех», в соответствии с вышеупомянутой концепцией, планирует в будущих проектах устанавливать в съемных секциях наборы как существующих, так и перспективных систем, в частности, фильтры с импульсной очисткой.

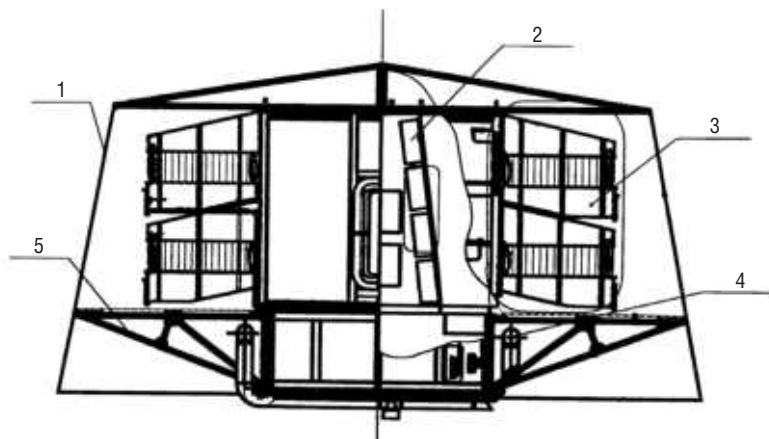


Рис. 5.
Воздухоочистительное устройство инерционно-фильтрующего типа:
1 – ОЗК;
2 – ступень тонкой очистки;
3 – инерционная ступень очистки;
4 – коллектор ПОС;
5 – площадки обслуживания

На предприятии существует программа импортозамещения, в соответствии с которой планируется изготавливать и поставлять ГТЭС с аналогами газовых турбин OPRA. Для испытаний турбины и энергоустановок на ее базе, а также ВОУ на предприятии создан испытательный стенд (рис. 7). Предполагается поставка данных энергетических установок в том числе в районы с жарким климатом и высокой запыленностью. Для реализации этих планов в КБ предприятия проработано ВОУ с импульсной очисткой, проведены его расчеты, подобраны комплектующие. По мере получения заказов будут сформированы планы выпуска КД и проведения испытаний импульсного ВОУ в составе стенда, с последующим тиражированием конструкторских решений на ВОУ ГПА.

Еще одно важное направление деятельности компании – разработка, изготовление и поставка ВОУ для приводов большой мощности. Это могут быть как энергетические установки, так и ВОУ агрегатов СПГ, доля которых увеличивается с каждым годом.

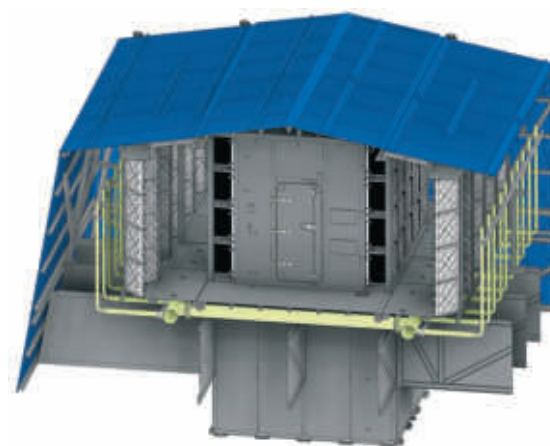


Рис. 6.
ВОУ инерционно-фильтрующего типа с системой влагоотделения



Рис. 7.
Испытательный стенд ГТЭС

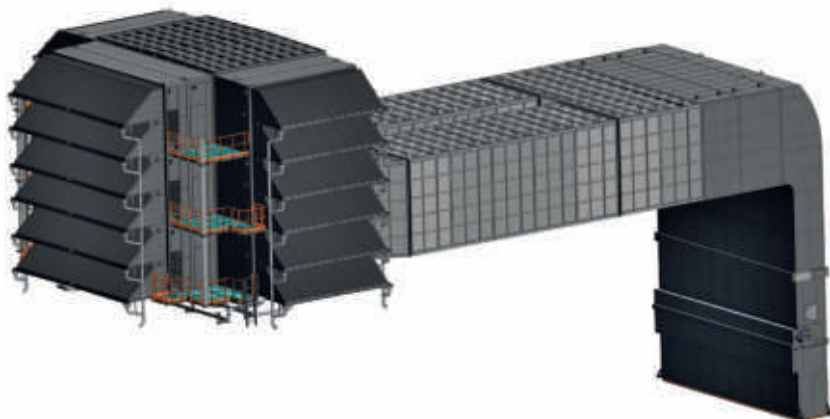
Как было отмечено ранее, предприятие поставляло на Прегольскую ТЭС (привод 6F.03 GE Vernova) воздухоочистительные устройства, изготовленные в 2016–17 гг. по давальческой КД на ВОУ. По аналогичной схеме была разработана КД и изготовлено в 2024–25 гг. ВОУ с трактом всасывания для Каширской ГРЭС (привод ГТЭ-170.1, АО «Силовые машины») (рис. 8).

Комплект поставки оборудования включал:

- ВОУ с противомоскитной сеткой, блоком влагоудаления, фильтрами грубой (М5) и тонкой (Е10) очистки по ГОСТ 3 ЕН 1822-1-2010;
- осадкозадерживающие козырьки (ОЗК);
- систему сбора и отвода конденсата;
- подогреватель воздуха, совмещенный с противообледенительной системой;
- блоки байпасных клапанов с системой подогрева;
- воздухопроводы, глушитель шума, компенсаторы, шибер, грузоподъемные механизмы, КИП, кабельные трассы, освещение;
- опорные конструкции, площадки и лестницы;
- автономную систему управления (АСУ).

Основные технические характеристики ГТЭ-170 представлены в табл. 1.

Рис. 8.
Общий вид ВОУ
с входящим трактом
для Каширской ГРЭС



В 2021 году была разработана КД на ВОУ для Заинской ГРЭС (привод 9НА.02 GE Vernova) (рис. 9), изготовление на данный момент приостановлено. Комплект поставки был аналогичен ВОУ для Каширской КС.

Основные технические характеристики 9НА.02 даны в табл. 2.

В 2024 году компания выиграла тендер на разработку, изготовление и поставку четырех ВОУ с трактом всасывания (рис. 10) и КШТ для Балтийского СПГ (ГТД-130). Оборудование находится в стадии изготовления и отправки заказчику.

В основном комплект поставки был аналогичен ВОУ для Каширской КС. Дополнительно в КВОУ входила секция очистки воздуха (G4) для системы охлаждения двигателя в КШТ и система СПЦВ, используемая для подогрева, вынесенный газовый блок подогрева (АВГМ).

Основные технические характеристики ГТЭ-130 приведены в табл. 3.

Учитывая большие габариты и массу ВОУ, например для Каширской ГРЭС масса более 220 тонн, а габариты 12х20х10 м, при проектировании для обеспечения транспортировки был выбран принцип разделения на блоки, обеспечивающие перевозку без транспортных ограничений (рис. 11).

Одним из важных видов деятельности предприятия является модернизация систем подготовки воздуха на объектах газоперекачки. Современные тенденции эксплуатации газоперекачивающих агрегатов требуют постоянного повышения энергоэффективности и надежности вспомогательных инженерных систем, в том числе систем воздушной очистки. На многих действующих объектах применяются морально и технически устаревшие решения, не обеспечивающие оптимальных параметров фильтрации, аэродинамического сопротивления и долговечности.

Параметр	Значение	
Модель турбины	ГТЭ-170.01	ГТЭ-170.02
Мощность газовой турбины, МВт	155	170
Номинальная пропускная способность, кг/с	510	535
Сопротивление тракта всасывания, Па	<950	
Уровень шума на расстоянии 1 м от воздухопроводов, дБА	<85	

Табл. 1.
Технические характеристики
газовой турбины ГТЭ-170

Параметр	Значение
Модель турбины	9НА.02
Мощность газовой турбины, МВт	571
Номинальная пропускная способность, кг/с	996
Сопротивление тракта всасывания, Па	<1000
Уровень шума на расстоянии 1 м от воздухопроводов, дБА	<80

Табл. 2.

Технические характеристики газовой турбины 9НА.02

Проведение модернизации существующих ВОУ позволяет:

- адаптировать системы подготовки воздуха к современным требованиям производителей газотурбинных установок;
- повысить эффективность фильтрации за счет внедрения новых типов фильтрующих материалов и многоступенчатых схем очистки;
- снизить аэродинамические потери и сопротивление на тракте воздухоподачи, что напрямую улучшает экономичность работы ГПА;
- продлить ресурс работы оборудования за счет применения коррозионно-стойких и влагозащитных конструкционных материалов;
- сократить затраты на обслуживание и ремонты благодаря унификации элементов и упрощению сервисных процедур.

Ожидаемый эффект от модернизации – это снижение эксплуатационных потерь по воздуху до 15–20 %, повышение ресурса фильтрующих элементов до двух раз, уменьшение затрат на ремонты и обслуживание до 30 %, а также обеспечение стабильной работы ГПА в условиях повышенной запыленности и влажности.

Таким образом, комплексная модернизация систем подготовки воздуха является эффективным инструментом повышения надежности, энергоэффективности и экономичности газоперекачивающих объектов без необходимости капитальной замены оборудования.

Параметр	Значение
Модель турбины	ГТЭ-130
Мощность газовой турбины, МВт	130
Номинальная пропускная способность, кг/с	компрессора двигателя 430
	системы охлаждения 104
Сопротивление тракта всасывания, Па	<1000
Уровень шума на расстоянии 1 м от воздухопроводов, дБА	<80

Табл. 3.

Технические характеристики газовой турбины ГТЭ-130

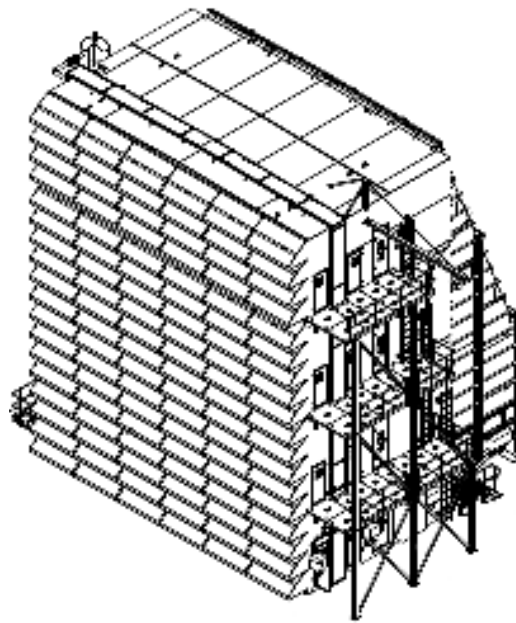


Рис. 9.
Общий вид ВОУ
для Заинской ГРЭС

С учетом полученного опыта изготовления, а также устранения замечаний от эксплуатирующих организаций предприятие постоянно совершенствует технологию изготовления, производственное оснащение и кооперацию.

Так, в процессе изготовления чистой зоны применяется сварка в защитном газе, без механической зачистки сварных швов. Используются листы максимальной длины и ширины, сварка листов из частей исключена. Где возможно, сварочные соединения заменены цельковыми, полученные гибкой, соответственно, количество сварных швов в чистой зоне минимизировано. Швы доступны для визуального и инструментального контроля, а также для исправления в случае выявления замечаний. С целью создания дополнительной защиты от коррозии после сварки швы пассивируются. На предприятии активно используется резка плазмой и лазером.

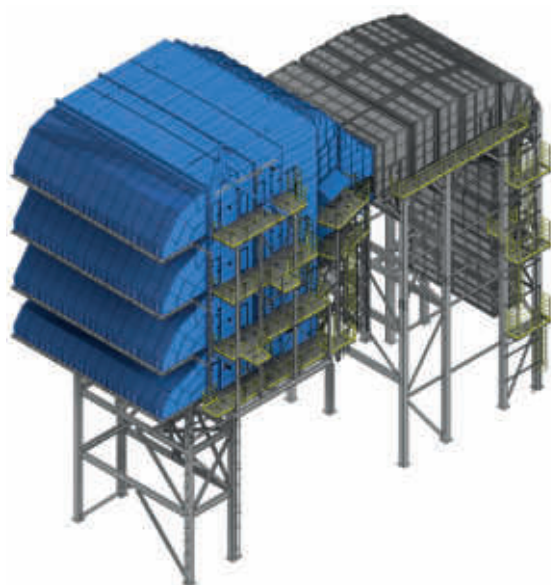
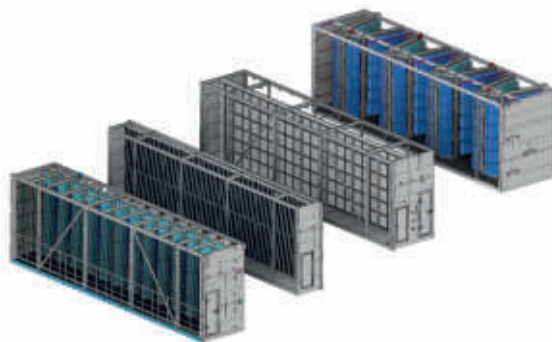


Рис. 10.
Общий вид ВОУ
с входящим трактом
для Балтийского СПГ

Рис. 11.
Транспортные блоки ВОУ



Количество перфорированных поверхностей оптимизировано, перфолисты применяются в кассетах шумоглушителей, а также в зонах поворота потока циклового воздуха, там, где возможно (без ущерба для шумовых характеристик), применяется сплошной лист.

Изготовление матчасти узлов организовано таким образом, чтобы производственные потоки, где используются углеродистые и нержавеющие стали, были максимально отделены друг от друга. Подготовка поверхностей и нанесение покрытия в каркасах блоков являются заключительными операциями, и влияние сварки, а также мехобработки на качество покрытия исключено. Для покраски имеются отдельные пескоструйные и покрасочные камеры. Транспортирование перфорированных составных частей изделий внутри предприятия производится в специальной технологической таре. На место эксплуатации изделия отправляются в упаковке, исключающей загрязнение чистой зоны при транспортировке и хранении.

Разработанные ООО «ИНГК» методы проектирования и технические решения по КВОУ позволяют обеспечить безопасную и надежную работу ГПА. Наличие высокоэффективного производства, собственного КБ гарантирует качественное проектирование и изготовление ВОУ для любых типов газотурбинных приводов. **ТД**

Список использованных источников

1. Жохов, В.Л. Воздухозаборные тракты энергетических ГТУ / В.Л. Жохов, Б. Аккайя – Рыбинск: ООО «Издательский дом «Газотурбинные технологии», 2023. – 240 с.
2. СТО Газпром 2-2.1-226-2008. Технические требования к воздухоочистительным устройствам газоперекачивающих агрегатов. – 16 с.
3. СТО Газпром 2-3.5-138-2007 Типовые технические требования к газотурбинным ГПА и их системам. – 24 с.
4. Общие технические требования. Общие технические требования к системам фильтрации воздуха для энергетических газотурбинных установок. – М.: Технорматив, 2008. – 9 с.

На производстве ООО «ИНГК» продолжается изготовление двух ЭГПА для ДКС Saneg в Узбекистане.

Электроприводные газоперекачивающие агрегаты модели ЭГПА-1401 изготавливаются для дожимной компрессорной станции Saneg в Республике Узбекистан. Заказчиком выступает IP LLC Sanoat Energetika Guruhi (Saneg), проект осуществляется при участии Enter Engineering Pte Ltd.

ЭГПА-1401 предназначен для круглогодичного компримирования сероводородсодержащего газа, отбираемого из сетей заказчика, обеспечивая непрерывный режим работы в соответствии с требованиями промышленной эксплуатации.

В настоящий момент на производственных площадках компании «ИНГК» ведется изготовление блоков двигателя-компрессора, сборка систем жизнеобеспечения и площадок обслуживания, а также выполняются заготовительные операции для изготовления блоков управления и блоков обеспечения.

На текущий этап производственного процесса получено давальческое оборудование – компрессоры SBW (КНР), а также ожидается поставка двигателя для одного из агрегатов.

Реализация данного проекта не только очередной раз подтверждает расширение международного присутствия ООО «ИНГК» и укрепляет партнерские связи с предприятиями стран СНГ, но и способствует повышению эффективности газоперекачивающих процессов на ДКС Saneg, обеспечивая надежность инфраструктуры заказчика за счет внедрения современного компрессорного оборудования.

INGK continues to manufacture two EGPA units for the Saneg compressor station in Uzbekistan

INGK is carrying out a project to manufacture two EGPA-1401 electric gas-handling units for the Saneg booster compressor station in the Republic of Uzbekistan.

