

январь  
февраль  
**2023**

# Турбины и Дизели

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**№1** (106)

## Увеличена мощность ГТЭС Azito в г. Абиджан, Кот-д'Ивуар



16+



**Управление генерацией  
в изолированных энергосистемах  
нефтегазовых месторождений**

**Исследование физико-химических  
процессов в гидродинамическом  
кавитаторе**



- Системы зажигания
- Визуальные уровнемеры
- Системы контроля детонации
- Регуляторы оборотов и актуаторы
- Воздушные и газовые стартеры
- Компоненты системы зажигания
- Системы управления компрессорами
- Системы соотношения воздух/топливо
- Контроллеры и зарядные устройства
- Высоковольтные провода
- Регуляторы уровня масла
- Измерительные приборы
- Датчики уровня
- Свечи зажигания промышленной серии
- Каталитические нейтрализаторы и глушители



**Хатрако – ваш надежный и компетентный партнер по поставке запасных частей в России и Европе.**

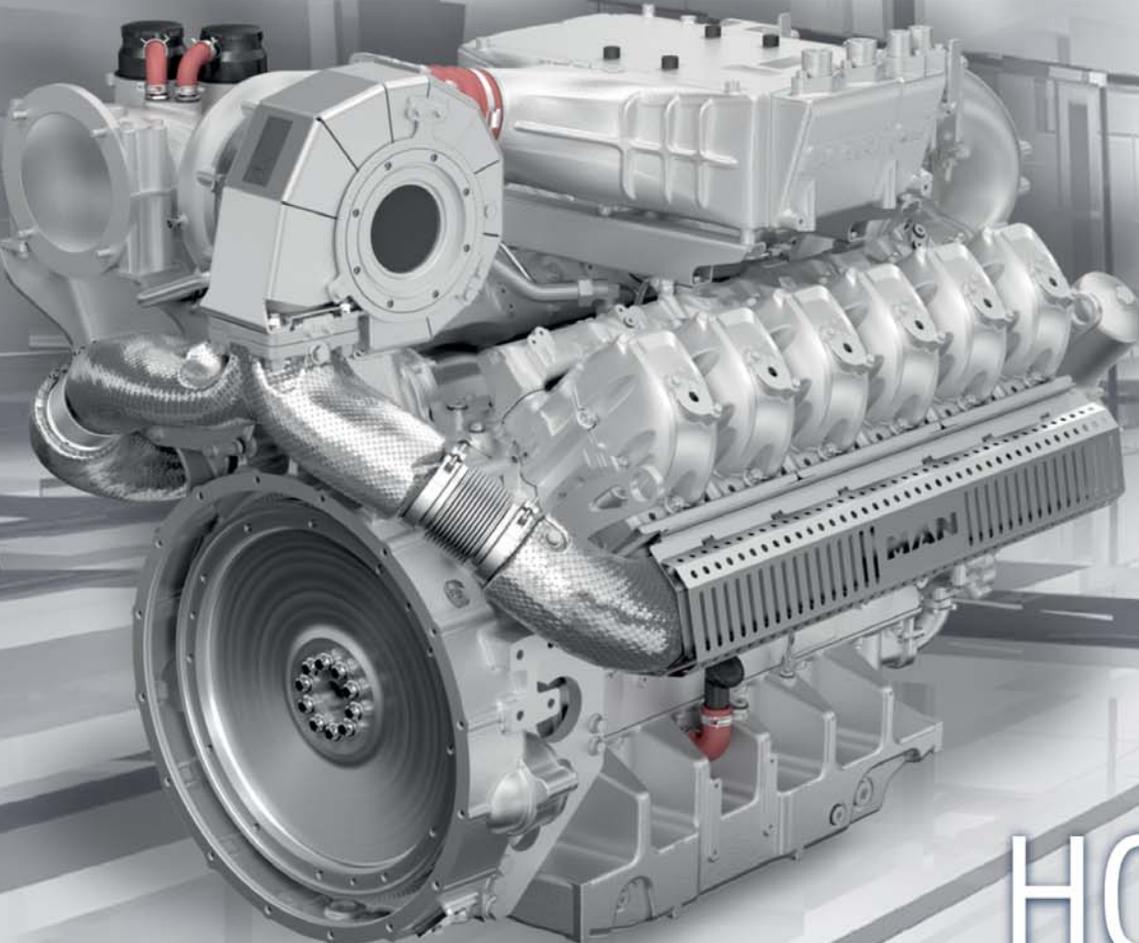
РЕКЛАМА



# Газовые двигатели MAN



Для природного  
и специального  
газа



## НОВИНКА MAN E3872

Новый газовый двигатель MAN E3872 с КПД 44,0% ,  
мощностью 735 кВт с рабочим объемом 29,6 литров  
и всего от 12 цилиндров!

РЕКЛАМА

**ООО «МТ-Групп» - генеральный импортер и центральная  
сервисная станция MAN в России**

г. Санкт-Петербург  
тел. (812) 309-46-46

sales@man-engines.ru  
<http://man-engines.ru>

# Содержание

январь-февраль 2023, № 1(106)



Фото на обложке:  
ГТЭС мощностью 180 МВт на базе установки GT13E2-MXL2 производства GE в Республике Кот-д'Ивуар

62



6

## 4 Газотурбинные установки Перспективы развития газотурбинной установки Т32 в составе агрегата ГПА-32 «Ладога»

К. О. Гилев, И. Ю. Кляйррок (к.т.н.), А. Ю. Култышев (к.т.н.) –  
ООО «Газпром энергохолдинг индустриальные активы»  
А. В. Скороходов – АО «Невский завод»

## 10 Передовые проекты Управление генерацией в изолированных энергосистемах нефтегазовых месторождений

Д. М. Фарахшин, А. Н. Шишаев – ООО «Спутник-Энергетика»  
Единая система автоматизированного централизованного управления ГТЭС  
«Центральная» и «Западная» на Ярактинском месторождении Иркутской  
нефтяной компании позволила обеспечить равномерную загрузку  
генерирующего оборудования в части распределения активной и реактивной  
мощности при параллельной работе без участия оперативного персонала.



10

## 16 Эксплуатация, сервис TAIF Rave PAO синтетическое турбинное масло: замещение импортных смазочных материалов для оборудования СПГ

И. А. Степанков – ООО «С-Техникс»

## 22 Новые разработки ГПА производства ИНГК модульного исполнения

С. И. Бурдюгов (д.т.н.), О. В. Бычков, А. Р. Макс, Е. А. Чепкасов – ООО «ИНГК»  
И. С. Згогурин – ООО «Иркутская нефтяная компания»



16

## 28 Технологии Исследование физико-химических процессов в гидродинамическом кавитаторе

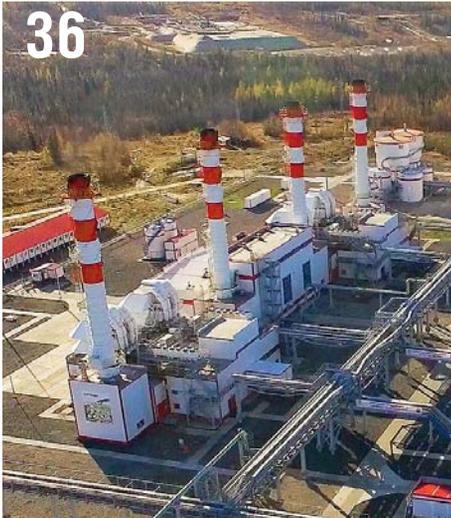
С. А. Мешков, Н. Г. Родионов, Ю. Н. Саблюков, М. Г. Черкасова, Н. И. Смирнова –  
ООО «Экспектр», Москва



28



22



36



48

## 36 Передовые проекты Энергия пермских турбин для ООО «Лукойл-Коми»

*Д. Д. Сулимов, С. Б. Мишенин – АО «ОДК-Авиадвигатель»*

*Газотурбинная электростанция собственных нужд ГТУ-ТЭЦ электрической мощностью 100 МВт введена в эксплуатацию на Усинском нефтяном месторождении ООО «Лукойл-Коми» в июле 2016 года. Это самый мощный энергетический комплекс ПАО «Лукойл» в Республике Коми, построенный на базе отечественных газотурбинных агрегатов ГТЭС-25ПА.*

## 42 Научные исследования Научное обоснование и разработка модульного принципа создания паротурбинной установки

*А. Ю. Култышев, к.т.н. – ООО «Газпром энергохолдинг индустриальные активы»*

*В статье приведены доводы о необходимости развития турбостроительных предприятий по современной концепции, включающей цифровую трансформацию, внедрение модульных принципов и подходов, а также оптимизацию модулей, составляющих конструкцию выпускаемого оборудования.*

## 50 Новые разработки Энергетическая судовая газотурбинная установка

*А. Б. Агафонов, Б. Н. Агафонов (к.т.н.), А. А. Савицкий – ЗАО «Энерготех»  
В. Ю. Клинецвич, В. М. Михайлов – ООО «Энергодвижение»*

*В статье описаны основные узлы и элементы судовой энергетической установки мощностью 2 МВт. Особый акцент сделан на инновационных технических и технологических решениях, примененных в элементах конструкции установки.*

## 58 Научные исследования Особенности транспортировки водородосодержащих природных газов по действующим газопроводам

*Д. М. Ляличев, Д. Е. Матюха, С. Ю. Сальников, В. А. Щуровский (к.т.н.), Е. А. Черникова – ООО «Газпром ВНИИГАЗ»*



54



56

### Редационный совет

Буров В. Д.  
Бычков О. В.  
Гарибов Г. С.  
Култышев А. Ю.  
Лебедев А. С.  
Сигидов Я. Ю.  
Сулимов Д. Д.  
Шайхутдинов А. З.  
Шаповало А. А.

**Главный редактор**  
Капралов Д. А.

**Литературный редактор**  
Зинченко Г. М.

**Переводчик**  
Капралова А. Д.

**Дизайн и верстка**  
Понакушина А. Е.

**Учредитель ООО «Турбомашинь»**

**Генеральный директор**  
Капралов Д. А.

**Коммерческий директор**  
Троицкий А. А.

**Директор по маркетингу**  
Капралова Л. Е.

**Менеджер по работе с клиентами**  
Торицина Т. А.

**Генеральный партнер**  
ООО «Газпром энергохолдинг индустриальные активы»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

**Свидетельство о регистрации**  
ПИ № ФС77-84053 от 28 октября 2022 г.

**Адрес редакции и издателя**  
Россия, 152925, г. Рыбинск Ярославской обл., ул. Бабушкина, д. 21, оф. 47.  
**Тел./факс** (4855) 285-997.  
**E-mail:** info@turbine-diesel.ru

**Адрес в сети Интернет**  
www.turbine-diesel.ru

**Подписные индексы** в объединенном каталоге «Пресса России»:  
– журнал «Турбины и Дизели» – **87906**  
– каталог оборудования «Турбины и Дизели» – **87907**

Журнал отпечатан – ИП Голубин А. М.  
Адрес типографии:  
г. Рыбинск Ярославской обл., ул. Блюхера, д. 7

Цена свободная.  
Тираж 3000 экз.

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов публикации.  
Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов

Дата выхода номера в свет 06.03.2023 г.



Полное или частичное воспроизведение или размножение каким бы то ни было способом материалов, опубликованных в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения издательства ООО «Турбомашинь»

## Перспективы развития газотурбинной установки Т32 в составе агрегата ГПА-32 «Ладога»

**К.О. Гилев, И.Ю. Кляйнрок (к.т.н.), А.Ю. Култышев (к.т.н.) –  
ООО «Газпром энергохолдинг индустриальные активы»  
А.В. Скороходов – АО «Невский завод»**

Невский завод успешно освоил производство современной газотурбинной установки мощностью 32 МВт и обладает полной технической свободой для завершения мероприятий по локализации и дальнейшему самостоятельному совершенствованию ее конструкции.

**In brief**  
**Prospects for the  
development of T32  
gas turbine plant  
as part of GPA-32 Ladoga  
gas pumping unit.**  
*Nevsky Plant is the only  
domestic manufacturer  
of modern gas pumping  
units based on a station-  
ary gas turbine with a  
capacity of 32 MW.  
The first GPA-32 Ladoga  
gas pumping unit with a  
T32 gas turbine (based  
on a gas turbine type  
MS5002E manufactured  
by Nuovo Pignone,  
Italy) was put into oper-  
ation in 2011. Currently,  
Nevsky Plant has manu-  
factured and delivered  
more than 80  
GPA-32 Ladoga gas  
pumping units  
to the facilities of the  
Russian gas  
transmission network.*

**Н**евский завод на сегодня является един-  
ственным отечественным производителем  
современных газоперекачивающих агре-  
гатов на базе стационарной газовой турбины  
мощностью 32 МВт.

Первый газоперекачивающий агрегат  
ГПА-32 «Ладога» с газовой турбиной Т32  
(на базе газовой турбины типа MS5002E  
производства Nuovo Pignone, Италия) введен  
в эксплуатацию в 2011 году. На тот момент  
на зарубежных объектах находилась всего  
одна установка такого типа, в связи с чем  
оригинальный завод-изготовитель не имел  
статистики отказов по газовой турбине  
MS5002E. Технические решения, заложенные  
в ее конструкцию, предстояло отработать в  
ходе эксплуатации агрегатов.

В последующий период, в 2012–2022 гг.,  
Невский завод довел серийное производство  
до 10–12 агрегатов в год, расширив долю  
применяемых отечественных компонентов и  
вспомогательного оборудования. Кроме того,  
были внедрены мероприятия по повышению  
надежности и улучшению конструкции  
агрегатов на основе опыта, полученного в  
ходе эксплуатации и технического обслужива-  
ния ГПА на российских газотранспортных  
объектах.

В настоящее время Невским заводом  
изготовлено и поставлено на объекты  
газотранспортной сети РФ более 80 газопере-  
качивающих агрегатов ГПА-32 «Ладога».  
Суммарная наработка парка установленного  
оборудования составляет свыше 900 тыс. часов.  
Значительное количество установленного  
оборудования, с одной стороны, характери-  
зует ГПА-32 «Ладога» как надежный и  
востребованный агрегат, с другой стороны,  
позволяет Невскому заводу проводить систе-  
матизацию и статистический анализ неисправ-  
ностей, на основе чего разрабатывать даль-  
нейшие мероприятия по совершенствованию  
конструкции и повышению надежности ГПА.

Конструктивно газотурбинная установка  
Т32 представляет собой двухвальный агрегат  
открытого термодинамического цикла со сво-  
бодной (силовой) турбиной низкого давления  
(ТНД). Компрессорная секция ГТУ состоит из  
11-ступенчатого высокопроизводительного  
осевого компрессора с регулируемым входным  
каналом. Турбины высокого и низкого давле-  
ния имеют по две ступени. В ГТУ используется  
многокамерная система сгорания протivotоч-  
ного типа, шесть камер которой установлены  
на выходном корпусе компрессора. Корпус  
выполнен с горизонтальным разъемом.

В базовом варианте конструкции агрегат поставляется в виде двух блоков: непосредственно газовой турбины на собственной раме и вспомогательных устройств, обеспечивающих ее работоспособность, расположенных на отдельной вспомогательной опорной раме (РВО). На РВО размещены пусковая система с механизмом вращения ротора, система смазки (маслобак), блок топливного газа и другое вспомогательное оборудование. Такое исполнение агрегата называется двухрамным.

В целях уменьшения площади застройки при установке ГТУ, а также сокращения сроков и затрат на изготовление оборудования и его монтаж разработано однорамное исполнение агрегата, когда газовая турбина и вспомогательное оборудование размещаются на единой раме и едином фундаменте (рис. 1).

ГТУ оборудована шумотеплоизоляционным кожухом (КШТ), обеспечивающим защиту персонала компрессорной станции от акустических, тепловых и механических воздействий находящегося в нем технологического оборудования (рис. 2).

В рамках стратегической программы импортозамещения и локализации газотурбинной установки MS5002E, входящей в состав ГПА-32 «Ладога», а также локализации основного и вспомогательного оборудования агрегата Невский завод активно ведет работу по постановке на производство основного и вспомогательного оборудования установки. На сегодня уровень локализации ГТУ Т32 составляет более 75 %. Планируется до конца 2023 года достигнуть 85 % локализации и до конца 2024 года – 100 %.

На текущий момент выполняется замена оригинальных материалов отечественными аналогами и освоение технологии изготовления основных компонентов ГТУ, в том числе компонентов «горячей» части, а также импортозамещение оборудования, обеспечивающего работоспособность ГТУ. Невским заводом приобретено и введено в эксплуатацию технологическое оборудование, на котором освоена технология изготовления лопаток осевого компрессора.

В кооперации с российскими производителями освоена технология изготовления всех литевых заготовок корпусов Т32. В завершающей стадии находится освоение технологии изготовления дисков турбин низкого и высокого давления, а также лопаток ТНД. Также в кооперации с производителем РФ ведется отработка технологии изготовления шраудов и диафрагм турбин низкого и высокого давления.

По компонентам камеры сгорания специалисты Невского завода выполняют конструк-

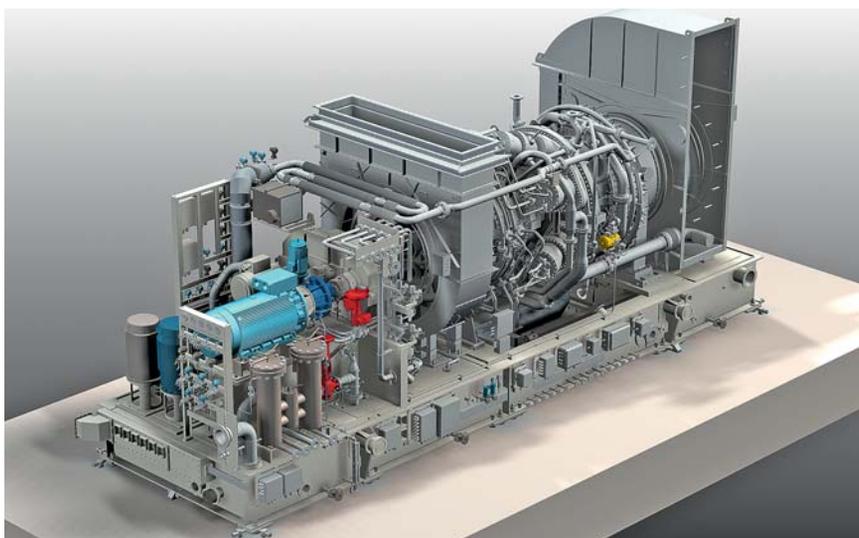


Рис. 1.  
ГТУ Т32 на единой раме

торскую подготовку производства под технологические возможности российского изготовления с заменой на отечественные материалы. Активно ведется подготовка к контрактации по компонентам камеры сгорания с производителем РФ, а также по лопаткам турбины высокого давления.

Одновременно с работой по локализации компонентов проведен расчетно-аналитический анализ по обоснованию дальнейшего совершенствования конструкции и повышения характеристик газовой турбины, а также подготовлено техническое задание на проведение поэтапной модернизации ГТУ.

В ходе создания модернизированной газовой турбины предполагается максимально использовать освоенные в производстве заготовки и материалы корпусных и роторных деталей, подшипники, элементы горячего тракта, узлы и вспомогательное оборудование от агрегата Т32, не имеющие выявленных недостатков при изготовлении и в процессе эксплуатации.

#### Основные этапы развития газовой турбины Т32

Год	Событие
2008, март	Приобретение лицензии на производство газовой турбины нового поколения мощностью 32 МВт с полной передачей технологии
2009, июнь	Подписание первого контракта на поставку 19 газоперекачивающих агрегатов «Ладога» для объектов реконструкции и нового строительства ПАО «Газпром»
2010, сентябрь	Пуск первой российской индустриальной газовой турбины мощностью 32 МВт на стенде Невского завода
2012, декабрь	Подписана программа долгосрочного сотрудничества между Невским заводом и ПАО «Газпром» по 2020 год
2014, декабрь	Подписано расширение лицензионного соглашения о 100%-й передаче технической документации на все компоненты газовой турбины, в том числе на производство элементов «горячей части» турбины Т32 и САУ ГТУ
2021, июнь	Подписано соглашение с Nuovo Pignone (Baker Hughes), в соответствии с которым Невский завод получил бессрочное право на использование технической документации на технологию сборки, изготовление и испытание ГТУ большой мощности MS5002E 32 МВт с технической свободой на самостоятельную модификацию турбины в диапазоне мощности 30...36 МВт для любых целей



Рис. 2.  
ГТУ Т32 на единой раме  
с КШТ

Табл.  
Основные параметры  
газотурбинной установки Т32

Параметры	Т32	Т32М-1	Т32М-2
	Текущий профиль	Первый этап	Второй этап
Номинальная мощность на муфте ГТД, МВт	32,0	32,5	34,0
Эффективный КПД ГТД, %	36,1	36,3	37,5

технико-экономических характеристик планируется достичь путем увеличения степени сжатия осевого компрессора и поэтапного увеличения начальной температуры газа перед ТВД.

Во второй этап модернизации включены следующие мероприятия:

- добавление двенадцатой ступени в осевой компрессор;
- перепрофилирование лопаточного аппарата турбины высокого давления;
- модернизация системы охлаждения ТВД;
- модернизация камеры сгорания.

В табл. представлены целевые характеристики газовой турбины Т32 после проведения модернизации.

### Заключение

Обобщая вышеизложенное, можно сделать следующие основные выводы:

1. Невский завод успешно освоил производство современной газотурбинной установки мощностью 32 МВт и обладает полной технической свободой для завершения мероприятий по локализации и дальнейшему самостоятельному совершенствованию ее конструкции.

2. Текущий уровень локализации газотурбинной установки – 75 %, к 2024 году планируется достичь уровня локализации 100 %.

3. Осуществляется проект по двухэтапной модернизации газовой турбины с повышением ее КПД до 37,5 %.

В серии последующих статей будут представлены результаты расчетно-аналитических исследований и конструкторско-технологической подготовки производства по совершенствованию газотурбинной установки Т32 в составе газоперекачивающего агрегата ГПА-32 «Ладога». **Д**

На рис. 3 красным цветом отмечены узлы и детали, заменяемые в ходе модернизации.

На первом этапе модернизации предполагается повышение эксплуатационных свойств парка серийных агрегатов за счет минимальной доработки исходной конструкции и алгоритмов системы управления.

Основанием для начального этапа модернизации является анализ накопленного опыта испытаний и эксплуатации парка агрегатов Т32.

В первый этап модернизации включены следующие мероприятия:

- исключение сбросных клапанов за осевым компрессором;
- расширение диапазона регулирования входного направляющего аппарата;
- нанесение прирабатываемого покрытия на корпус осевого компрессора;
- уплотнение радиального зазора рабочего колеса ТВД;
- наружная изоляция корпуса турбины;
- оптимизация алгоритмов пуска;
- перепрофилирование соплового аппарата первой ступени ТНД.

Целью второго этапа модернизации является существенное повышение экономичности газовой турбины (до 37 % и более). Повышение

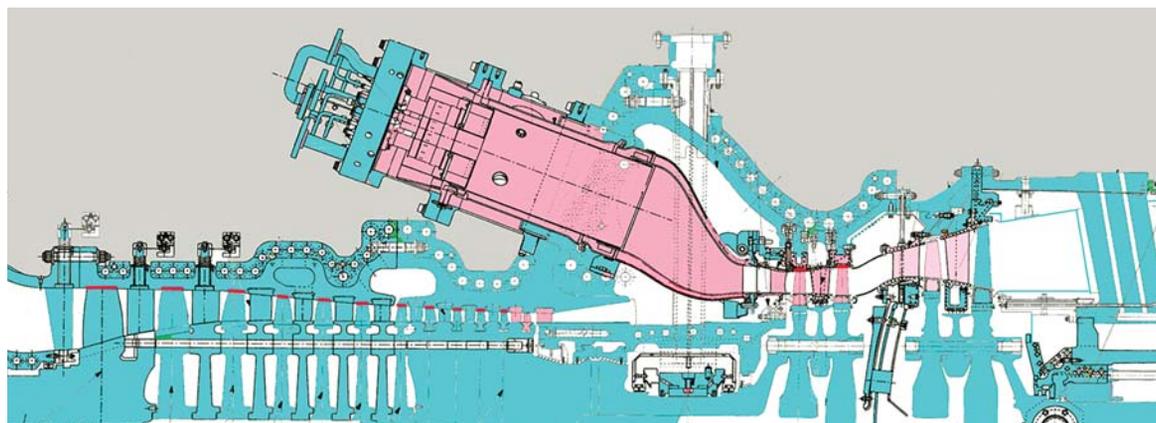


Рис. 3.  
Модернизируемые элементы  
проточной части ГТУ  
(выделены красным цветом)

## Vestas изготовит оборудование для ВЭС мощностью 756 МВт в Австралии.

Австралийская компания Tag Energy, реализующая проекты на базе возобновляемых источников энергии, заключила с Vestas контракт на проектирование, закупку и строительство (EPC) первой очереди ветроэлектростанции Golden Plains. Ветропарк мощностью 1300 МВт будет расположен в Роквуде, к юго-западу от Мельбурна.

В соответствии с EPC-контрактом Vestas поставит на первом этапе строительства 122 ветротурбины V162-6,2 общей мощностью 756 МВт. ВЭУ мощностью по 6,2 МВт созданы на базе платформы EnVentus. Также на станции будет установлено оборудование для накопления энергии мощностью 300 МВт, подключенное к энергосистеме через высоковольтную линию напряжением 500 кВ.

Строительство первой очереди станции планируется начать в 2023 г., размер инвестиций составит \$2 млрд. После завершения строительства в первом квартале 2025 г. Golden Plains станет крупнейшим ветропарком в Австралии, обеспечивающим чистой энергией более 750 тыс. домохозяйств. Вместе с партнером Westwind заказчик проекта также планирует построить вторую очередь ВЭС мощностью более 500 МВт и систему накопления энергии на 300 МВт.

Прогнозируется, что к 2031 г. совокупная мощность систем накопления энергии по всему миру вырастет до 500 ГВт.

## Для Учалинского горно-обогатительного комбината в Башкирии построят ТЭС.

Энергосервисный контракт на поставку восьми газопоршневых установок JMS 624 производства INNIO Jenbacher заключен между ООО «Сервис Юнит» и Учалинским горнообогатительным комбинатом.

Общая электрическая мощность мини-ТЭС составит 35,2 МВт, тепловая – 19,6 МВт. Поставку оборудования, запасных частей, монтаж, наладку, а также обслуживание энергоблоков после ввода станции в эксплуатацию будут осуществлять специалисты ООО «Сервис Юнит».

Оборудование разместят в легкосборном здании. Режим работы – параллельно с сетью.

Учалинский горно-обогатительный комбинат основан в 1954 году на базе медно-цинкового месторождения. Предприятие является крупным производителем медного и цинкового концентрата в России.

## Успешно завершены первые испытания демонстрационной установки HyFlexPower.

Консорциум HyFlexPower, куда входят ENGIE Solutions, Siemens Energy, Centrax, Arttic, Немецкий аэрокосмический центр и четыре европейских университета, объявил об успешном завершении третьего этапа исследовательского проекта по возобновляемым источникам энергии. Демонстрационная установка построена на бумажной фабрике Smurfit Kappa Saillat в г. Сайя-сюр-Вьенне (Франция).

Цель проекта HyFlexPower – показать, что «зеленый» водород можно производить с использованием электроэнергии, полученной на СЭС или ВЭС, накапливать ее, а затем использовать в качестве топлива. В составе демонстрационной установки используется модернизированная промышленная газовая турбина Siemens SGT-400, работающая на водородной топливной смеси и обеспечивающая энергией предприятие.

В рамках проекта отрабатывается новая концепция использования водорода на действующей установке для последующей модернизации и совершенствования ТЭЦ предприятия. В ходе испытаний будет осуществляться горение смеси природного газа и водорода – результатом будет работа установки только на водороде. Это, по мнению специалистов Siemens, позволит сократить выбросы CO<sub>2</sub> газовой турбины SGT-400 на 65 тыс. тонн в год при работе в базовом режиме.

Проект рассчитан на четыре года и реализуется в несколько этапов. В 2020 г. был заключен контракт и начаты инженерные разработки, в 2021 г. осуществлен монтаж установки по производству и хранению водорода на опытно-демонстрационной площадке. В 2022 г. установлена турбина SGT-400, работающая на смеси природного газа и водорода, выполнен запуск пилотной установки. В 2023 г. планируется продемонстрировать работу ГТУ на 100 %-м водороде, полученном с использованием электроэнергии от СЭС и ВЭС.

Основное финансирование проекта в размере 15,2 млн евро осуществляется Еврокомиссией в рамках программы по исследованиям и инновациям Horizon-2020.



## Создано совместное предприятие для управления Талимарджанской ТЭС.

Правительство Узбекистана подписало с компаниями Mubadala и TAQA (Объединенные Арабские Эмираты) соглашение о создании совместного предприятия, которое будет управлять Талимарджанской электростанцией. Объем иностранных инвестиций составит около \$1 млрд, из них \$700 млн – на погашение кредитов, которые были привлечены для строительства ТЭС ранее.

По заказу АО «Узбекэнерго» на станции ведется строительство двух парогазовых установок. Генеральными подрядчиками проекта выступают компании INTECSA Ingeneria Industrial (Италия) и Mitsubishi Corporation (Япония).

Целью строительства двух ПГУ суммарной мощностью 900 МВт является развитие генерирующих мощностей, повышение надежности и безопасности энергосистемы страны, снижение удельных расходов энергоресурсов. Завершить проект планируется в 2024 г.

Для парогазовых установок компания Mitsubishi Power изготовит и поставит ГТУ M701F4 электрической мощностью по 320 МВт. В 2016 и 2017 гг. на Талимарджанской ТЭС были введены в промышленную эксплуатацию две парогазовые установки суммарной мощностью 900 МВт. Строительство велось южнокорейскими компаниями Daewoo и Hyundai.

## GE Gas Power заключила контракт на поставку ГТУ в Казахстан.

Контракт на поставку оборудования подписан с дочерней компанией Министерства энергетики Казахстана – Financial Settlement Center of Renewable Energy Ltd.

Для строительства новой электростанции комбинированного цикла в Кызылординской области будут изготовлены и поставлены две газовые турбины GE 6F.03, два котла-утилизатора, паровые турбины и электрогенераторы. Контракт предусматривает также техническое обслуживание, ремонт оборудования и поставку запчастей в процессе эксплуатации в течение 10 лет.

Генеральным подрядчиком по строительству электростанции под ключ выступает турецкая компания Aksa Energy. Общая электрическая мощность станции составит 240 МВт, ее ввод в коммерческую эксплуатацию запланирован на 2025 г.

Проект реализуется в рамках госпрограммы Казахстана по трансформации энергетической системы страны, направленной на вывод угольных ТЭС, строительство ГТЭС для обеспечения базовой нагрузки и поддержания баланса в энергосистеме с учетом строительства новых солнечных и ветровых электростанций.

### GE Gas Power has signed a contract for the supply of gas turbine power plants to Kazakhstan.

Two GE 6F.03 gas turbines and two heat recovery boilers, steam turbines and electric generators will be manufactured and delivered for the construction of a new combined cycle power plant in the Kyzylorda region. The contract also provides for maintenance, repair of equipment and the supply of spare parts during operation for 10 years. The general contractor for the construction of a turnkey power plant is the Turkish company Aksa Energy. The total electric capacity of the plant will be 240 MW, its commissioning is scheduled for 2025. The project is being implemented within the framework of the state program of Kazakhstan on the transformation of energy system.



## ООО «ИНГК» активно расширяет внешнеэкономическую деятельность.

В феврале текущего года представители компании «ИНГК» приняли участие в 4-м заседании рабочей группы по промышленности, инвестициям и инновациям межправительственной Российско-Эмиратской комиссии по торговому, экономическому и техническому сотрудничеству.

В ходе встречи состоялись диалоги с представителями ADNOC, министерства промышленности и перспективных технологий, а также торгово-промышленной палаты города Дубай. Стороны обсудили механизмы поставки оборудования, производимого компанией «ИНГК», для заказчиков в ОАЭ и странах Персидского залива, его сертификацию и опытные испытания, а также актуальные проекты, реализуемые в ОАЭ.

Компания представила свои передовые разработки в области энергетики и транспорта газа, услуги по ремонту и поставке запчастей, реконструкции, сервисной поддержке ГТУ, КУ, ГПД и другого оборудования зарубежных производителей в ходе февральской 6-й Египетской нефтегазовой выставки в Каире (Egypt Petroleum Show).

### INGC is actively developing its foreign economic activity.

In February 2023, representatives of INGC LLC took part in the 4<sup>th</sup> meeting of the working group on industry, investment and innovation of the intergovernmental Russian-Emirati Commission on trade, economic and technical cooperation.



### На золоторудном месторождении в Якутии увеличена мощность ДЭС.

В ноябре 2022 года компания «Техэкспо» поставила на золоторудное месторождение «Таборный» на территории Олёкминского улуса две ДГУ мощностью по 800 кВт для работы в составе автономной электростанции.

Дизель-генераторы ТЭ.800С-Т 400-2РН выполнены на базе двигателя Cummins QST30-G4 и генератора Stamford HSI634J и установлены в контейнер. Применение двигателя серии QST – одно из ключевых технических требований проекта.

ДГУ оснащены системами аварийного и основного освещения, приточной и вытяжной вентиляции, отопления, системой пожарной сигнализации и пожаротушения, щитом собственных нужд.

На станции уже установлено шесть ДГУ QAC-1 под управлением контроллера QC 4003 производства Atlas Copco. Для синхронизации с существующими установками была модернизирована система управления новых ДГУ: заменена панель управления на контроллер DEIF 150; заменен мотопривод с автоматами.

После доставки оборудования на площадку «Таборный» специалисты сервисной службы компании «Техэкспо» провели шефмонтажные и пусконаладочные работы, настроили параллельную работу ДЭС.

*Рудник «Таборный» международной золотодобывающей компании Nord Gold входит в состав перспективного горнодобывающего объединения «Гросс» на юго-западе Якутии. Добыча золотосодержащей руды осуществляется на руднике открытым способом, мощность добычи и переработки достигает 7,5 млн т руды в год.*

### В Курганской области построена ГПЭС для деревообрабатывающего комбината.

Предприятие «ДВС Ресурс» изготовило и поставило заказчику энергетический модуль мощностью 500 кВт. Оборудование предназначено для обеспечения электрической и тепловой энергией деревообрабатывающего предприятия в Курганской области.

ГПЭС в модульном исполнении оснащена системой утилизации тепла. Основой энергетического модуля является газопоршневая установка на базе двигателя E3262 LE 202 производства MAN. Электростанция будет работать параллельно с сетью. Тепловая энергия будет использоваться для получения горячей воды и теплофикации.

### Wartsila поставит газовую электростанцию в Индию.

Компания Wartsila поставит оборудование для автономной электростанции мощностью 15,5 МВт в рамках контракта на строительство ГПЭС в г. Ченнаи на юге Индии. Заказчик проекта – химическая компания Tamilnadu Petroproducts (TPL). Контракт также включает соглашение о пятилетней эксплуатации и техническом обслуживании.

Заказ на два газопоршневых энергоблока Wartsila 16V34SG последовал за решением TPL перевести производство электроэнергии с мазута на более чистый источник энергии – природный газ. Планируется ввести станцию в эксплуатацию весной текущего года. Таким образом, компания TPL собирается уменьшить углеродный след собственного производства и сократить количество выбросов в районе Манали.

Проект стал возможен благодаря вводу терминала СПГ Indian Oil Corporation, недалеко от г. Ченнаи, что позволит подавать газ на площадку.

### На Нижнекамской ТЭЦ установят газотурбинный энергоблок мощностью 170 МВт.

Проектом предусматривается строительство ПГУ на базе газовой турбины ГТЭ-170 мощностью 170 МВт производства АО «Силовые машины» с котлом-утилизатором. Поставить газовую турбину планируется в текущем году – это будет первая поставка ГТЭ-170 заказчику. Впоследствии ввод ПГУ позволит вывести из эксплуатации действующую паровую турбину ПТ-135/165, отработавшую свой ресурс.

В декабре 2022 г. была осуществлена холодная прокрутка газовой турбины, проверено качество сборки ГТУ.

С переходом на парогазовую технологию снизится себестоимость производимой электроэнергии. Завершить строительство ПГУ планируется в 2025 г. На станции ведется строительство газотурбинной установки, реконструкция установленных энергетических котлов, а также эстакады с технологическими трубопроводами для поставки тепловой энергии шинному комплексу компании «Татнефть».

*Нижнекамская ТЭЦ («Татнефть») включена в федеральную программу модернизации объектов энергогенерации по схеме ДПМ-штрих. Станция введена в эксплуатацию в начале 1980 г. и обеспечивает электрической и тепловой энергией промышленные предприятия и объекты социальной сферы г. Нижнекамска.*



## Управление генерацией в изолированных энергосистемах нефтегазовых месторождений

Д. М. Фарахшин, А. Н. Шишаев – ООО «Спутник-Энергетика»

Единая система автоматизированного централизованного управления ГТЭС «Центральная» и «Западная» на Ярактинском месторождении Иркутской нефтяной компании позволила обеспечить равномерную загрузку генерирующего оборудования в части распределения активной и реактивной мощности при параллельной работе без участия оперативного персонала.

### In brief Power generation management in isolated power systems of oil and gas fields.

*Irkutsk Oil Company is developing its own generation creating an isolated energy system of oil and gas fields far from centralized power supply and power grid infrastructure facilities. Since 2012 power plants based on gas turbine units have been producing electricity at the facilities of the INC Group. Gas turbine power units run on associated petroleum gas, which makes it possible to simultaneously solve the problem of its utilization and provide energy to production facilities.*

**В** состав энергосистемы Российской Федерации входит единая энергетическая система России (семь объединенных энергосистем: Центра, Востока, Средней Волги, Урала, Северо-Запада, Юга и Сибири) и территориально изолированные энергосистемы – Чукотский автономный округ, Камчатский край, Сахалинская и Магаданская области, Норильско-Таймырский и Николаевский энергорайоны, энергосистема северной части Якутии.

Вдали от централизованного электроснабжения и объектов электросетевой инфраструктуры Иркутская нефтяная компания (ИНК) развивает собственную генерацию, создавая изолированную энергосистему нефтегазовых месторождений. С 2012 года энергоблоки на базе газотурбинных установок производят электроэнергию на объектах группы ИНК.

Газотурбинные энергоблоки работают на попутном нефтяном газе, что позволяет одновременно решать задачу его утилизации и обеспечивать энергией производственные объекты.

На сегодня ИНК построены газотурбинные электростанции на Ярактинском, Даниловском и Марковском месторождениях. Это позволяет не только осваивать месторождения, расширяя производственную деятельность, но и планировать реализацию электроэнергии в рамках программы «Энергетический менеджмент и повышение эффективности энергообеспечения».

Территориальное расположение объектов генерации, разнородность технических характеристик энергоблоков, как по мощности, так и по функциональным возможностям систем управления, приводят к разрозненности работы генерирующего оборудования. Регулирование количества генерируемой электроэнергии и ее параметров зачастую осуществляется в ручном или в полуавтоматическом виде. А это приводит к неоптимальным режимам эксплуатации энергоблоков, неравномерному износу оборудования, снижению ресурса газотурбинных установок, неэффективному использованию топливного газа и низкому КПД электростанций.

На Ярактинском месторождении построены и эксплуатируются две ГТЭС – «Западная» и «Центральная».

ГТЭС «Западная» была построена в 2012 г. на базе газотурбинных установок разных типов и мощности, разных производителей. При реконструкции в 2016 году генерирующие мощности станции были увеличены на 24 МВт, с установкой двух энергоблоков ЭГЭС-12С производство «ОДК–Авиадвигатель».

При проектировании и строительстве ГТЭС «Центральная» мощностью 72 МВт предусматривалось создание системы группового распределения активной и реактивной мощности (ГРАРМ), удовлетворяющей современным требованиям управления генерирующим оборудованием. Она позволяет эксплуатировать как энергоблоки, так и ГТЭС в целом на оптимальных режимах без необходимости вмешательства в процесс управления оперативного персонала. Строительство ГТЭС «Центральная» с реализованной на станции системой ГРАРМ было завершено в 2018 году.

Групповой регулятор, реализованный на ГТЭС «Центральная» Ярактинского месторождения, включает в себя систему группового регулирования реактивной мощности (ГРРМ) и систему группового регулирования активной мощности (ГРАМ).

Система ГРРМ обеспечивает:

- управление возбуждением группы генераторов;
- пропорциональное распределение реактивной мощности между генераторами;
- поддержание необходимого уровня напряжения в генерирующих центрах энергосистемы в пределах диапазона регулирования. Система ГРАМ обеспечивает:
- управление оборотами свободных турбин группы газотурбинных двигателей;
- пропорциональное распределение активной мощности между генераторами;
- поддержание необходимого уровня частоты в энергосистеме.

Опыт эксплуатации ГТЭС «Центральная» показал, что реализованная система ГРАРМ полностью соответствует требованиям заказчика и возложенным на нее функциям.

Однако объединение в единую энергосистему ГТЭС «Западная» и ГТЭС «Центральная» привело к появлению множества вопросов по управлению станциями. Учитывая значительные расстояния между ГТЭС (более 70 км), протяженность воздушных линий электропередачи, количество промежуточных распределительных и линейных подстанций, возможные варианты нормальных и ремонтных схем выдачи мощности,

а также ограничения выдачи мощности для ремонтных схем, ручное управление объединенной генерацией электроэнергии стало крайне сложным и малоэффективным. Оно было неспособно адекватно реагировать на изменяющуюся оперативную обстановку в электросетях.

Таким образом, особенно остро встали вопросы, связанные с созданием единой системы автоматизированного централизованного управления генерацией электроэнергии в энергосистеме, групповым регулированием активной и реактивной мощности, равномерным распределением нагрузки между параллельно работающими энергоблоками. Это требовалось выполнить с учетом ограничений, накладываемых заданием групповому регулятору энергосистемы, параметрами сети и эксплуатационными ограничениями газотурбинных энергоблоков.

В 2019 году принято решение о создании единой системы автоматизированного централизованного управления генерирующим оборудованием ГТЭС «Центральная» и «Западная» на Ярактинском месторождении, сформулированы специфические требования к системе.

В соответствии с требованиями система автоматизированного централизованного управления должна включать модернизацию системы ГРАРМ ГТЭС «Центральная» с добавлением функций по определению режимов работы энергосистемы и управлению установленными в 2016 году энергоблоками ЭГЭС-12С на станции «Западная». Также требовалась доработка существующей на ГТЭС «Западная» системы распределения мощности и организация взаимодействия в части ГРАРМ со всеми энергоблоками данной ГТЭС.

 Энергоблоки Урал-6000 производства «ОДК-Авиадвигатель» в составе ГТЭС «Западная»



Система группового автоматизированного централизованного управления и регулирования должна осуществлять:

- непрерывный автоматический контроль и регулирование параметров (активная и реактивная мощность, напряжение и частота) технологического процесса;
- технологические блокировки, отключающие отдельные функции групповых регуляторов при неисправностях ГТЭС, а также индивидуальные регуляторы мощностей при неисправностях энергоблоков и при динамических изменениях параметров энергосистемы.

Подключение групповых и индивидуальных регуляторов должно производиться автоматически при отсутствии запрещающих факторов. Информация о ходе процесса группового регулирования должна поступать на АРМ диспетчера, с которого предусмотрено включение /отключение: а) систем группового регулирования реактивной и активной мощности ГТЭС, а также секций ГТЭС при их независимой работе; б) индивидуальных регуляторов активной или реактивной мощности энергоблоков.

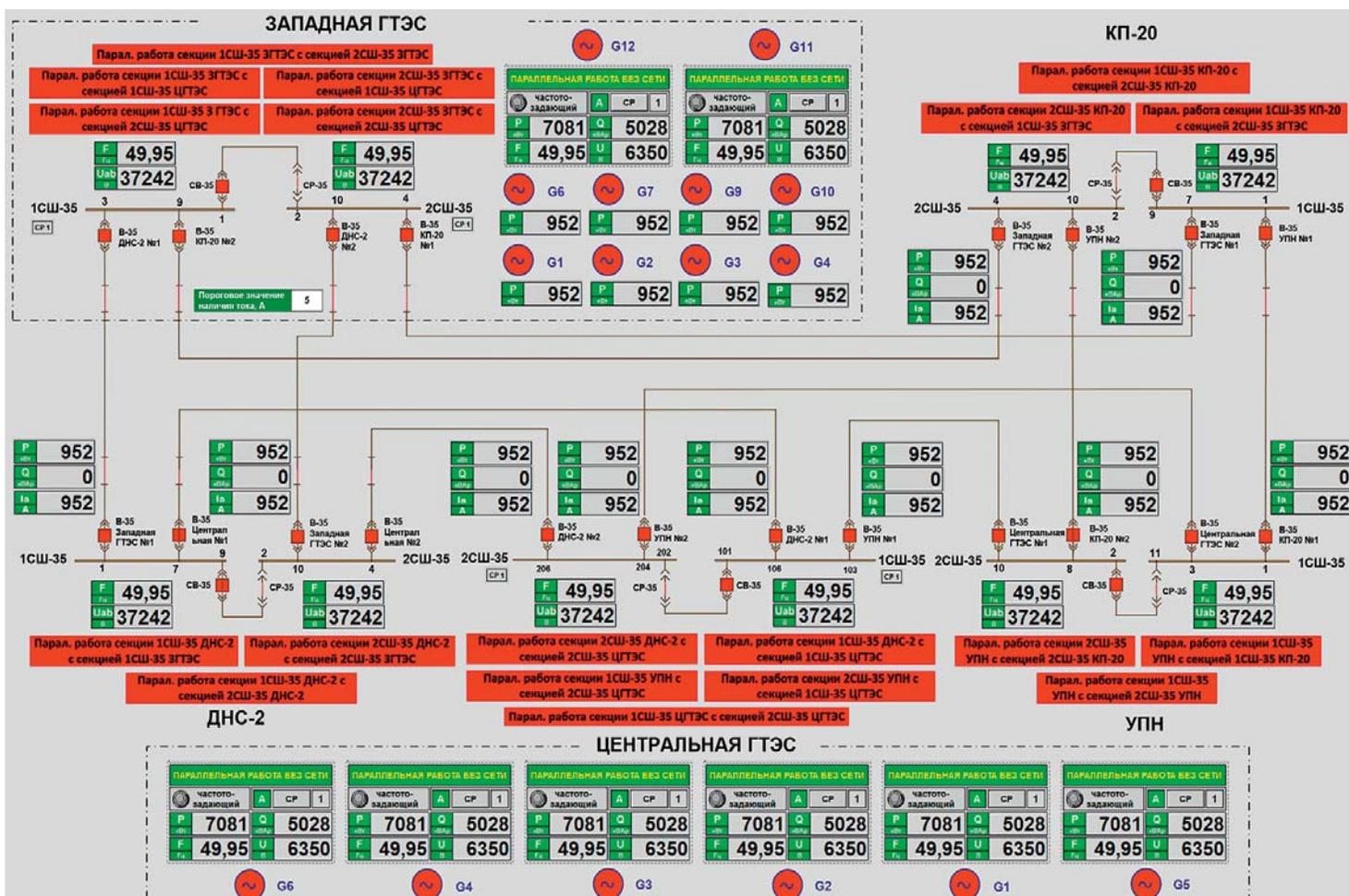
Автоматизированный центр управления системы должен автоматически, без участия оператора, осуществлять оценку режимов работы многоагрегатных газотурбинных электростанций и прилегающих сетей. Определение режимов работы энергосистемы должно производиться в соответствии с алгоритмами определения режимов, которые разработаны с учетом особенностей главных электрических схем электростанций, схем выдачи мощности и ограничений.

В соответствии с заданием была подготовлена документация на систему, поставлено необходимое дополнительное оборудование на распределительные и линейные ЗРУ, разработано математическое обеспечение системы – алгоритмы.

При этом алгоритмы, описывающие режимы работы всех ГТЭС и энергосистемы, учитывают возможные варианты нормальных и ремонтных схем выдачи мощности, а также ограничения, вносимые сетевым оборудованием (ВЛ, ЗРУ и т.д.) и энергоблоками.

Алгоритмы определения режимов работы энергосистемы служат для выбора режимов группового регулирования и определения

Мнемосхема, напряжение сети 35 кВ



групп параллельно работающих энергоблоков. Оценка режимов работы энергосистемы производится по состоянию коммутирующей аппаратуры главных электрических схем электростанций, схем выдачи мощности, распределительных и линейных ЗРУ (положение выключателей, тележек, разъединителей).

Алгоритмы определения режимов работы энергосистемы включают:

- алгоритмы определения режимов работы каждой ГТЭС и прилегающей сети, а также секций каждой ГТЭС и прилегающей сети;
- алгоритмы определения связи секций одного уровня напряжения между собой, а также секций разных уровней напряжения между собой;
- алгоритмы определения режимов работы энергоблоков каждой ГТЭС.

Разработанная и реализованная система дает возможность подключить к групповому регулированию любое количество энергоблоков из состава каждой ГТЭС, при этом уставки группового регулирования рассчитываются также и с учетом энергоблоков, не подключенных к групповому регулированию.

Выбор энергоблоков, подключаемых к групповому регулированию, производится с автоматизированного рабочего места (АРМ) диспетчера энергосистемы. При этом каждому энергоблоку выдается своя уставка по мощности, на которую в свою очередь накладываются ограничения по эксплуатационным характеристикам (рабочим диапазонам параметров) генератора и двигателя, а также по текущим технологическим условиям работы конкретного энергоблока.

При работе электростанций в изолированной энергосистеме общая мощность потребителей должна пропорционально распределяться между энергоблоками, подключенными к групповому регулированию. При этом основной задачей регулирования является поддержание частоты и напряжения генерируемого электрического тока, и только в рамках этой задачи происходит распределение мощности между энергоблоками.

Работу по первому этапу создания централизованной системы управления генерацией Иркутская нефтяная компания завершила в 2021 году. В эксплуатацию передана централизованная система управления генерацией, охватывающая два энергоблока ЭГЭС-12С на ГТЭС «Западная» и шесть энергоблоков ЭГЭС-12С на ГТЭС «Центральная».

Система объединила энергоблоки суммарной генерируемой мощностью 96 МВт. В состав централизованной системы управления генерацией также интегрирована система



сбора и обработки информации от подстанций электрической сети Ярактинского месторождения.

➔ **Главный щит управления ГТЭС**

На втором этапе объединения двух генерирующих центров месторождения выполнена реконструкция имеющейся на ГТЭС «Западная» системы управления. В ходе реконструкции доработана система распределения мощности электростанции. Это позволило в 2022 году реализовать взаимодействие ГРАМ ГТЭС «Центральная» и «Западная».

При организации взаимодействия двух станций решены задачи по распределению активной мощности между ними и регулированию выдачи мощности Западной ГТЭС в условиях аварийных (ремонтных) схем электрической сети Ярактинского месторождения.

При создании единой системы ГРАМ заложена возможность ее расширения, например, при изменении схемы выдачи мощности или при подключении к системе группового распределения дополнительных энергоблоков. С целью оптимизации затрат при создании единой системы ГРАМ максимально использовалось имеющееся оборудование систем автоматизации ПТК АСУ ТП, САУ ТС энергоблоков и САУ ГТУ.

Дальнейшим развитием системы управления генерирующими мощностями может стать реализация ГРАМ на ГТЭС Даниловского и Марковского месторождений (Усть-Кутский район), с последующим объединением их в одну систему, обеспечивающую взаимодействие электростанций между собой. **Д**

## Невский завод изготовил систему магнитного подвеса собственной разработки.

Невский завод («Газпром энергохолдинг индустриальные активы») завершил изготовление первой системы магнитного подвеса собственной разработки на базе отечественных комплектующих, материалов и программного обеспечения.

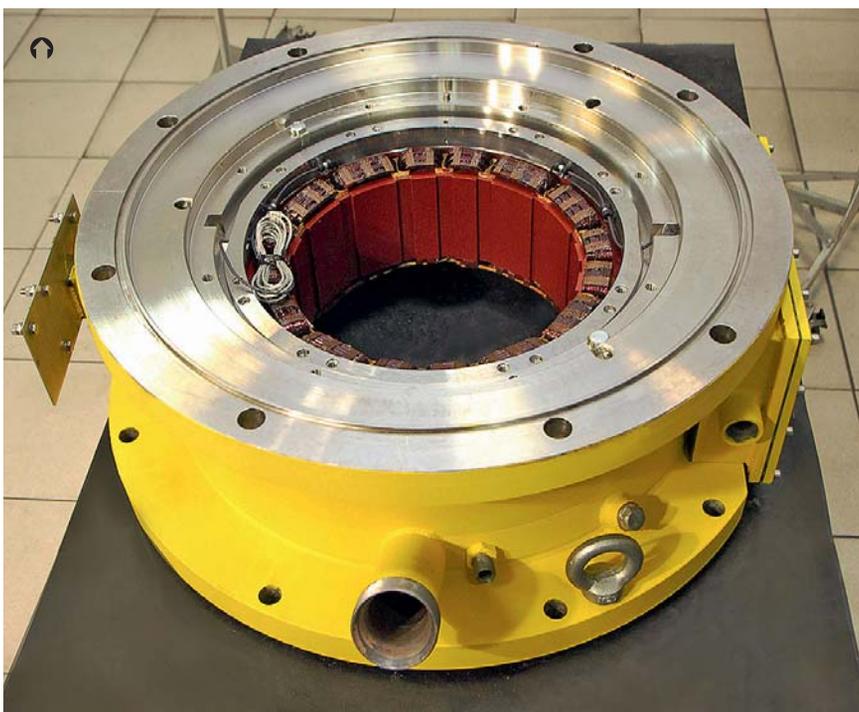
Система магнитного подвеса включает комплект электромагнитных подшипников и систему автоматического управления электромагнитным подвесом ротора. Данное оборудование применяется в центробежных компрессорах газоперекачивающих агрегатов, турбодетандерных агрегатах и других машинах вращательного типа. Система обеспечивает бесконтактное вращение ротора компрессора и двигателя в регулируемом магнитном поле на всех рабочих режимах агрегата.

Применение системы магнитного подвеса обеспечивает увеличение ресурса узлов подшипников, повышение КПД оборудования за счет отсутствия механических потерь, повышение надежности агрегата и снижение эксплуатационных затрат.

Невский завод имеет опыт производства аналогичного оборудования по лицензионной технологии компании SKF. В 2021 г. предприятием было принято решение об организации собственного направления по разработке системы магнитного подвеса с применением исключительно отечественных материалов и технологий. Разработка выполнена специалистами управления систем магнитного подвеса Инженерного центра Невского завода.

Система магнитного подвеса поставлена на компрессорную станцию «Мышкинская» (ООО «Газпром трансгаз Ухта») в рамках модернизации центробежного компрессора ЦБК-НЦ-16, работающего в составе ГПА мощностью 16 МВт.

Пусконаладочные работы и приемочные испытания оборудования пройдут в марте текущего года. После проведения ПНР и приемочных испытаний Невский завод станет первым в России предприятием, производящим роторные машины с собственными магнитными подшипниками. Это имеет стратегическое значение для обеспечения бесперебойной работы и развития отечественной газотранспортной системы, важный шаг для достижения технологического суверенитета России.



## Новые ГПА установлены на Семаковском месторождении (ЯНАО).

ГПА производства КМПО на первой очереди дожимной компрессорной станции Семаковского газового месторождения (ООО «РусГазАльянс»). Агрегаты ГПА-16 «Волга» мощностью 16 МВт созданы на базе газотурбинных двигателей НК-16-18 собственного производства КМПО.

НПО «Искра» поставило два центробежных компрессора НЦ-16ДКС/100-03 для комплектации газоперекачивающих агрегатов. НЦ-16ДКС/100-03 – односекционные компрессоры с последовательным расположением ступеней сжатия между опорами. Компрессоры оснащены масляными подшипниками и сухим газодинамическим уплотнением со степенью сжатия 1,7.

Семаковское, Парусовое и Северо-Парусовое газоконденсатные месторождения расположены в Тазовском районе ЯНАО. Семаковское ГКМ, запасы которого имеют объем более 350 млрд м<sup>3</sup>, введено в эксплуатацию в декабре 2022 г.

### *The new gas pumping units are installed at the Semakovskoye field.*

*NPO Iskra supplied two centrifugal compressors NC-16DKS/100-03 for the complete set of GPA-16 Volga gas pumping units with a capacity of 16 MW each produced by KMPO. Gas pumping units are installed at the first stage of the booster compressor station of the Semakovsky gas field (RusGazAlliance) in Tazovsky district, YaNAO.*

## ГПЭС для птицефабрики «Волжанин» построена под г. Рыбинском (Ярославская обл.).

ОАО «Волжанин» – крупнейший в России производитель яиц и продуктов их переработки. Для энергоснабжения предприятия здесь установлены четыре энергоблока MAN 530 на базе двигателей E3262 LE 202 суммарной электрической мощностью 2000 кВт, тепловой – 2400 кВт.

Оборудование в контейнерном исполнении размещается на открытой площадке. Станцию на условиях «под ключ» построила компания «Энергосистемы». ГПЭС работает в базовом режиме, обеспечивая потребности предприятия.

За 10 лет эксплуатации станции птицефабрика получит экономию более 400 млн рублей в результате сокращения затрат на приобретенные электроэнергию.

SAVE THE NEW DATE!

**CIMAC** 23  
CONGRESS

Бусан, Ю. Корея. 12-16 июня 2023 г.

# БУДУЩЕЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

## 30-й конгресс CIMAC

Двигатели внутреннего сгорания для судовых пропульсивных систем,  
для выработки энергии, для железнодорожного транспорта



РЕКЛАМА

### Основные моменты

#### Техническая программа

Более 200 докладов,  
панельных докладов и лекций

#### Выставка

Новые технологии и оборудование

#### Новые форматы

Блиц-презентации, всемирное кафе  
и другие форматы сессий

#### Технические туры

Посещение местных промышленных  
предприятий

#### Неформальное общение и общественные мероприятия

Прием по случаю открытия  
мероприятия и гала-обед,  
более 800 международных экспертов

### Основные темы докладов

#### Интеллектуальные энергетические системы

Цифровизация и взаимодействие систем,  
интеграция и гибридизация систем

#### Нулевые уровни эмиссии

Будущие альтернативные виды топлива,  
технологии подавления эмиссии

#### Традиционные темы

Новые разработки в области ДВС  
и новые концепции

#### И многое другое

Научные исследования,  
перспективное проектирование,  
опыт эксплуатации оборудования



[www.cimaccongress.com](http://www.cimaccongress.com)

# TAIF Rave PAO синтетическое турбинное масло: замещение импортных смазочных материалов для оборудования СПГ

И. А. Степанков – ООО «С-Техникс»

## In brief

**TAIF Rave PAO synthetic turbine oil: replacement of imported lubricants for LNG equipment.**

*When developing equipment for LNG production, foreign companies provide for the use of imported lubricants, they are also indicated in the operating instructions for this equipment. The most widely used lubricants in the lubrication system of compressors and gas turbines are Shell and Mobil brands.*

*Due to the operation of the equipment in conditions of low ambient temperatures, manufacturers recommend the use of synthetic hydrocarbon-based oils due to their low-temperature properties. Such products are lubricants based on PAO (polyalphaolefins). For example, the use of Mobil SHC 824 oil is recommended in the lubrication systems of Baker Hughes compressors.*

Несмотря на кризис мирового нефтегазового рынка в 2022 году и ускорение перехода к альтернативным энергоносителям, предстоящие полтора десятилетия обещают большие перспективы для производителей СПГ. Российский сектор СПГ не только сохранит, но и сможет увеличить свою долю на международном рынке. Россия уже сегодня является вторым по величине экспортером трубопроводного и сжиженного природного газа в мире, а в перспективе может стать лидером. В программу развития производства сжиженного природного газа в России включено строительство более десяти заводов, проекты которых находятся в различной степени проработки.

Сейчас в России работают два крупных СПГ-завода – «Сахалин-2», подконтрольный «Газпрому», и «Ямал СПГ» компании «Новатэк».

В числе крупнейших можно выделить новые, уже реализуемые и анонсированные проекты «Новатэка» («Арктик СПГ-2», «Обский СПГ», «Арктик СПГ-1» совокупной мощностью почти 45 млн т), Газпрома («Балтийский СПГ» – 10 млн т и «РусХимАльянс» – 13 млн т), Роснефти («Дальневосточный СПГ» – 6,2 млн т), ЯТЭК («Якутский СПГ» – 13 млн т) и др.

Сегодня доля использования импортного оборудования в отечественном производстве СПГ составляет около 70%. Основной причиной высокой импортозависимости производ-

ства СПГ является необходимость использования зарубежных технологий в строительстве заводов по причине отсутствия аналогичного оборудования в России. Для заводов по производству СПГ закупается оборудование у таких компаний, как Siemens, Linde Engineering, GEA, Howden, Schneider Electric (Германия), Nuovo Pignone, SIAD Macchine Impianti, Compagnia Tecnica Motori S.p.A. (Италия), Mitsubishi Heavy Industries, Hitachi и Nikkiso Cryogenic Industries (Япония), Wison, SEPМЕМ, Hanwha Power Systems (Китай), Baker Hughes, GE Power, Air Products, Conoco Philips, Syndyne (США), Shell (Великобритания), Equinor (Норвегия).

В настоящее время ключевыми производителями оборудования для СПГ в России являются «Криогенмаш» (Объединенные машиностроительные заводы), «ЗиО-Подольск» (Росатом), Концерн ВКО «Алмаз-Антей», «Казанькомпрессормаш» (Группа ГМС), «РЭП Холдинг», «Теплохиммонтаж». На рынке малотоннажного производства СПГ также активно работают «Гелиймаш» и «Газпром СПГ технологии». На базе производственных мощностей ПАО «Силловые машины» (С.-Петербург) совместным предприятием «Линде Силловые машины» осуществляется выпуск теплообменников для СПГ. Понятно, что столь небольшая группа производителей не способна покрыть имеющийся спрос, поэтому импортное оборудование и сейчас остается востребованным для реализации проектов СПГ.

При разработке оборудования зарубежные компании предусматривают использование импортных смазочных материалов, они же и указаны в инструкции по эксплуатации к этому оборудованию. Наиболее широко применяемые смазочные материалы в системе смазки компрессоров и газовых турбин – это марки Shell и Mobil.

В связи с эксплуатацией оборудования в условиях пониженных температур окружающей среды производители рекомендуют использовать масла на синтетической углеводородной основе из-за их низкотемпературных



Линия розлива масла с дозировкой по объему, ООО «ТАИФ-СМ»

свойств. Такими продуктами являются смазочные материалы на основе ПАО (полиальфаолефины). Так, например, в системах смазки компрессоров компании Baker Hughes рекомендовано использование масла Mobil SHC 824.

## TAIF Rave PAO 32 – отечественный аналог Mobil SHC 824

Серия турбинных масел TAIF Rave PAO производится компанией «ТАИФ–Смазочные материалы» на основе отечественных синтетических базовых компонентов. Завод находится в г. Нижнекамске.

ООО «ТАИФ–СМ», первый и единственный в России производитель полиальфаолефиновых масел (ПАОМ), ориентирован на замещение на российском рынке импортных высокоэффективных масел и смазочных материалов. Усовершенствованная техническая и технологическая база завода синтетических масел (бренд Taif Lubricants), а также собственная научно-исследовательская платформа позволили создать в Нижнекамске инновационное производство, продукция которого не уступает зарубежным аналогам. Современное оборудование завода позволяет производить базовые масла и смазочные материалы на основе ПАО в промышленных объемах.

Дефицит полиальфаолефиновых масел долгое время был проблемой не только для России, но и для всей Европы – европейские заводы не могли производить такую продукцию в достаточном объеме. На российский рынок эти масла попадали только за счет импорта. Поэтому появление их производства внутри страны решает важную проблему импортозамещения, к тому же еще и создает перспективу экспортных поставок в дружественные РФ страны.

Производство смазочных материалов, выпускаемых под брендом TAIF Lubricants, представляет собой полный технологический цикл – от приема сырья с предприятия «Нижнекамскнефтехим» до разработки собственных рецептур и производства готовых товарных смазочных материалов и базовых масел IV группы (ПАОМ) по API в промышленных объемах, их фасовки и отгрузки дистрибьюторам и потребителям. Центр исследований и разработок ООО «ТАИФ-СМ» создает собственные уникальные рецептуры смазочных материалов.

Масла производства ТАИФ	Масла изготовления MOBIL
TAIF Rave PAO 32	Mobil SHC 824
TAIF Rave PAO 46	Mobil SHC 825

🔄 Смазочные материалы российского производства и аналогичные импортные



Основная область применения турбинных масел на основе ПАО – это компрессоры и газовые турбины с гидродинамической системой смазки, работающие в условиях низких температур.

Отличительными особенностями синтетических турбинных масел TAIF Rave PAO являются:

- низкая температура застывания, что влияет на стабильную текучесть и смазывание при холодном пуске оборудования;
- высокая окислительная и термическая стабильность, что способствует увеличению срока службы масла и уменьшению образования отложений в процессе работы;
- низкая склонность к пенообразованию и отличная деаэрация, что повышает эффективность работы системы смазки при попадании загрязнений.

🔄 **Комплекс гидроизодепарафинизации для производства базовых масел**

🔄 **Физико-химические характеристики серии синтетических турбинных масел TAIF Rave PAO**

№	Характеристики	Единица измерения	TAIF Rave PAO 32	TAIF Rave PAO 46
1	Класс вязкости	ISO VG	32	46
2	Вязкость при 40 °С	мм <sup>2</sup> /с	32	46
3	Индекс вязкости		128	130
4	Плотность при 15 °С	кг/м <sup>3</sup>	830	836
5	Температура вспышки	°С	230	234
6	Температура застывания	°С	-58	-57
7	Общее кислотное число, конечный продукт	мг КОН/г	< 0,06	0,08
8	Антикоррозионные свойства		соответствует	соответствует
9	Коррозия медной пластинки		1а	1а
10	Эмульсионные характеристики 40-37-3	мин	20	20
11	Освобождение воздуха до 0,2 %	мин	0,4	1,0
12	Пенообразование при 24 °С	мл	10/0	20/0
13	Остаток пены после 1 мин выдержки	мл	0	0
14	Содержание воды	ppm	отсутст.	отсутст.
15	Содержание цинка	ppm	0	0
16	Стойкость к окислению (TOST)	ч	> 10000	> 10000
17	Окислительная стабильность (RPVOT)	мин	1500	1600
18	Загрязнения	Код ISO; NAS	20/17/14	20/17/14
19	Несущая способность	FZG	12	12



Цех по производству масла на заводе ООО «ТАИФ-СМ»

Технические параметры турбинного масла TAIF Rave PAO соответствуют, а по ряду спецификаций и превышают требования стандартов Siemens TLV 901304, Siemens TLV 901305, Solar Turbines ES 9-224 class 1, General Electric GEK 32568K, General Electric GEK 101941A, Ansaldo TG02-0171-E00000/B, Mitsubishi Power Ltd MS04-MA-CL003 (Rev. 4) и другие.

Совместимость масел серии Mobil SHC 800 и TAIF Rave PAO подтверждена тестами, выполненными по международной методике ASTM D 7155 в лаборатории, аккредитованной Росаккредитацией. По результатам испытаний было получено заключение лаборатории о том, что испытываемые масла совместимы и при смешивании в разных пропорциях не образуют новых химических веществ. Эта информация полезна для конечных пользователей, кто уже

использует продукт Mobil SHC и не имеет технологической или экономической возможности осуществить полную замену масла.

На данный момент общая наработка турбинных масел TAIF Rave составляет более 25 тыс. часов. Все это время оборудование работает штатно в заданных режимах, без отклонений. Систематически проводятся контрольные испытания смазочных материалов в соответствии с требованиями производителей оборудования, которые подтверждают надежность и эффективность турбинных масел TAIF Rave PAO. Более 10 единиц оборудования уже работает на турбинном масле TAIF Rave PAO на нескольких объектах в рамках программы перевода турбин с масла Mobil SHC и других марок импортных масел. На других объектах турбинное масло TAIF Rave PAO было использовано в качестве первой заливки в рамках пусконаладочных работ.

ООО «С-Техникс» – эксклюзивный дистрибьютор ООО «ТАИФ–Смазочные материалы» в сегменте «Энергетика». Компетенцией компании является согласование процедуры замены масла, проведение тестов на совместимость смазочных материалов, получение допусков от производителей оборудования и технический контроль за состоянием смазочных материалов с момента начала использования. **TD**

*Вы всегда можете задать интересующий вас вопрос, связавшись с федеральным дистрибьютором «ТАИФ–СМ» по энергетике – компанией «С-Техникс».*

*т. 8 (831) 423-33-49,*

*т. моб. 8 (929) 047-30-31*

*mail@s-technn.ru.*

*www.stechnics.ru*

Российские масла для ГТУ зарубежного производства

Используемые турбинные масла	Производитель	Оборудование	Масло ТАИФ-СМ	Совместимость	Соответствие требованиям производителя
Shell Turbo T46 Mobil DTE 846 Castrol Perfecto X46 Texaco GST EP46 MOL Turbine 46K Shell Turbo S4 GX46 Total Preslia GT46	Siemens	SGT-300 SGT-400 SGT-600 SGT-800	TAIF Rave 46EP TAIF Rave PAO 46	+	Fluid Specification report 65/0027 MAT 812109 TLV 9013 04/05 Alstom HTGD 90 117 V0001 X
	GE/Alstom	GT13E2			
Total Preslia GT32 Mobil DTE 832 Shell Turbo T32 Shell Turbo S4 GX32 ENI OTE GT32 Mobil SHC 824 (PAO)	GE	Frame 6 Frame 9	TAIF Rave 32 TAIF Rave PAO 32	+	GEK 101941 GEK 32568; GEK 28143 Solar Turbines ES9-224 Ansaldo TG02-0171-E00000/1 -
	Solar	Titan-130 Mars-100 Taurus-60			
	Ansaldo	AE64.3A			
	Kawasaki	GPB70			

### Лебедев А. С. «Энергетические газовые турбины в России: проекты и реальность».

В книге д.т.н. А.С. Лебедева, имеющего многолетний опыт работы в области газотурбостроения, отражены основные этапы создания энергетических газовых турбин в РФ в период с начала 1990-х по 2020 гг.

Читатель узнает об основных этапах становления газотурбинного производства на ЛМЗ, успехах и трудностях при испытаниях ГТЭ-150 на ГРЭС-3 АО «Мосэнерго».

В условиях повышенного внимания к энергетической независимости страны особый интерес приобретает совместный с ОАО «Авиадвигатель» проект ГТЭ-180, где использованы конструкторско-технологические достижения в двигателестроении.

Для многих новой может оказаться информация об освоении производства и пусконаладке самой популярной в России энергетической газовой турбины ГТЭ-160, выпускавшейся 10 лет в АО «Силовые машины» по лицензии «Сименс». Наиболее подробно описан подход к созданию ГТУ среднего класса мощности – ГТЭ-65, которая могла бы стать моделью семейства установок мощностью 200 МВт и более. Отдельная глава посвящена созданию в 2011 г. компаниями «Сименс» АГ и «Силовые машины» совместного предприятия для производства газовых турбин мощностью более 60 МВт.

Есть в книге и узкопрофессиональный раздел для специалистов в области разработки систем охлаждения турбинных лопаток.

Автор старается ретроспективно проанализировать не только достижения в освоении производства энергетических газовых турбин, но и причины, которые не позволили в свое время довести до серийного выпуска опытные образцы и завершить перспективные проекты отечественных энергетических ГТУ.

Сейчас этот опыт представляет практический интерес для тех, кто вовлечен в процесс создания ГТУ нового поколения у нас в стране.



### Завершено строительство электростанции для АО «Азот» в г. Кемерово.

Введен в эксплуатацию пятый энергоблок станции, обеспечивающей электрической и тепловой энергией крупнейшее предприятие по производству удобрений – «СДС Азот». Группа компаний «МКС» выполнила работы под ключ: проектирование, поставку оборудования, строительномонтажные и пусконаладочные работы.

Электрическая мощность станции составляет 22,5 МВт, тепловая – 19,3 Гкал. Основным генерирующим оборудованием являются пять газопоршневых установок TCG 2032B V16 (MWM) мощностью по 4,5 МВт.

Тепловая энергия используется для производственных процессов и теплоснабжения предприятия. Станция полностью интегрирована в технологические процессы завода и работает в параллельном режиме с сетью. В качестве топлива используется природный газ. ТЭС позволит заказчику существенно сократить производственные издержки на потреблении электроэнергии.

### Новые ДГУ введены на Малмыжском золото-медном месторождении в Хабаровском крае.

Контейнерные энергоблоки ДГУ ЭТРО третьей степени автоматизации дополнили парк резервных источников энергии на месторождении. Новосибирское предприятие «Электроагрегат» изготовило для компании «Амур Минералс» два дизель-генератора АД400-Т400-ЗРБК и АД 260-Т400-ЗРБК. ДГУ смонтированы в утепленных контейнерах «Север».

Цельнометаллический контейнер арктического исполнения установлен на полозьях. Такое исполнение не требует дополнительных затрат при их размещении на объекте – достаточно ровной поверхности. Полозья облегчают транспортировку контейнера с ДГУ по бездорожью.

В контейнере предусмотрены два отсека – основной, машинный отсек с ДГУ и всеми необходимыми системами обеспечения и топливный отсек, в котором размещен топливный бак. Панель управления выполнена на базе контроллера ComAp AMF25. Агрегаты имеют третью степень автоматизации. Организована автоматическая работа дизель-генераторов – каждого на свою нагрузку и параллельно, на общую нагрузку.

Доставка энергоблоков до объекта (Амурская область, с. Малмыж) выполнена компанией «ТД Электроагрегат». Проведены шефмонтажные и пусконаладочные работы, ДГУ готовы к эксплуатации.

Малмыжское месторождение расположено в 274 км от Хабаровска, на границе Амурского и Нанайского районов. Запасы месторождения – 2,4 млрд тонн руды (в т.ч. 8,32 млн т меди и 347 т золота). Оператор месторождения – предприятие «Амур Минералс», входит в группу «Русская медная компания».



**ГПА производства НПО «Искра» введены на КС «Амгинская» (Якутия).**

Предприятие изготовило и поставило по заказу ПАО «Газпром» три газоперекачивающих агрегата ГПА-25-03 «Урал» на компрессорную станцию магистрального газопровода «Сила Сибири». Генеральный проектировщик – Саратовский филиал ООО «Газпром проектирование», генподрядчик – АО «Газстройпром».

В состав ГПА-25-03 «Урал» ангарного исполнения входит газотурбинная установка ГТУ-25П (ПС-90ГП-2) компании «ОДК–Пермские моторы» и центробежный компрессор НЦ-25ДКС-06 «Урал» производства НПО «Искра». На компрессорных станциях МГ «Сила Сибири» осуществляется сжатие газа до рабочего давления 100 МПа.

Амгинская компрессорная станция обеспечит поставки природного газа от Ковыктинского и Чаяндинского месторождений. В декабре 2022 г. состоялся ввод в эксплуатацию Ковыктинского ГКМ и участка газопровода «Сила Сибири», соединяющего его с Чаяндой. Параллельный запуск Салдыкельской, Амгинской, Нагорной и Сивакинской КС позволит нарастить объемы прокачки за счет добываемого на Ковыкте газа.

**Предприятие «Атлантис-Пак» увеличит мощность собственной ТЭС.**

Для обеспечения производственного предприятия электрической и тепловой энергией в полном объеме на действующей мини-ТЭС будет установлен еще один энергоблок – JMS 320 GS мощностью 1067 кВт. Проект реализует ООО «Хайтед-Энергетика».

На станции с 2007 г. работают две установки JMS 320 GS-N.LC электрической мощностью по 1053 кВт и тепловой по 1235 кВт (система глубокой утилизации тепла). В 2010 г. были введены еще два аналогичных энергоблока. В них применяются генераторы AVK DIG 120 H/4 и системы управления Dia. Ne 2-го уровня. ГПУ сохраняют 100 %-ю мощность при температуре окружающего воздуха +40 °С. В 2016 г. начал работать электроагрегат JMS 616 GS-N.LC мощностью 2660 кВт.

ТЭС размещена в легкосборном здании. Станция работает в составе изолированной сети, обеспечивая электричеством и теплом предприятие по производству пластиковой упаковки. В энергоустановках применяется система каталитической очистки. Дымовые трубы высотой около 30 метров обеспечивают дополнительное рассеивание выхлопных газов.

Компания «Атлантис-Пак» является лидером по производству упаковки для мясных продуктов и сыров в России и входит в десятку крупнейших предприятий мира по выпуску пластиковой колбасной оболочки.

**АО «ОДК–Газовые турбины» выполнило пусконаладку двух агрегатов ГТА-6PM на месторождении в Томской области.**

Газотурбинные установки ГТА-6PM мощностью по 6 МВт будут работать в когенерационном цикле. Они обеспечат электрической и тепловой энергией Северо-Останинское нефтяное месторождение. Энергоблоки модульного исполнения установлены на открытой площадке, в качестве топлива используется попутный нефтяной газ.

Оборудование компании «ОДК–Газовые турбины» увеличит мощность ГТЭС на месторождении и повысит качество энергоснабжения. Ранее здесь работали две электростанции ПАЭС-2500 мощностью по 2,5 МВт, после ввода новых энергоблоков они переведены в резерв.

*Северо-Останинское месторождение расположено в Парабельском районе Томской области, входит в Пудинскую группу месторождений.*

**Компания «ИНГК» осуществляет техническое обслуживание ГТД зарубежного производства.**

ООО «ИНГК» выполняет ТО газотурбинных двигателей зарубежного производства. Специалисты компании провели плановое техническое обслуживание двигателей Titan-130 производства Solar Turbines по заказу АО «АБС Энергонефть» на Восточно-Мессояхском месторождении в ЯНАО.

Сегодня предприятие развивает новое направление деятельности – обслуживание и ремонт, поставка ЗИП для ГПА, ГТЭА и КУ зарубежного производства. Для выполнения этих работ подписаны соглашения с компаниями из Ирана и Турции для организации модульных и капитальных ремонтов турбин в заводских условиях.

С целью развития данного направления в России ООО «ИНГК» создает новые производственные площади.



XXVI МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
3-6 ОКТЯБРЯ 2023, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

**РОС  
ГАЗ  
ЭКСПО**



В РАМКАХ XII ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕЖДУНАРОДНОГО  
ГАЗОВОГО ФОРУМА



РЕКЛАМА

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



[www.rosgasexpo.ru](http://www.rosgasexpo.ru)

**FarEXPO** | **FE**

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И СЕМИНАРЫ

# ГПА производства ИНГК модульного исполнения

С. И. Бурдюгов (д.т.н), О. В. Бычков, А. Р. Макс, Е. А. Чепкасов – ООО «ИНГК»  
И. С. Згогурин – ООО «Иркутская нефтяная компания»

## In brief

### Modular gas pumping units manufactured by INGC.

*Iskra-Neftegas Compressor Company (INGC) has been developing and manufacturing modern and highly efficient power equipment, gas pumping units and gas turbine power plants since 2010. The company provides a full range of services from the design, manufacture of equipment and its commissioning to post-warranty maintenance and repair. Over the past 10 years portfolio of gas pumping units with a nominal output from 4 to 34 MW has been developed, 68 units have been manufactured. Gas pumping units are supplied in modular or hangar design.*

Компания «Искра-Нефтегаз Компрессор» (ИНГК) с 2010 года занимается разработкой и изготовлением современного и высокоэффективного энергетического оборудования, газоперекачивающих агрегатов и газотурбинных электростанций. Предприятие осуществляет весь комплекс услуг – начиная от проектирования, изготовления оборудования и ввода его в эксплуатацию до послегарантийного обслуживания и ремонта.

Основной продукцией компании «ИНГК» являются ГПА и ГТЭС серии «Иртыш», поршневые и винтовые компрессорные установки. За это время предприятие прошло большой путь в части становления и стало одним из ведущих поставщиков газоперекачивающего оборудования для предприятий группы «НК Роснефть», «Сибур Холдинг», «Лукойл», «Газпром», успешно реализованы проекты также в республиках Узбекистан, Казахстан, Конго, Камерун.

За истекшие 10 лет разработан модельный ряд ГПА номинальной мощностью от 4 до 34 МВт, изготовлено 68 агрегатов.

ГПА поставляются в блочном или ангарном исполнении. Агрегаты в блочном исполнении (фото 1) отличаются повышенной плотностью компоновки, высокой заводской готовностью, минимальными габаритами и массой, малыми затратами на обогрев помещений. Недостатком

блочного исполнения являются стесненные условия для работы персонала, связанные с ограниченностью рабочего пространства для обслуживания и ремонта оборудования.

В ангарных ГПА (фото 2) основные функциональные блоки размещаются внутри большого ангара, что обеспечивает удобство обслуживания всех систем. В то же время конструкция агрегата имеет значительную массу и габариты. Более существенные затраты требуются и на отопление, вентиляцию, обеспечение огнетушащим составом. Кроме того, поставляемое оборудование при транспортировке необходимо разбивать на большое количество транспортных блоков (грузовых мест). Увеличиваются также сроки проведения монтажных и пусконаладочных работ (ПНР).

В процессе выполнения заказов «ИНГК» постоянно модернизирует ГПА с учетом требований и предложений заказчиков и служб эксплуатации, по результатам исследований специалистов компании. Конструкция ГПА совершенствуется как за счет изменения подходов к компоновочным решениям, так и путем улучшения технических характеристик отдельных систем, узлов и агрегатов.

В ходе одного из этапов модернизации конструкции ГПА разработана такая компоновка изделия, которая обладает рядом преимуществ как блочно-контейнерных, так и ангарных агрегатов. В частности, предложена и реализована конструкция блочно-модульного агрегата высокой заводской готовности, где все элементы систем смонтированы в блоки на заводе-изготовителе. Это сокращает затраты на монтаж и пусконаладку блоков, количество грузовых мест при транспортировке ГПА, а также обеспечивает частичное сокращение элементов фундаментов. Кроме того, в такой компоновке агрегата предусмотрены рабочие зоны, обеспечивающие нормативные условия для персонала при техническом обслуживании и ремонте установленного в укрытии оборудования.

☛ Фото 1. Блочно-контейнерный ГПА «Иртыш» на КС «Самантепе» (Узбекистан)



Конструктивно ГПА блочно-модульного исполнения (фото 3) включает:

- блок привода с системой продувки;
- блок компрессоров;
- воздухозаборный тракт;
- систему выхлопа;
- блочно-модульное укрытие.

Укрытие включает блоки полной заводской готовности с системами обеспечения ГПА (маслосистемами, вентиляцией, отоплением, подготовкой топливного и буферного газа, разделительного воздуха, элементами систем управления, электроснабжения и другими вспомогательными системами). Блоки расположены в два яруса, образующие однообъемное здание.

В состав укрытия входят:

- нижний ярус блоков А (рис. 1);
- верхний ярус блоков Б (рис. 2);
- каркас кровли;
- ограждающие конструкции;
- входные тамбуры;
- подкрановые пути.

Блоки нижнего и верхнего ярусов, состоящие из восьми модулей, на месте эксплуатации ГПА собираются вокруг турбоблока и блока компрессоров, образуя единую конструкцию. Скрепляются между собой с помощью болтовых соединений, с установкой верхнего яруса на нижний. Блоки представляют собой сварную металлическую каркасную конструкцию со стенами, выполненными из трехслойных сэндвич-панелей.

В модулях нижнего яруса размещено следующее оборудование ГПА:

- модуль А1 (электротехнический) – шкафы электроснабжения электропотребителей, источники бесперебойного ГПА;
- модуль А2 (автоматики) – шкафы системы управления ГПА;
- модуль А3 (вентиляции) – оборудование системы приточной общеобменной вентиляции укрытия и теплового узла подачи теплоносителя в систему водяного отопления машинного зала;
- модуль А4 – модули газового пожаротушения блока привода;
- модуль А5 – промывочная машина двигателя и лестница подъема на верхний ярус;
- модуль А6 – через модуль проходят выходные патрубки компрессора и горизонтальный газоход системы выхлопа;
- модуль А7 – оборудование систем подготовки топливного газа, обеспечения буферным газом и разделительным воздухом;
- модуль А8 – лестница подъема на верхний ярус.



Модули А1–А8 оборудованы системами освещения, обогрева, вентиляции, элементами пожарной и охранной сигнализации. Для доступа обслуживающего персонала в модули и укрытие в модулях А1-4 и А8 предусмотрены двери, в модуле А4 дополнительно установлены двустворчатые ворота.

В восьми модулях Б1-Б8 верхнего уровня установлены элементы систем освещения, маслообеспечения, топливного и пускового газа, пожарной и охранной систем, площадки обслуживания, элементы грузоподъемного оборудования.

Каркас кровли состоит из опор, вертикальных и горизонтальных балок, изготовленных из стального гнутого сварного профиля замкнутого контура, двутавра, уголка и листовой стали. Элементы каркаса кровли крепятся между собой, а также к модулям верхнего яруса при помощи болтовых соединений.

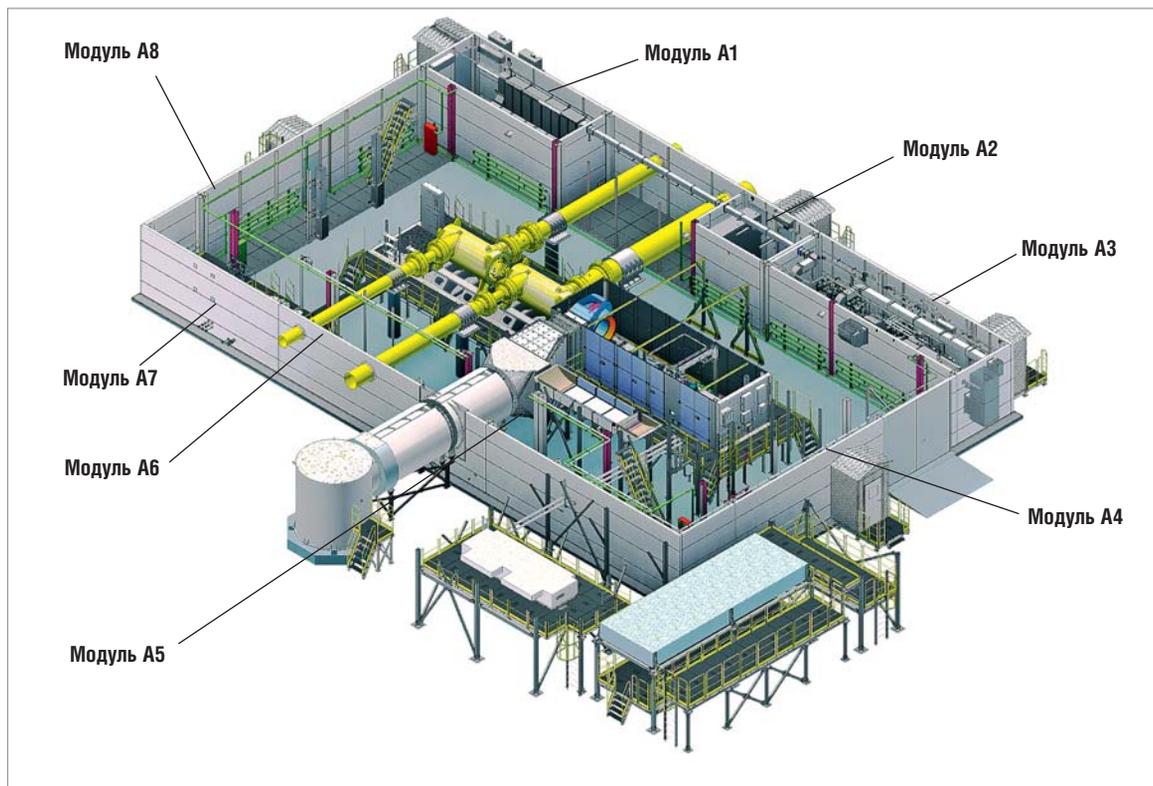
Ограждающие конструкции выполнены из трехслойных стеновых и кровельных сэндвич-панелей. Крепление сэндвич-панелей к каркасам модулей ярусов и кровли осуществляется при помощи самосверлящих шурупов.

Фото 2.  
Ангарный ГПА «Иртыш»  
на КС «Южно-Русская»  
(Севернефтегазпром)



Фото 3.  
Блочно-модульный  
ГПА «Иртыш»  
на КС «Ярактинская»  
(Иркутская нефтяная  
компания)

Рис. 1. Общий вид  
блоков нижнего яруса А



Для возможности использования укрытия как помещения категории А в конструкции предусмотрены легкосбрасываемые конструкции (стенные сэндвич-панели).

По периметру кровли установлено ограждение. Наличие тамбуров предотвращает попадание холодного воздуха в модульное укрытие. Ими оборудованы входные двери модулей А1–4 и А8. Для доступа к тамбурам предусмотрены лестницы и площадки.

В составе подкрановых путей установлен мостовой опорный однобалочный кран грузоподъемностью 20 тонн. Это оборудование позволяет выполнять техническое обслуживание и ремонт оборудования, находящегося в машинном зале.

В соответствии с данной концепцией специалисты компании «ИНГК» разработали документацию, изготовили и ввели в эксплуатацию два ГПА-16 в составе ДКС-3 установки подготовки нефти на Ярактинском нефтегазовом месторождении Иркутской нефтяной компании. Агрегат предназначен для сжатия и подачи попутного нефтяного газа в стационарный трубопровод.

В составе ГПА-16 применено следующее основное оборудование:

- газотурбинный двигатель Titan 130 мощностью 15,29 МВт производства Solar Turbines Incorporated;
- центробежный двухкорпусный компрессор С61РL (LP-низкого давления) и С61М (НР-высокого давления) с сухими газодинамиче-

скими уплотнениями и малорасходными масляными подшипниками;

- система автоматического управления (САУ) агрегата, включающая САУ газотурбинного привода Turbotronic-5 (разработчик и поставщик Solar Turbines) и САУ ГПА МСКУ 5000-01-64-07 (разработчик и поставщик НПФ «Система-Сервис»);
- комплексное воздухоочистительное устройство картриджного типа с системой самоочистки, включающее воздухоочистительное устройство TAI FILTER фирмы Donaldson, теплообменный аппарат PCD heat exchanger и противообледенительную систему PCD air injector duct производства Solar Turbines;
- источник бесперебойного питания и система постоянного тока производства завода «Инвертор».

При размещении оборудования в блоках и компоновке систем ГПА учитывались следующие критерии и технические требования заказчика:

- размещение максимального количества элементов ГПА в блоках укрытия с их группировкой по системам, позволяющее сократить затраты на отопление, освещение и выполнение норм по обеспечению взрыво- и пожаробезопасности;
- организация рабочих мест для обслуживания газотурбинного двигателя, компрессора и систем ГПА, а также размещение приспособлений и оснастки внутри укрытия для данных работ;

- габариты и масса блоков должны обеспечить их транспортировку автомобильным, железнодорожным и водным видами транспорта;
- конструкция блоков должна позволять увеличивать или уменьшать габариты укрытия, причем без изменения размещенных в них систем.

Наиболее сложная задача по обеспечению норм взрыво- и пожаробезопасности, отопления и вентиляции блоков с разной категорией решена за счет применения огнестойких перегородок блоков, отсутствия проходов из блоков с разной степенью взрыво- и пожаробезопасности. Был обеспечен также требуемый воздухообмен в укрытии и наддув модулей А1, А2, А3 согласно действующим нормам и правилам, причем наддув и обогрев осуществляются по двум независимым воздуховодам.

В результате помещениям ГПА присвоены следующие категории по взрыво- и пожаробезопасности; (в соответствии с ФЗ № 123-ФЗ и СП 12.13130.2009):

- модульное укрытие и блок привода – категория А;
- модуль А1 (электротехнический) и модуль А2 (автоматики) – категория В4;
- модуль А3 (вентиляции) – категория Д.

Для обслуживания, ремонта и демонтажа компрессоров предусмотрен кран и приспособления для выкатки сменных проточных частей. Чтобы обеспечить возможность демонтажа или монтажа газотурбинного дви-

гателя и его стартера из блока или в блок привода, используется комплексное устройство, в состав которого входят разборный моно-рельс, таль грузоподъемностью 2 тонны и четыре тали по 5 тонн.

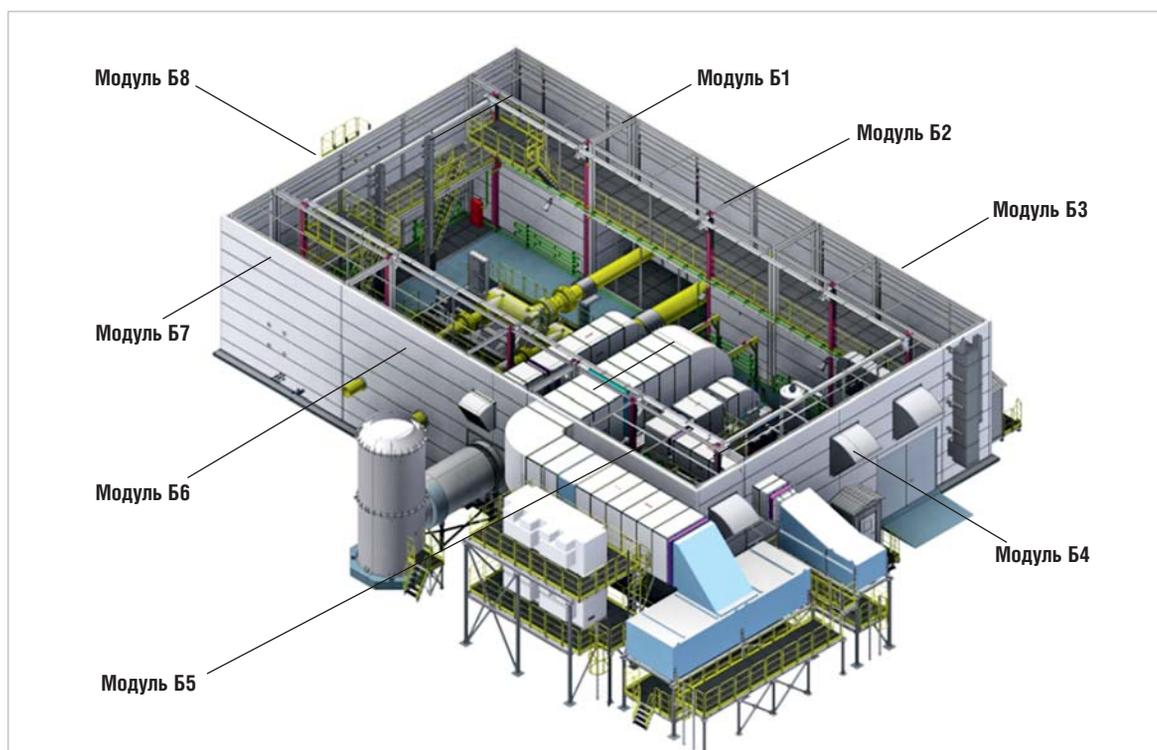
В ходе реализации проекта был предложен поточный порядок завоза блоков, который соответствовал последовательности монтажа. Это исключило необходимость дополнительных погрузочно-разгрузочных работ и площадок для складирования и хранения оборудования.

Проведенные работы и опыт эксплуатации подтвердили принятые решения:

- количество грузовых мест по сравнению с аналогом ангарного ГПА сократилось примерно на 20 %;
- время монтажа и ПНР при параллельном поточном выполнении работ на двух ГПА составило 6 месяцев.

Поставка и эксплуатация блочно-модульного ГПА-16 «Иртыш» на КС «Ярактинская» позволили спланировать ряд дальнейших мероприятий по совершенствованию агрегата, которые реализуются в новых проектах компании «ИНГК», а именно:

- размещение маслоохладителей в блоках второго яруса, позволяющее повысить удобство обслуживания;
- применение распределенных систем САУ, что значительно уменьшает количество кабельных трасс, повышает заводскую готовность и сокращает время монтажа и пуска наладки ГПА. **Д**



**Рис. 2.** Общий вид блоков верхнего яруса Б

## АО «ОДК-УМПО» поставит двигатели АЛ-41СТ-25 на КС «Арская».

Предприятием заключен договор на поставку двух новых газотурбинных двигателей АЛ-41СТ-25 для ПАО «Газпром». Установка двигателя и начало его опытно-промышленных испытаний в составе газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции «Арская» Шеморданского ЛПУМГ (ООО «Газпром трансгаз Казань») запланированы на декабрь текущего года.

Двигатель АЛ-41СТ-25 мощностью 25 МВт после прохождения испытаний на стенде «ОДК–Уфимское моторостроительное производственное объединение» будет смонтирован в ячейке ГПА-Ц-25НК вместо демонтированного двигателя НК-36СТ. Данный выбор позволяет установить новую газотурбинную установку с минимальной доработкой пэкиджа газоперекачивающего агрегата.

*Компрессорный цех на КС «Арская» Шеморданского линейного производственного УМГ (Сабинский р-н, Республика Татарстан), включающий три ГПА-Ц-25НК, работает в составе магистрального газопровода Ямбург – Елец-2.*

## Rolls-Royce обеспечит энергоснабжение логистического парка в Великобритании.

Компания заключила контракт с разработчиком энергетических решений – Base Power Ltd. на поставку трех энергоблоков когенерационного цикла для электростанции в г. Бигглсвейд. Новая ТЭС мощностью 2 МВт обеспечит резидентов логистического парка электроэнергией и теплом. В состав ТЭС войдут также солнечные батареи, расположенные на крыше здания и системы сохранения энергии.

В рамках контракта Rolls-Royce поставит энергоблоки когенерационного цикла на базе газопоршневых двигателей mtu 8V4000 GS, две резервные дизель-генераторные установки mtu 16V2000 DS1250 мощностью по 500 кВт, две установки сохранения энергии mtu QL Energy Pack емкостью по 2,3 МВт·ч. Контракт предусматривает также техническое обслуживание оборудования в процессе эксплуатации в течение 15 лет.

Все энергоблоки, работающие в базовом и резервном режиме, а также локальная солнечная фотоэлектрическая система будут координироваться интеллектуальной системой управления.



## Невский завод продолжает локализацию вспомогательного оборудования ГТУ Т32.

В рамках программы локализации вспомогательного оборудования газотурбинной установки ГТУ Т32, входящей в состав отечественного газоперекачивающего агрегата ГПА-32 «Ладога», Невский завод изготовил топливорегулирующие клапаны. Они разработаны в качестве альтернативы аналогичному оборудованию иностранного производства.

Клапаны построены на более совершенной ролико-винтовой планетарной передаче в отличие от шарико-винтовой у зарубежных аналогов, что обеспечивает максимальную устойчивость к внешним воздействиям и более длительный срок службы.

На стенде АО «НЗЛ» проведены циклические испытания каждого клапана – 5000 циклов с имитацией условий реальной эксплуатации ГПА-32 «Ладога» на КС, подтвердившие работоспособность оборудования.

Критерием применимости новых клапанов является успешное проведение длительных испытаний с имитацией режимов работы, приближенных к условиям эксплуатации. Клапан изменяет расход топлива ГТУ, что требует от его работы большой точности и высокой надежности.

В рамках реализации программы локализации Невский завод системно осваивает производство наиболее технологичных и наукоемких узлов и деталей ГТУ Т32. Работы выполняются как на собственных производственных мощностях, так и в кооперации с российскими предприятиями. Полное освоение производства основного и вспомогательного оборудования ГТУ планируется завершить в 2024 г.

## «Ролт Групп» построит электростанции для кирпичных заводов.

Компания «Ролт Инжиниринг» (входит в «Ролт Групп») заключила соглашение об обеспечении собственной электроэнергией трех заводов по производству кирпича в Ростовской области.

В объем поставки войдет оборудование для трех мини-ТЭС. Энергоблоки ROLT PSG 500 будут созданы на базе газопоршневых двигателей Baudouin компании Weichai. Электрическая мощность каждой станции составит 520 кВт.

Мини-ТЭС позволят предприятиям снизить затраты на электроэнергию и повысить надежность энергоснабжения производств.

**24–26 ОКТЯБРЯ 2023**  
МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»

**HEAT&POWER**



**8-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
ПРОМЫШЛЕННОГО КОТЕЛЬНОГО, ТЕПЛОБМЕННОГО  
И ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ**

РЕКЛАМА



Организатор



Международная  
Выставочная  
Компания

+7 (495) 252 11 07  
heatpower@mvk.ru



**ЗАБРОНИРУЙТЕ СТЕНД**  
[heatpower-expo.ru](http://heatpower-expo.ru)

# Исследование физико-химических процессов в гидродинамическом кавитаторе

С. А. Мешков, Н. Г. Родионов, Ю. Н. Саблюков, М. Г. Черкасова, Н. И. Смирнова – ООО «Экоспектр», Москва

## In brief Investigation of physico-chemical processes in a hydrodynamic cavitator.

This article discusses the possibilities of using cavitation processes based on the proposed hydrodynamic cavitator for cleaning contaminated water and industrial wastewater, neutralizing water from microbes and bacteria, in particular without the use of chemical reagents or in combination with other methods. It is shown how the values of the hydrogen pH index, the hardness of water, the concentration of dissolved nitrates, sulfates, and carbonates change in this case. Cavitation processes can be used for coagulation and flotation of substances in solutions of liquids, qualitative mixing of liquids and changes in some of their properties, for desalination of seawater, etc.

Явление кавитации известно более 100 лет. Как правило, кавитация негативно воздействует на характеристики оборудования, например, при работе гребных винтов, насосов, гидравлических турбин, элементов гидросистем и т.д. Она имеет колоссальную разрушительную силу, может дробить любые конструкционные материалы. Для устранения кавитации используют апробированные технические приемы и методы, в зависимости от вида конкретных объектов.

Однако во многих технологиях проявляется положительная роль кавитации. В настоящее время она успешно используется в различных областях промышленности, медицине, сельском хозяйстве и др. В данной статье рассмотрены возможности применения кавитационных процессов на основе предлагаемого гидродинамического кавитатора для очистки загрязненной воды и промышленных стоков, обезвреживания воды от микробов и бактерий, в т. ч. без использования химреактивов или в сочетании с другими методами. Показано, как при этом изменяются величины водородного показателя рН, жесткости воды, концентрации растворенных нитратов, сульфатов, карбонатов. Кавитационные процессы можно использовать для коагуляции и флотации веществ в растворах жидкостей, качественного перемешивания жидкостей и изменения некоторых их свойств, для обессоливания морской воды и др.

В статье приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований кавитации в гидродинамическом кавитаторе, которые могут использоваться для решения различных прикладных задач. Даны описания конструкций используемых кавитаторов, различных режимов их работы. Рассмотрены физические особенности зарождения и развития кавитационных процессов в проточной части кавитаторов на основе выполненных видео- и фотосъемок кавитирующих потоков воды. Проведены первичные опыты прикладного назначения по очистке воды. В частности, анализируются возможности кавитационных воздействий для очистки воды, пробы которой взяты из реки Волги, от разнообразных загрязнений, солей и микроорганизмов.

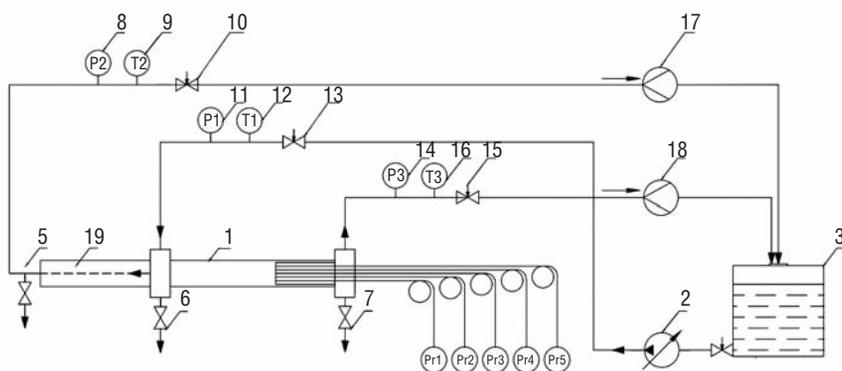
Рассмотрены особенности физико-химических, а также взаимосвязи гидродинамических и акустических процессов при работе кавитатора.

## Задачи исследований кавитации в гидродинамическом кавитаторе

Кавитация – физико-химический процесс, возникающий при разрушении сплошности жидкости при соответствующих условиях на объекте. Образующиеся паровые пузырьки в областях пониженного давления схлопываются при попадании в область повышенного давления (пар конденсируется). При схлопывании внутри паровых пузырьков возникают огромные по величине локальные импульсы давления до 1000 МПа и температура до 2000...5000 °С. В кавитирующей среде происходят быстротекущие, практически мгновенные процессы диссоциации молекул на ионы и радикалы, а также процессы синтеза молекул из ионов, радикалов. Кавитирующая среда становится мощным реактором, в котором протекают химические

Рис. 1.

Принципиальная схема экспериментальной установки РБС1. Основные элементы: 1- реактор кавитатора; 2 - насос с ЧРП; 3 - бак с водой; 19 - паровой коллектор



реакции и физические процессы, связанные с развитием ударных волн – своеобразных «микровзрывов» в среде [1–4 и др.].

Авторами ставились задачи, направленные на исследования кавитационных процессов в гидродинамическом кавитаторе, конструктивное исполнение которого напоминает известную трубу Ранка-Хилша [5], которая была модернизирована для проведения опытов в различных прикладных направлениях.

На гидродинамических кавитаторах изучались физико-химические процессы при кавитации воды, кавитационные воздействия на растворенные соли, находящиеся в воде микроорганизмы. При этом определялись оптимальные режимы работы кавитаторов для наиболее эффективной очистки воды от химических и биологических загрязнений. Получены первичные результаты выполненных опытов на кавитаторе по очистке воды, пробы которой взяты из реки Волги в районе г. Рыбинска. Дальнейшие исследования будут направлены на поиск положительных изменений свойств обрабатываемых жидкостей, а также на ускорение, упрощение, повышение эффективности некоторых технологических процессов очистки и обработки загрязненной воды, пищевых жидкостей, минерализованных жидкостей, нефтесодержащих сред и др., обусловленных кавитационной обработкой.

В опубликованной литературе практически отсутствует информация о течениях кавитирующей жидкости в гидродинамических кавитаторах рассматриваемого типа. Поэтому в опытах уделено важное внимание визуализации течений кавитирующей среды, с использованием в т. ч. высокоскоростных фотокамер, кавитаторов, выполненных с прозрачными стенками.

Течение кавитирующей среды в гидродинамическом кавитаторе отличается большой сложностью в части теоретических, расчетных оценок. В статье описаны принципы представления модели кавитации в жидкостной и паровой фазах кавитирующей среды. Приведены результаты численных расчетов работы гидродинамического кавитатора, выбранные из большого множества, – они сопоставлены с результатами экспериментов.

Известно, что кавитация порождает акустические явления в жидкости [1, 6, 7 и др.], которые взаимосвязаны с гидродинамическими условиями потоков жидкостей в объектах. На экспериментальной установке с гидродинамическим кавитатором проведены опыты по измерениям основных характеристик генерируемых акустических волн в проточной части кавитатора на различных режимах его работы.



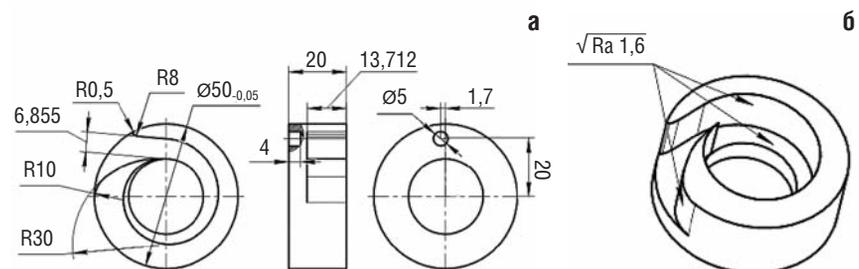
Фото 1. Общий вид части основных элементов экспериментальной установки РБС1

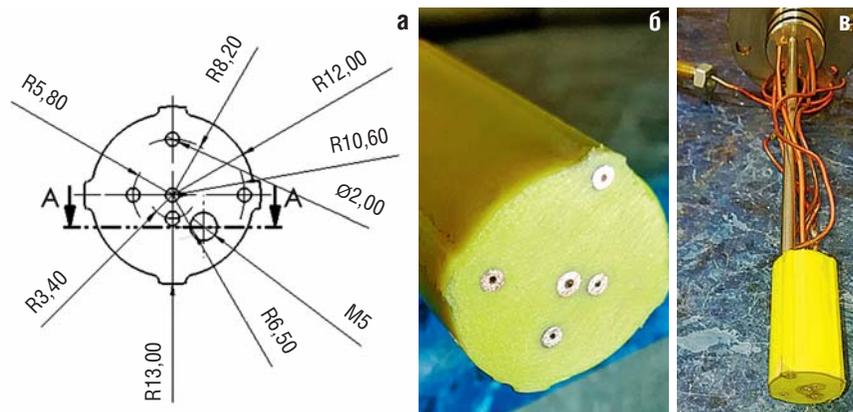
### Принципиальная схема и основные элементы установок РБС1 и РБС2

Для реализации управляемых процессов кавитации в объектах используются технические устройства, разрушающие сплошность жидкости. Известны технологии применения [2] энергетических воздействий в виде наложения гидродинамических, акустических, электромагнитных, тепловых и др. полей для разрыва сплошности жидкости в кавитаторах разнообразного конструктивного исполнения. Цель кавитационной обработки жидкостной среды, содержащей разнообразные примеси, – изменение агрегатного состояния, химико-биологических, физических свойств жидкости в полезном для потребителя направлении.

Принцип кавитационного воздействия на обрабатываемую среду заключается в следующем. Паровые пузырьки аккумулируют потенциальную энергию жидкости, распределенную дискретно в пространстве и времени, в кинетическую энергию – в виде «микровзрывов» при практически мгновенном схлопывании паровых пузырьков. Почти мгновенный импульс при высвобождении аккумулированной энергии среды в большом количестве локальных зон сосредоточения паровых пузырьков вызывает большую по величине мощность воздействия в зоне кавитационной обработки среды. Кавитирующая среда становится мощным реактором, в котором протекают интенсивные химические реакции и физические процессы, связанные с развитием ударных волн (своеобразных «микровзрывов» в среде), практически мгновенно.

Рис. 2. Завихритель: а) чертёж завихрителя кавитатора; б) общий вид завихрителя





**Рис. 3.**  
**Дистанцирующий поршень:**  
 а) схема отборов статического давления;  
 б) вид отборов давления на торце поршня;  
 в) общий вид поршня с отборами давления

Исследования физико-химических процессов в гидродинамических кавитаторах проводились авторами на воде, на экспериментальных установках РБС1 и РБС2. Кавитационная обработка среды сводилась к гидродинамическим, механическим воздействиям, которые формируются при вращательно-поступательном движении потока воды в кавитаторе.

На *фото 1* показана принципиальная схема установки РБС1 с гидродинамическим кавитатором; на *рис. 2* – общий вид установки, где видны основные элементы гидродинамического кавитатора – реактор 1 и паровой коллектор 19, выполненные из прозрачных трубок.

### Описание работы установки

Насос 2 подает воду из бака 3 в завихритель кавитатора. В реакторе 1 формируется вихревое противоточное, вращательно-поступательное, турбулентное движение воды. При определенных параметрах воды на входе в завихритель в центральной зоне реактора создается область низкого давления, в которой достигается температура ниже температуры насыщенных паров воды, где вода вскипает. На некотором удалении от осевой зоны потока в трубке реактора давление среды повышается, и там происходит схлопывание паровых пузырьков. Влажный водяной пар из центральной зоны реактора 1 поступает в паровой коллектор 19, а вода, в виде жидкой фазы, удаляется с периферии реактора в бак 3 через боковые прорезы в дистанцирующем поршне.

**Фото 2.**  
**Общий вид установки РБС2**



На *рис. 2* показан чертеж завихрителя и его общий вид в аксонометрической проекции; на *рис. 3* – схема отборов статического давления и общий вид дистанцирующего поршня, устанавливаемого внутри трубки реактора.

Отбор статического давления производится с использованием медной трубки. Диаметр отверстия отбора давления составляет 0,67 мм, наружный диаметр трубки – 1,2 мм.

Режим работы кавитатора можно регулировать изменением частоты вращения ротора насоса с помощью устройства ЧРП, в пределах 10...50 Гц, напора и подачи насоса, а также путем изменения степени открытия регулирующих кранов 10, 13, 15 в пределах 0...100%. В установке РБС1 используется многоступенчатый насос центробежного типа производства LEO Group Pump, Ltd (КНР), который может создавать давление воды на выходе в пределах 10...20 бар при изменениях подачи в пределах 8,25...0,75 м<sup>3</sup>/ч.

Положение дистанцирующего поршня внутри трубки реактора можно изменять перемещением поршня в осевом направлении. Внутри входного устройства кавитатора установлен завихритель, создающий вихревое движение воды в реакторе – прозрачной цилиндрической трубке, выполненной из поликарбоната. В прозрачной трубке можно визуально наблюдать и регистрировать качественные особенности течения среды, делать фотографии течения, видеосъемку высокоскоростной камерой и т. д. Диаметры трубки реактора: наружный 34 мм, внутренний 26 мм. Диаметры трубки парового коллектора: наружный 34 мм, внутренний 28 мм.

Трубка реактора из стекла подвергалась хрупкому разрушению от действия ударных волн при кавитации и оказалась ненадежной при выполнении монтажных/демонтажных работ. Поэтому используется прозрачная трубка из поликарбоната, обладающая свойствами упругого деформирования под действием импульсных силовых нагрузок из-за кавитационных ударных волн, удобная при монтаже/демонтаже.

Экспериментальная лабораторная установка РБС2 имеет компактное, транспортабельное конструктивное исполнение, чтобы ее можно было перемещать на объекты грузовым автотранспортом. Основные элементы и принципиальная схема РБС1 и РБС2 похожи. На *фото 2* представлен общий вид установки РБС2, у которой паровой коллектор имеет меньшие габариты по сравнению с РБС1, а прозрачная трубка реактора меньшего внутреннего диаметра – 16 мм.

## Исследования гидродинамических процессов в потоках воды в кавитаторе

### Общие сведения о визуализации кавитации в реакторе кавитатора

На установке РБС1 было проведено большое количество опытных и наладочных работ по изучению потенциальных возможностей установки. Изменялось пространственное положение вихревого кавитатора, изменялись расходы сред вправо и влево в реакторе, частоты вращения ротора насоса в диапазоне 10...50 Гц, использовались массы воды, взятые из различных источников с разной степенью загрязненности, опыты с водой при изменениях ее температуры и т.д. В результате проведения значительного комплекса опытных работ с визуализацией потоков сред в прозрачных трубках кавитатора выявлены возможности установки по развитию кавитации и ее визуальному изучению с фото- и видеорегистрацией. Информации такого рода нет в опубликованной литературе, поэтому полученные результаты на вихревом кавитаторе являются новыми, не известными в мировой практике.

При работе вихревого кавитатора доказано, что на установившемся рабочем режиме сохраняется устойчивое вращательно-поступательное течение среды в трубке реактора в течение длительного времени. В центральной области реактора образуется устойчивая паровая каверна, что показано на *фото 3* для установок РБС1 и РБС2.

Опыты с измерениями распределения статического давления на торцевой поверхности поршня (5 отборов, см. *рис. 3*) показали, что в центре трубки реактора создается максимальное разрежение среды при кавитации. Например, в частном опыте с загрязненной водой из пруда зафиксировано: давление воды на входе в кавитатор 9,8 бар (изб.); барометрическое давление в атмосфере 1,009 бар; избыточное давление пара в центре поршня – точке  $r = 0$  мм, минус 97 кПа. Следовательно, абсолютное давление пара в этой точке  $r = 0$  мм (у торца поршня) составляет всего лишь 3,9 кПа. Таким образом, в центре вихревого потока в кавитаторе можно создавать глубокое разрежение среды, близкое к вакууму, разрывать сплошность среды, достигая при этом устойчивого вскипания воды при низкой температуре кипения, появление и дальнейшее развитие паровых пузырьков.

Паровые пузырьки, уходящие из центральной зоны вихревого потока в радиальном направлении, попадают в область повышенного давления, где происходит их схлопывание и развиваются соответствующие ударные волны в среде. При проведении опытов на других



С Фото 3.  
Примеры визуализации потока в реакторе кавитатора:  
а) в РБС1;  
б) в РБС2



С Фото 4.  
Пример визуализации потока в реакторе:  
а) при  $h = 220$  мм;  
б) при  $h = 110$  мм

режимах работы вихревого кавитатора создавалось разрежение среды в точке  $r = 0$  мм обычно в диапазоне минус 80...97 кПа, при отсутствии воздуха в гидросистеме. Проведение систематизированных опытов на установке РБС1 позволило выявить группы режимов, при которых можно создавать различные условия зарождения и развития кавитации в кавитаторе, обеспечивать требуемые параметры при кавитационных воздействиях на обрабатываемые среды.

На установке РБС1 были проведены сравнительные опыты с различным положением поршня в трубке реактора на расстоянии  $h = 220$  мм и  $h = 110$  мм от плоскости завихрителя до торца поршня, при различных режимных условиях течения среды (*фото 4*). Большинство опытов были выполнены с расстоянием поршня  $h = 220$  мм, при этом имелись данные по распределению статического давления среды на торце поршня. По величине разрежения среды в центральном отборе статического давления на поршне можно судить об интенсивности развития кавитации косвенным образом.

С Табл. 1.  
Некоторые результаты опытов на РБС1 (от 25.04.2022)

Избыточное давление $P_1$ воды за насосом, бар (открытие крана 15, %)	Температура воды $T_1$ за насосом, °С	Расход воды влево, м³/ч	Расход воды вправо, м³/ч	Ориентировочный размер вихревого шнура, мм, его вид	Избыточное давление среды в центре вихревого жгута, кПа
11,4 (100%)	23	2,81	4,84	10, ровный	-1,0
11,4 (25%)	23	2,97	4,25	10, ровный	-2,0
12,5 (5%)	23	5,94	1,07	5, ровный	-86,0
12,5 (0%)	23	6,28	0,00	5, ровный	-80,0

☞ Фото 5.

Визуализация потоков среды при открытии крана 15, 100 %:

а) в реакторе;

б) в паровом коллекторе;

при открытии крана 15, 0 % (кран 15 полностью закрыт):

в) в реакторе;

г) в паровом коллекторе



**Влияние расхода воды в правую и левую части реактора кавитатора**

Расход воды в правую и левую части реактора можно регулировать изменением проходного сечения в кране 15. Для выявления влияния расхода воды в реакторе сопоставим опытные данные, например при изменении степени открытия крана 15, приведенные в *табл. 1* (абсолютное атмосферное давление воздуха 1002 мбар). Поршень находится на расстоянии 220 мм от левого края трубки реактора. Степень открытия крана 15 составляет, соответственно, 100, 25, 5 и 0 %.

О развитии кавитационных явлений в реакторе можно судить визуально – по размерам образующегося вихревого шнура, а также по разрежению среды в центральной точке вихря на поршне, т. е. в отборе при  $\gamma = 0$ .

Открытие крана 15 от положения «полностью открыто» (100 %) до «полностью закрыто» (0 %) влияет на развитие вихревого шнура и на разрежение в центре вихревого жгута в точке  $\gamma = 0$ . Опыты показали, что вихревой шнур стабилен в трубке реактора при любых расходах воды вправо и влево. Для существования вихря требуются две поверхно-

☞ Табл. 2.

Обобщение опытов

по влиянию давления воды за насосом на кавитацию

Избыточное давление P1 воды за насосом, бар	Температура воды T1 за насосом, °C	Расход воды влево, м³/ч	Расход воды вправо, м³/ч	Ориентировочный размер вихревого шнура, мм, его вид	Избыточное давление среды в центре вихревого жгута, кПа
12,5	23	5,94	1,07	5, ровный	-86,0
9,8	23,2	7,52	0,16	5, не очень ровный	-97,0
9,5	19,2	4,92	2,88	около 10, слегка витой	-94,0
8,7	18,4	5,39	2,82	5, ровный	-92,0
8,0	24,3	4,13	4,19	10, ровный	-60,0

сти его присоединения в реакторе – у поршня и у завихрителя. Эти поверхности всегда есть, и поэтому обеспечиваются конструктивные условия для развития вихря при его вращательно-поступательном движении в реакторе. В центральной точке вихря развивается достаточно высокое разрежение среды, особенно при малой степени открытия крана 15 – около 5 %. Следовательно, именно там возникают первичные условия для вскипания жидкости и последующего развития кавитационных процессов.

**Влияние давления воды за насосом**

Давление воды за насосом в установках РБС зависит от используемой модели насоса, а также от задаваемых режимов работы при эксплуатации установки. Максимальное давление воды в насосе ограничено техническими данными производителя. На установках РБС применяется система частотного регулирования электропривода (ЧРП), которая позволяет плавно регулировать частоту вращения ротора насоса в широком диапазоне. Обычно при проведении опытов установки РБС работают при частоте вращения ротора насоса 20...50 Гц, чаще при частоте 50 Гц.

Давление воды за насосом существенно влияет на формирование потока жидкости и развитие кавитации в трубке реактора. В *табл. 2* приведены опытные данные, отражающие влияние давления воды за насосом на кавитационные процессы в реакторе. Эти данные выбраны из множества опытов на установке РБС1, проводимых в различное время. Общими условиями при выборке данных из проведенных опытов является степень открытия крана 15 на 5 %, частота вращения привода 50 Гц.

При открытом на 5 % кране 15, при частоте вращения привода 50 Гц изменение давления воды за насосом от 12,5 до 8,0 бар (изб.) обеспечивает развитие кавитации.

Исходя из результатов опытов, сопоставляя данные таблиц 1 и 2, следует выполнять кавитационные воздействия на обрабатываемые среды в реакторе кавитатора при следующих рабочих режимах:

- частота вращения привода 50 Гц;
- степень открытия крана 15 составляет 5 %;
- давление воды за насосом в диапазоне около 9,5...10 бар (изб.).

Указанные параметры работы установки РБС позволяют получать максимальное разрежение в центральной области вихревого жгута в реакторе, следовательно, получать интенсивное развитие кавитации с максимальной выделяемой энергией ударных волн.

Некоторые различия величин разрежения в центре вихря, возможно, объясняются наличием воздуха в гидросистеме, а также различием температуры воды на входе в насос.

### Влияние частоты вращения ротора насоса

При проведении данного опыта в протоколе испытаний не фиксировались расходы, температуры сред, вид и размеры вихревого жгута, поэтому корреляцию данных параметров таблиц 1, 2 и 3 выполнить затруднительно. Подтверждается ранее сделанный вывод о том, что наибольшая интенсивность кавитации в установке достигается при частоте вращения ротора насоса 50 Гц (см. табл. 3).

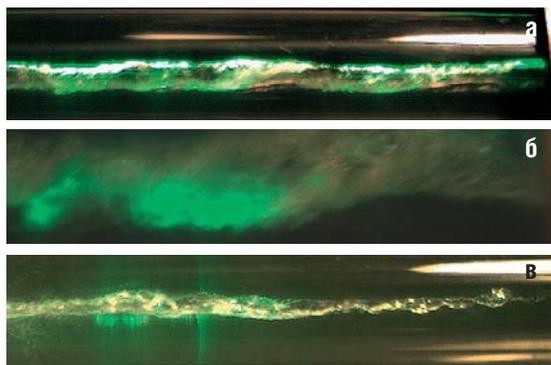
### Влияние режимов работы РБС1 на потоки в реакторе и в паровом коллекторе

На установке РБС1 проведено большое количество опытов на различных режимах работы кавитатора, с измерениями расходных и термодинамических параметров, с визуализацией течения в реакторе и в паровом коллекторе.

В качестве примеров на фото 5 приведены структуры потоков для двух крайних величин открытия крана 15. Потоки сред в кавитаторе соответствуют различным режимам работы установки РБС1. При этом давление воды за насосом сохраняется практически постоянным – около 12 бар (изб.), кран 15 открыт – со степенью открытия 100 %, 0 %, частота вращения ротора насоса постоянная – 50 Гц. Промежуточные виды потоков воды при варьировании степени открытия крана 15 в статье не приведены.

Из анализа фотографий течений среды и других измеряемых параметров при работе РБС1 установлено, что при любой степени открытия крана 15 от 100 % до 0 % в реакторе развивается вращательно-поступательное движение среды. Причем в центральной области реактора образуется хорошо видимый вихревой паровой шнур. Граница раздела паровой и жидкостной фаз в реакторе визуально резко выражена. В центральной зоне развивается паровой вихревой шнур, а далее, в радиальном направлении, от периферии вихревого шнура до ограничивающей стенки трубки течет жидкая фаза воды. Замечено, что периферийная граница вихревого шнура в реакторе слабо изменяет свою форму и конфигурацию при изменениях степени открытия крана 15. Но радиальный размер вихревого шнура может несколько изменяться – при прикрытии крана толщина (диаметр) шнура уменьшается.

В паровой коллектор отбирается паровая среда из центральной зоны реактора на всех режимах работы установки, в т. ч. при пол-



С Фото 6.

Структура потока:  
а) в реакторе;  
б) в присоединительной области в реакторе, увеличенный фрагмент;  
в) в паровом коллекторе

Условия опыта: давление воды перед насосом 11,8 бар, частота вращения ротора насоса 50 Гц, кран 15 открыт на 5 %. Частота кадров при видеосъемке 18 700 в секунду

ностью закрытом кране. Всё пространство в прозрачной трубке парового реактора занято почти однородной по составу (и по «молочному» цвету) паровой средой – влажным водяным паром.

Предполагается при этом, что степень сухости влажного пара, уходящего через различные участки парового коллектора, изменяется в широких пределах – от  $x = 0$  до  $x = 1$ , в зависимости от режима работы установки. Логично предположить, что пар с наибольшей степенью влажности будет уходить из реактора в паровой коллектор на режиме с полностью закрытым краном 15. Это предположение следует учитывать при постановке опытов разного целевого назначения. В специальных опытах на РБС1 планируется в дальнейшем определять степень сухости пара, уходящего из парового коллектора, при различных режимных условиях работы установки.

На установке РБС1 были выполнены опыты с использованием высокоскоростной видеосъемки в реакторе и в паровом коллекторе. Некоторые примеры с результатами изображений представлены на фото 6, 7.

Скоростная видеосъемка потока в паровом коллекторе 19 позволила установить, что паровая среда, выходящая из реактора, имеет ярко выраженное вихревое течение.

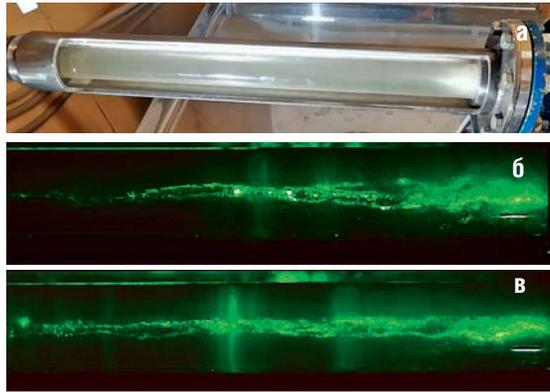
Табл. 3.

Влияние частоты вращения насоса на параметры потока среды в реакторе

Частота вращения ротора насоса, Гц	Избыточное давление воды за насосом, бар	Статическое давление среды в отборе на трубке в центре реактора, кПа	Избыточное давление среды в отборе на поршне при $r = 3,4$ мм, МПа	Избыточное давление внутри сопла на входе в паровой коллектор, МПа
12	0,9	-22	0,01	0
15	1,4	-32	0,01	0,01
22	2,0	-50	0	0,02
30	3,2	-68	0	0,06
35	4,4	-78	0	0,08
40	5,6	-84	0	0,1
45	7,0	-84	0	0,15
50	8,4	-84	0	0,18

☞ *Фото 7.*

Визуализация потока в паровом коллекторе:  
 а) общий вид потока пара;  
 б) паровой поток в паровом коллекторе при степени открытия крана 15 на 5 %;  
 в) паровой поток в паровом коллекторе при полном закрытии крана 15



Причем в центральной зоне парового потока формируется четко видимый визуально вихревой шнур с переменной толщиной в осевом направлении (см. *фото 7*, пример из множества изображений на установке РБС1, частота видеосъемки 8500 кадров/с). Частота вращения ротора насоса 50 Гц.

Структура потока в реакторе слабо изменяется при степени открытия крана 15 при 5 %, а также при 0 %.

На *фото 6 а*) можно наблюдать на поверхности раздела фаз локальные области с большим количеством пузырьков в виде пены. Вероятно, там создаются благоприятные условия для кавитации на поверхности раздела фаз в реакторе или происходит унос их кавитационных центров с потоком из центральной области вихревого жгута.

Визуализация потоков кавитирующей среды при разных режимах работы кавитатора позволила прояснить понимание деталей процессов развития кавитации в исследуемом объекте, в реакторе и в паровом коллекторе. **□**

*Окончание статьи в следующем номере.*

#### Литература

1. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. Пер с англ. М.: Мир, 1974. – 688 с.
2. Промтов М.А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества. М.: Машиностроение, 2004. – 136 с.
3. Слесарев В.И. Химия: основы химии живого. С.-Пб.: Химиздат, 2000. – 768 с.
4. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. 2-е изд. Самара: «Оптима», 1997. – 355 с.
5. Черныш Н.К. Закрученные потоки и эффект Ранка-Хилша. Минск, «Медионт», 2006. – 352 с.
6. Пирсол И. Кавитация. Пер. с англ. М.: «Мир», 1975. – 95 с.
7. Рождественский В.В. Кавитация. Л.: Судостроение, 1977. – 248 с.

## Крупнейший ИВЦ в Саудовской Аравии обеспечен электропитанием.

Компания Rolls-Royce Power Systems ввела в эксплуатацию первые 6 динамических источников бесперебойного питания (ДИБП) mtu Kinetic Power Packs для одного из крупнейших в мире ЦОД, расположенного в Университете науки и техники короля Абдаллы (KAUST) в Саудовской Аравии.

Mtu Kinetic Power Packs – это современные системы для обеспечения высокой надежности резервного питания для таких потребителей, как медицинские учреждения, аэропорты, центры обработки данных. ДИБП обеспечат электропитание суперкомпьютера Шахин III, который станет самым мощным на Ближнем Востоке и позволит KAUST значительно расширить свои возможности в области научных исследований и разработок искусственного интеллекта.

Каждый ДИБП имеет мощность 1,6 МВт и работает с напряжением 13,8 кВ. Он приводится в действие дизельным двигателем mtu 16V4000 G74S. Всего на станции будет установлено 12 ДИБП, которые смонтируют в две группы по 6 энергоблоков. В каждой группе имеется по одному резервному устройству (схема работы 5 + 1).

Динамический ИБП состоит из двух частей – ДГУ на раме и кинетического модуля (маховика) с системой распределения электропитания. Обе части связаны друг с другом электрическим соединением. В нормальном режиме работы генератор в режиме электродвигателя приводит во вращение кинетический модуль с частотой вращения 3000 об/мин.

При пропадании питания раскрученный маховик будет обеспечивать энергию для вращения вала мотор-генератора и следовать за нагрузкой. Времени торможения маховика достаточно для обработки большинства кратковременных сбоев сети без запуска резервного дизеля. В случае длительных сбоев (более 20...40 с) запускается дизельный двигатель. При появлении сети автоматика переводит систему в штатный режим работы от сети.



## Газопоршневые энергоблоки MWM будут работать в составе био-ТЭС в Германии.

Компания MWM поставит два газопоршневых энергоблока TCG 3020 V20 мощностью по 2300 кВт для электростанции в г. Альфхаузен. Электростанция будет работать в когенерационном цикле, обеспечивая электроэнергией и теплом промышленные предприятия и жилой сектор. Заказчиком проекта и собственником электростанции является независимая энергетическая компания Raschet & Weiler GmbH.

Основным топливом для электростанции является биометан, который будет подаваться по специально построенному 19-километровому трубопроводу. Топливо будет собираться с нескольких биогазовых установок, расположенных в районе Оснабрюк (Нижняя Саксония).

Тепло выхлопных газов двигателей будет использоваться для производства горячей воды. Станцию оборудуют баком-аккумулятором горячей воды объемом 2500 м<sup>3</sup>. Затем она будет распределяться потребителям в жилом секторе через местную тепловую коммунальную сеть.

Ввод когенерационной электростанции в г. Альфхаузен в коммерческую эксплуатацию планируется в конце текущего года. Строительство двух аналогичных электростанций ведется в г.г. Фюрстенау и Оснабрюк — они начнут работать в 2023 г., также используя биогаз в качестве топлива.



## Поставлена мини-ТЭС для аэропорта Пулково-19 в С.-Петербурге.

ООО «ДВС Ресурс» поставило и ввело в эксплуатацию две ГПУ мощностью по 250 кВт. Оборудование предназначено для обеспечения электрической и тепловой энергией инфраструктуры аэропорта. Основой мини-ТЭС является установка Алмаз 250 на базе двигателя E3262 E 302.

# Турбины и Дизели

## ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

Подписной индекс  
в Объединенном каталоге  
«Пресса России»:

Журнал «Турбины и Дизели»

# 87906

Каталог  
энергетического оборудования  
«Турбины и Дизели»

# 87907

РЕКЛАМА

Подписка через редакцию с любого номера журнала

Тел./факс: (4855) 285-997  
info@turbine-diesel.ru  
www.turbine-diesel.ru



## Энергия пермских турбин для ООО «Лукойл-Коми»

### In brief

#### Perm turbines energy for Lukoil-Komi LLC.

The gas turbine power station for own needs with an electric capacity of 100 MW was put into operation at the Usinsk oil field of Lukoil-Komi LLC in July 2016. This is the most powerful energy complex of Lukoil PJSC in the Komi Republic built on the base of domestic gas turbine units GTES-25PA. The energy complex provides Lukoil-Komi field facilities with its own electric energy using associated petroleum gas as the main and reserve fuel. The continuous operation of power station helps the company to reduce operating costs, increase oil production, and also solve the problem of energy shortage in the region.

### Д. Д. Сулимов, С. Б. Мишенин – АО «ОДК-Авиадвигатель»

Газотурбинная электростанция собственных нужд ГТУ-ТЭЦ электрической мощностью 100 МВт введена в эксплуатацию на Усинском нефтяном месторождении ООО «Лукойл-Коми» в июле 2016 года. Это самый мощный энергетический комплекс ПАО «Лукойл» в Республике Коми, построенный на базе отечественных газотурбинных агрегатов ГТЭС-25ПА.

### Назначение ГТУ-ТЭЦ

Энергокомплекс обеспечивает промышленные объекты «Лукойл-Коми» собственной электрической энергией, используя в качестве основного и резервного топлива попутный нефтяной газ (ПНГ). Непрерывная работа ГТУ-ТЭЦ помогает предприятию снизить операционные затраты, нарастить нефтедобычу, а также частично решить проблему энергодефицита в регионе.

Использование попутного нефтяного газа в качестве топлива для ГТЭС-25ПА способствует улучшению экологической обстановки в регионе за счет его полезной утилизации в газовой турбине. Энергетический потенциал уходящих газов, получаемый при сжигании ПНГ в газотурбинной установке, используется в тепловом контуре Усинской ТЭЦ для подготовки рабочего агента. Вода с температурой 210 °С и давлением 14 МПа закачивается в скважины Усинского месторождения, подогревая и разжижая высоковязкую нефть в пластах, повышая показатели добычи нефти.

### Проектные решения

Генеральным подрядчиком проекта выступила дирекция строительства Усинской ГТУ-ТЭЦ ООО «Лукойл-Энергоинжиниринг» при поддержке блока энергетики ПАО «Лукойл» и главного офиса «Лукойл-Энергоинжиниринг». Проектирование электростанции выполнил Санкт-Петербургский проектный институт «СевЗапВНИПИЭнергопром».

В качестве основного энергетического оборудования проектными решениями приняты газотурбинные энергетические агрегаты ГТЭС-25ПА производства АО «ОДК-Авиадвигатель».

Агрегаты располагаются попарно в легкоборных модулях, электрическая мощность каждого модуля составляет 50 МВт. Аналогичные компоновочные решения газотурбинных энергетических агрегатов были реализованы в других проектах, например, ГТУ-ТЭЦ мощностью 200 МВт на заводе «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез». Но в отличие от этого объекта, в Усинском проекте каждый энергоагрегат имеет свою дымовую трубу

(высотой 45 м) и два котла-утилизатора, которые располагаются рядом со вторым и третьим энергетическими агрегатами. Котлы-утилизаторы вертикальной компоновки разработаны предприятием «ЗиО–Подольск» специально для данного проекта.

Безопасную и устойчивую работу энергокомплекса обеспечивают системы автоматического управления. В операторной выделены отдельные автоматизированные рабочие места по управлению системами подготовки газа, подготовки рабочего агента, газотурбинными энергоагрегатами, системами безопасности, управления верхнего уровня и электротехнической части энергокомплекса. Основная информация для наглядности выведена на модульную видеостену.

Электрическая мощность от ГТУ-ТЭЦ поступает основным потребителям – на Усинский газоперерабатывающий завод и расположенные вокруг него участки механизированной нефтедобычи ООО «Лукойл–Коми», в том числе на установки подготовки нефти, выделения и грануляции серы.

Для работы параллельно с сетью МРСК и обеспечения резерва построена 800-метровая воздушная линия напряжением 35 кВ до подстанции «Промысловая» филиала МРСК Северо-Запада «Комиэнерго».

Проект Усинской ГТУ-ТЭЦ разбит на три этапа строительства. Первый этап пройден в рекордно короткие сроки: строительство и запуск в эксплуатацию четырех энергоагрегатов ГТЭС-25ПА и вспомогательного оборудования, обеспечивающего выдачу электроэнергии в сеть, осуществлен за 15 месяцев – с апреля 2015 года по июль 2016-го. В 2019 г. с вводом в эксплуатацию установки подготовки рабочего агента (УПРА), предназначенной для химической обработки и подготовки речной воды для закачки в пласт, завершён второй этап. Прорабатывается вопрос об увеличении установленной электрической мощности ГТУ-ТЭЦ до 125 МВт на третьем этапе.

### Шестилетний опыт эксплуатации и сервиса

Газотурбинные энергетические агрегаты ГТЭС-25ПА эксплуатируются по программе фирменного сервиса. В рамках программы специалисты АО «ОДК–Авиадвигатель» гарантируют работу агрегатов в течение всего назначенного ресурса. В объём сервисных работ входят:

- анализ параметров работы агрегатов, ежедневный мониторинг и формирование параметрической базы данных;
- консультации и оперативные указания экс-



В сборочном цехе АО «ОДК-ПМ»

плуатирующему персоналу на объекте в режиме 24/7;

- планирование, организация и проведение технического обслуживания, капитальных ремонтов оборудования;
- оперативное устранение неисправностей для обеспечения непрерывной эксплуатации агрегатов;
- формирование, хранение и пополнение комплекта запасных частей, расходных материалов на объекте эксплуатации;
- непрерывное взаимодействие с поставщиками вспомогательного оборудования, разработка и внедрение, при необходимости, мероприятий по импортозамещению;
- внедрение мероприятий, направленных на повышение надежности оборудования;
- применение современных методов диагностики и ремонта оборудования;
- обеспечение эксплуатации агрегатов по техническому состоянию с возможностью продления ресурса;
- сопровождение технической документации.

Газотурбинные энергоблоки размещаются попарно в легкосборных зданиях





Центральный щит управления ГТЭС

АО «ОДК-Авиадвигатель» – конструкторское бюро по разработке газотурбинных двигателей для авиации, а также промышленных газотурбинных установок и электростанций на базе авиационных технологий. Предприятие осуществляет:

- разработку, серийный выпуск, шефмонтажные и пусконаладочные работы, ремонт, гарантийное и текущее обслуживание ГТЭС мощностью от 2,5 до 25 МВт;
- разработку, сопровождение серийного производства и эксплуатации ГТУ для нагнетателей газа магистральных газопроводов мощностью от 4 до 34 МВт;
- производство модулей, деталей, сборочных единиц для авиадвигателей и ГТУ как собственной, так и сторонней разработки;
- продление ресурса изделий собственной разработки в эксплуатации;
- ремонт изделий собственной разработки;
- фирменный сервис по авиационным и промышленным двигателям, а также электростанциям собственного изготовления.

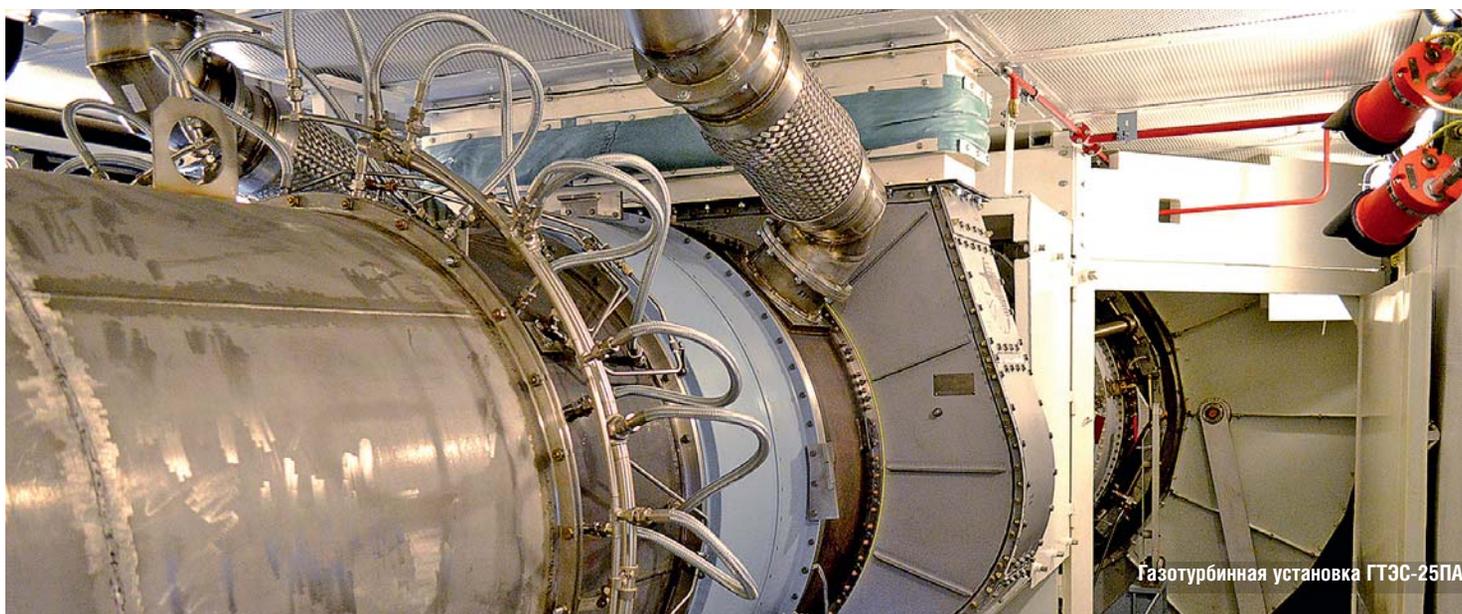
Конструкторское бюро «ОДК-Авиадвигатель» является головным разработчиком семейства двигателей пятого поколения для ближне- и среднемагистральных самолетов типа МС-21 и промышленных ГТУ. Создание базового авиадвигателя ПД-14 – один из приоритетов Государственной программы РФ «Развитие авиационной промышленности на 2013–2025 гг.».

Этот вид сервиса впервые был применен в 2010 году на Ватьеганской ГТЭС-72 (ООО «Лукойл-Западная Сибирь») для шести энергетических агрегатов ЭГЭС-12С. В 2022 году по этой же программе обслуживаются и эксплуатируются 53 энергетических агрегата АО «ОДК-Авиадвигатель» и шесть газовых турбин в составе газотурбинных энергоблоков и дожимных компрессорных агрегатов.

Режимы работы четырех агрегатов ГТЭС-25ПА зависят от нагрузки потребителей и могут изменяться от 70 до 90 МВт. Применение конвертируемого авиационного двигателя ПС-90ГП-25А в составе ГТЭС-25ПА позволяет устанавливать любой режим работы для каждого агрегата, например, от 0,66 Ne ном (16,6 МВт) до номинального режима в зависимости от требуемой мощности. Базовая схема работы станции сводится к формуле N+1, когда три агрегата находятся в работе постоянно, а один – в горячем резерве, но с ростом нагрузки потребителей в работу включаются все четыре агрегата.

По состоянию на конец января 2023 года суммарная наработка агрегатов ГТЭС-25ПА превысила 130 тыс. часов. Газотурбинные двигатели в рамках программы фирменного сервиса прошли первый этап капитальных ремонтов на заводе АО «ОДК-Пермские моторы». Проектирование новых собственных источников генерации на объектах добычи нефти происходит ежегодно. **Д**

*АО «ОДК-Авиадвигатель» готово предложить потенциальным заказчикам энергетические агрегаты единичной мощностью от 2,5 до 25 МВт.*



Газотурбинная установка ГТЭС-25ПА

## Началась реализация международного проекта «Гибкость для водорода».

Проект «Гибкость для водорода» (Flex4H2), возглавляемый Ansaldo Energia, направлен на разработку гибкой системы сжигания топлива и финансируется ЕС по программе исследований ЕС Horizon Framework в рамках партнерства по чистому водороду. Бюджет проекта составляет 8,7 млн евро и рассчитан на четыре года – с января 2023 по декабрь 2026 года.

Консорциум Flex4H2 включает девять партнеров из шести европейских стран: Италии – Ansaldo Energia, Edison; Германии – Arttic Innovations, Центр авиации и космонавтики; Франции – Европейский центр исследований и разработок в области вычислительной науки; Бельгии – ETN Global; Норвегии – Sintef Energi; Швейцарии – Цюрихский университет прикладных наук.

Проект направлен на расширение возможностей систем сжигания водорода с низким уровнем выбросов для использования в современных газовых турбинах при высоких температурах и давлении. Это планируется достигнуть при сохранении характеристик двигателя, экономичности и гибкости в расходовании топлива. При этом все целевые уровни эмиссии, установленные Программой стратегических исследований и инноваций в области чистого водорода JU (SRIA), должны быть достигнуты.

Будет применена технология сжигания топлива, получившая название последовательного сгорания при постоянном давлении (CPSC), которая внедрена в двигателе H-класса GT36 (760 МВт в комбинированном цикле). Технология, основанная на продольно-ступенчатой системе сгорания, обеспечивает максимальную топливную гибкость и обладает наибольшим потенциалом для достижения цели проекта – демонстрация стабильной и чистой работы камеры сгорания с концентрацией водорода в смеси с природным газом до 100 % при температурах горения, стандартных для современных двигателей H-класса.

Новая, модифицированная конструкция камеры сгорания будет полностью адаптирована к существующим газовым турбинам, что обеспечит возможность модернизации двигателей, находящихся в эксплуатации.

Испытания будут проводиться в три этапа на топливной смеси с содержанием водорода 70, 90 и 100 %. В проекте используются современные вычислительные инструменты, программы аналитического моделирования и методы диагностики для исследования статической и динамической стабилизации пламени.



## Компания Mitsubishi Power поставила ГТУ в г. Комсомольск (Ивановская обл.).

В рамках контракта, заключенного с АО «Интер РАО–Электрогенерация» на Ивановскую ГРЭС доставлены два газотурбинных энергоблока H-100 мощностью по 118 МВт. Они будут работать в составе электростанции комбинированного цикла Ивановских ПГУ. В настоящее время энергоблоки установлены на подготовленный фундамент. На станции ведутся строительные-монтажные работы.

Газовая турбина H-100 – стационарная, двухвального типа, без редуктора, предназначена для работы на природном газе, возможна эксплуатация и на жидком топливе.

Корпус газовой турбины имеет горизонтальный разъем. Частота вращения компрессора с турбиной высокого давления составляет 4580 об/мин, силовой турбины с генератором – 3000 об/мин.

В состав компрессора входят ВНА и поворотные лопатки второй и третьей ступени. Степень сжатия – 20,1. Низкоэмиссионная камера сгорания оснащена 10 жаровыми трубами. Турбины высокого давления и силовая турбина имеют по две ступени. Температура газа на входе в турбину составляет 1300 °С, применяется воздушное охлаждение СА 1–3-й ступеней и РЛ 1–2-й ступеней турбины. Масса двигателя с рамой, всасывающей и выхлопной камерами – 215 тонн.

Ввод парогазовой установки на базе двух турбин H-100 в эксплуатацию запланирован на конец 2024 г.

## В Ленинградской области построена газопоршневая ТЭС.

Мини-ТЭС контейнерного исполнения находится на территории Кингисеппского стекольного завода. В состав оборудования входят три газопоршневые установки JMS 420 (INNIO Jenbacher), напряжение генераторов 6,3 кВ. Общая электрическая мощность станции – 4,48 МВт.

В комплектных электрогенераторных установках контейнерного исполнения применяется двигатель внутреннего сгорания с искровым зажиганием JGS 420 GS-N.L. В составе станции смонтировано распределительное устройство 6,3 кВ на элементной базе компании «Элтехника», в составе ячеек КСО серии «Онега». РУ имеет контейнерное исполнение.

Специалисты ООО «Валор» выполнили проектирование станции, поставку и монтаж основного и вспомогательного оборудования, провели пусконаладочные работы и обучение персонала заказчика. Также были проложены и подключены наружные газовые и электрические сети к тепловой электростанции.

## Ansaldo Energia построит электростанцию комбинированного цикла в Азербайджане.

Контракт на поставку оборудования и строительство под ключ электростанции в г. Мингечевир заключен с компанией «Азербэрджи», инвестиции в проект составят 160 млн евро. Общая электрическая мощность новой станции составит 1280 МВт. В ее состав войдут четыре газотурбинные установки АЕ94.3А, четыре котла-утилизатора, две паровые турбины и 6 электрогенераторов. ПГУ будет работать на природном газе.

В рамках контракта Ansaldo Energia поставит оборудование, выполнит строительно-монтажные и пусконаладочные работы. Предусмотрено проведение технического обслуживания и ремонта оборудования в процессе эксплуатации в течение 10 лет.

Мощность газовой турбины АЕ94.3А составляет 340 МВт, КПД – 40,3 % (ISO). В настоящее время в эксплуатации на объектах заказчиков находится 80 энергоблоков АЕ94.3А комбинированного цикла и 16 энергоблоков простого цикла в 16 странах.

## Специалисты ЦРМЗ обеспечили технологическое сопровождение ПНР на Первомайской ТЭЦ.

Специалисты Центрального ремонтно-механического завода («Газпром энергохолдинг индустриальные активы») обеспечили технологическое сопровождение пусконаладочных работ энергоблока №1 Первомайской ТЭЦ филиала «Невский» (ТГК-1).

На станции выполнена замена автоматизированных систем управления зарубежного производства на программно-технический комплекс (ПТК) ТЕКОН, разработанный компанией «ТеконГрупп» (Москва). Специалисты ЦРМЗ в ходе реализации проекта приняли участие во всех видах работ, начиная от разработки координационного плана и анализа алгоритмов управления и включая испытания на всех этапах, в том числе пусковые операции, комплексное апробирование и сертификацию. После проведенных работ энергоблок ПГУ-180 №1 успешно прошел 24-часовые приемосдаточные испытания.

Внедрение отечественной автоматической системы управления АСУ ТП позволило улучшить эксплуатационные характеристики и упростило техническое обслуживание средств ПТК. Открыта возможность для применения российских технических решений в области автоматизации газотурбинных установок иностранного производства.



## Компания «Сервис Юнит» поставила энергоблоки для тепличного хозяйства в Липецкой области.

Тепличный комплекс «ЛипецкАгро» располагается в Данковском районе и обеспечивает овощной продукцией сетевые магазины. Для снижения себестоимости продукции и надежного энергоснабжения группа «Рост» построила для тепличного комплекса когенерационную электростанцию на базе шести газопоршневых установок JMS 624 GS электрической и тепловой мощностью по 4,4 МВт.

Оборудование станции размещается в легкосборном здании вблизи тепличного комплекса. ГПЭС предназначена для обеспечения собственных нужд теплиц, включая досвечивание выращиваемой светокультуры – томатов. Агрегаты работают как в автономном режиме, так и параллельно с сетью, с нулевым экспортом электроэнергии в сеть. В случае аварии в сети, но при сохранении нагрузки ГПУ автоматически переключаются в островной режим работы, обеспечивая электропитание. После восстановления сети генераторы автоматически синхронизируются с сетью и возвращаются в параллельный режим работы.

Тепловая энергия энергоблоков используется для поддержания микроклимата в теплицах. Для утилизации излишков тепловой энергии в летний период проектом предусмотрены радиаторы воздушного охлаждения.

## В Челябинской области строится ГПЭС.

В г. Карабаш ведется строительство газопоршневой электростанции мощностью 21,5 МВт. Генподрядчик – «Специализированное монтажное управление-2» – возведет здание ГПЭС, складские помещения, технологические и кабельные эстакады, радиаторы охлаждения наружной установки, а также дымовые трубы станции высотой 30 м.

В состав ГПЭС войдут 5 энергоблоков на базе двигателей TCG 2032V16 мощностью по 4300 кВт производства MWM с трубными модулями для каждой установки. Контрактом также предусмотрен монтаж оборудования и трубопроводов с арматурой систем, обеспечивающих работу энергоблоков, и прокладка внутримплощадочных сетей. Заказчик – ООО «Капитал Сити».

ГПЭС «Карабаш-3» обеспечит электрической и тепловой энергией потребителей прилегающей производственной площадки предприятия «Карабашмедь». Ввод оборудования запланирован на текущий год.

### Kawasaki Heavy Industries выполнит модернизацию ГТУ для работы на водородной топливной смеси.

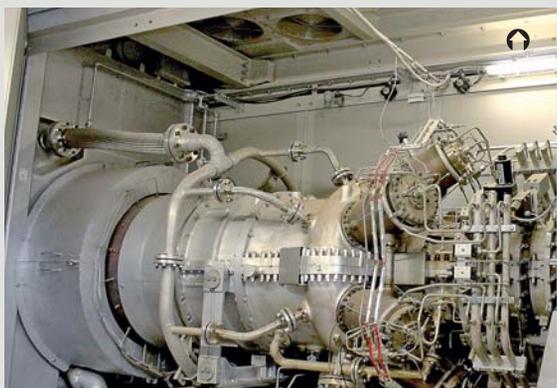
Контракт на модернизацию когенерационной установки GPB17D мощностью 1,8 МВт заключен с компанией Chevron Phillips (г. Тессендерло, Бельгия). ГТУ, работающая на природном газе, будет модернизирована для работы на топливной смеси с содержанием водорода 30%. Сухая низкоэмиссионная камера сгорания будет заменена КС, которая обеспечит возможность сжигания водородной топливной смеси. В результате ГТУ GPB17D будет конвертирована в GPB17D-H2.

Это первый контракт Kawasaki на модернизацию газовой турбины для работы на водородной смеси. Новые технологии сжигания топлива обеспечивают эффективное использование водорода в качестве топлива для газовых турбин, стабильное производство электроэнергии и пара с использованием существующих систем, низкие уровни эмиссии NO<sub>x</sub> – менее 15 ppm (15% O<sub>2</sub>).

Новая камера сгорания от Kawasaki может устанавливаться на газовые турбины для использования смеси природного газа и водорода без внесения изменений в конструкцию турбины. Требуется только установить оборудование для подачи водорода и систему подготовки топливной смеси. Это позволяет эксплуатантам использовать существующие газотурбинные двигатели.

Компания Chevron Phillips в г. Тессендерло производит специальные сероорганические химикаты. В результате технологических процессов химического производства образуется водород, который может использоваться в качестве топлива для ГТУ.

Электростанция GPB17D была введена в коммерческую эксплуатацию на площадке завода в начале 2021 г. В июле текущего года планируется закончить модернизацию и ввести в эксплуатацию энергоблок GPB17D-H2 на топливной смеси газа и водорода.



Самый полный  
Каталог оборудования  
для генерации электрической  
и тепловой энергии.

**Подробно представлены:**

- газотурбинные двигатели для ГТЭС и ПГУ;
- газопоршневые и дизельные приводы;
- паровые турбины;
- теплообменное оборудование для ГТЭС, ПГУ и ГПЭС;
- электростанции различного типа;
- электрогенераторы;
- абсорбционные холодильные установки (чиллеры);
- ветрогенераторы.

РЕКЛАМА

# КАТАЛОГ

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



Тел/факс.: (4855) 285-997  
info@turbine-diesel.ru

2023

[www.turbine-diesel.ru](http://www.turbine-diesel.ru)  
ПОДРОБНОСТИ НА САЙТЕ

# Научное обоснование и разработка модульного принципа создания паротурбинной установки

**А. Ю. Култышев, к.т.н. – ООО «Газпром энергохолдинг индустриальные активы»**

В статье приведены доводы о необходимости развития турбостроительных предприятий по современной концепции, включающей цифровую трансформацию, внедрение модульных принципов и подходов, а также оптимизацию модулей, составляющих конструкцию выпускаемого оборудования.

## In brief

### Scientific substantiation and development of the modular principle of steam turbine plant creation.

The main and auxiliary steam turbine equipment is a knowledge-intensive product, and not only from the development and production point of view, but also no less knowledge-intensive at the subsequent stages of the life cycle: installation, commissioning, operation and maintenance. Therefore, approaches to the design and technological preparation of production, tools and means of maintenance of housing and communal services equipment are of particular importance. At the same time with the development of equipment design, production technologies, tools and means of maintenance of life cycle, including operation and service, the influence of this factor on the management indicators of housing and communal services is becoming more significant. This once again indicates the increasing relevance of the introduction of modern science-based life cycle management of steam turbine equipment.

Основное и вспомогательное паротурбинное оборудование является наукоемким изделием, и не только с позиций разработки и производства, но и не менее наукоемким на последующих стадиях жизненного цикла изделия (ЖЦИ): монтаж, пусконаладка, эксплуатация и обслуживание. Поэтому подходы к конструкторско-технологической подготовке производства, инструментов и средств сопровождения ЖЦ оборудования имеют особое значение. Причем с развитием конструкции оборудования, технологий производства, инструментов и средств сопровождения ЖЦИ, включая эксплуатацию и сервис, влияние этого фактора на показатели управления ЖЦ становится все более значительным. Это еще раз указывает на все большую актуальность внедрения современного, научно обоснованного управления жизненным циклом паротурбинного оборудования.

Трудоемкость работ по созданию и производству сложного наукоемкого основного и вспомогательного оборудования настолько велика, что отказ от индивидуального проектирования и производства вполне оправдан как технически, так и экономически. Следует использовать не только унификацию, но и четко отлаженные принципы и методологию, позволяющие применять глубоко проработанный модульный подход с разносторонне оптимизированной архитектурой конструкции и компоновки оборудования и собственно самих применяемых модулей.

### Изменение подходов к разработке турбинного оборудования

Развитие темы модульного проектирования и модульной технологии в отечественном и зарубежном машиностроении проходило с 1980-х годов и объяснялось необходимостью совершенствования производства, которое на тот момент развивалось стихийно, с отсутствием

общей идеи, точно, с использованием различных подходов и методов. Советскими специалистами (Базров Б. М., Васильев А. Л., Балакшин Б. С. и др.) по развитию машиностроительного производства признавалось, что развитие машиностроительного комплекса не происходило «как единого целого», а осуществлялось неравномерно, нерационально, многочисленные разработки «не поддавались учету, что делало машиностроение необозримым, а процесс его развития – неуправляемым».

Энергомашиностроение, и турбостроение в частности, также не было исключением. Попытки упорядочить, стандартизировать и унифицировать разработки турбинного оборудования не имели значительного успеха, так как последнее является более наукоемким, требующим расчетных и эмпирических исследований и натуральных испытаний. Даже тогда оно выпускалось относительно мелкими сериями, что на тот момент усугублялось взрывным ростом объема научно-технических внедрений и ростом установленной мощности как оборудования, так и энергетических объектов в целом. Другими словами, развитие машиностроительного производства попросту не успевало за процессом развития турбинного оборудования и профилей энергообъектов. На рис. 1 представлена эволюция разработки паротурбинного оборудования на отечественных турбинных заводах.

«Тупик» предельной унификации, типизации и стандартизации ограничивает и останавливает развитие продуктов и их производства, поэтому нужна новая идея, обеспечивающая единый системный подход к развитию и росту, вплоть до взрывного, на фоне остановившихся конкурентов. Такой новой идеей, или идеологией, может стать методологическое применение модульного принципа создания оборудования с одновременной цифровой трансформацией

предприятия, что должно быть реализовано при методологической и административной поддержке перехода загруженного предприятия со «старых» подходов на «новые».

## Модульный принцип при создании оборудования

Применение комплексного подхода к внедрению модульного принципа с одновременной цифровой трансформацией энергомашиностроительных предприятий открывает широкие возможности для повышения конкурентоспособности, а дальнейшее ведение операционной деятельности с использованием такой концепции – к взрывному росту компании.

Разработка и научное обоснование модульного принципа при создании паровых турбин и паротурбинного оборудования с формированием подхода к проектированию и оптимизации модулей позволяет снизить стоимость всего ЖЦ ПТУ, повысить технологичность конструкции, поднять конкурентоспособность производителя оборудования, исполнителей строительно-монтажных и пусконаладочных работ, а также эксплуатирующей организации.

Наращивание мощностей производства не давало требуемого кратного роста высокопроизводительного эффективного оборудования – то есть экспоненциального роста, что требовало другой идеологии и иных подходов. Новые взгляды отечественного машиностроения были построены на принципах, которые упрощенно можно сформулировать следующими тезисами:

- разработка и использование теоретических основ конструирования оборудования, теории деталей машин вместо интуитивных подходов;

- обобщение частных случаев с различными по назначению оборудования, разными конструкторскими и технологическими решениями;
- оценка рациональности применяемой технологии в период конструкторской подготовки производства, а не после окончательной разработки конструкции оборудования, то есть синтез конструктивных и технологических решений;
- одновременное решение ряда смежных задач, формирующих (и даже предопределяющих) сразу и функциональную, и технологическую преемственность ранее изолированных конструкций оборудования, приспособлений и оснастки для производства таких конструкций;
- поиск и объединение конструкций и технологий по общим признакам, что позволяет повысить унификацию узлов конструкций и технологии изготовления и, как следствие, перенести методы крупносерийного производства в мелкосерийное;
- реализация подходов по вышеуказанным принципам позволяет комбинировать различное оборудование из одних и тех же узлов и модифицировать его путем замены отдельных узлов, без изменения остальных;
- выстраивание нормализованных рядов и формирование номенклатуры оборудования на предприятиях, а иногда в отрасли между предприятиями, как с использованием, так и без использования межзаводской кооперации против размежевания заводов с разделением между ними линейки оборудования;
- повышение производительности за счет конструктивной, технологической преемственности, переработки конструкций оборудования под объем выпуска.

Рис. 1. Эволюция разработки паротурбинного оборудования на отечественных турбинных заводах



Таким образом, «Концепция модульного проектирования» – это развитие машиностроительного предприятия и его продуктов по трем направлениям, так как в современном мире не может быть качественной реализации модульного подхода без цифровой зрелости и постоянного автономного совершенствования модулей из накапливаемой библиотеки предприятия.

Начиная с 2005 года, опять же с целью выживания в условиях жесткой конкуренции, различные энергомашиностроительные предприятия, в том числе турбинные, с разными темпами начинают цифровую трансформацию. Необходимо отметить, что проводить цифровую трансформацию предприятия по производству паровых турбин без выстраивания связи между конструкцией изделия и технологией производства при одновременной стандартизации, типизации, классификации конструкции и унификации оборудования и технологии будет неэффективно. Также как и нельзя добиться высокоэффективного использования инструментов стандартизации, типизации, классификации и унификации без перехода на новую концепцию ЖЦИ с современной методологией конструкторско-технологической подготовки производства, основывающейся на бесчертежном подходе с аннотированной 3D-моделью подлинника и ассоциативными связями на всех этапах подготовки.

На рис. 2 представлена диаграмма, характеризующая современную концепцию эффективного развития энергомашиностроительного предприятия. Она включает три основных направления развития бизнес-процессов и конструкции оборудования: 1) цифровая транс-

формация предприятия с повышением уровня цифровой зрелости, влияющая на эффективность всех этапов ЖЦ изделия; 2) модульная концепция, использующая модульные принципы и подходы на протяжении всего ЖЦ – от разработки, производства до утилизации; 3) оптимизация конструкции и функций оборудования за счет совершенствования составляющих модулей.

Значительное повышение эффективности оборудования и его ЖЦ невозможно, если отсутствует значительное движение хотя бы по одному из обозначенных, взаимно дополняемых направлений развития. Нужно учитывать, что цифровые инструменты являются лишь высокопроизводительными средствами организации и выполнения конструкторско-технологической подготовки производства, изготовления, монтажа, пуска наладки, эксплуатации и обслуживания оборудования. И их внедрение на всем протяжении ЖЦ не даст должного эффекта, если в оборудовании не будут закладываться теоретические основы деталей и машин, позволяющие добиться максимальной стандартизации, типизации, классификации конструкции и унификации, обеспечивающих конструкторскую, технологическую и функциональную преемственность и возможности выстроить по критическому пути все бизнес-процессы создания и производства всей номенклатуры оборудования предприятия. (В профессиональной среде машиностроителей энергетического и нефтегазового сектора даже бытует выражение «бардак автоматизировать нельзя».)

Одновременно очевидно, что без должного совершенствования технико-экономических и функциональных показателей модулей и конструкций, компонуемых из них, невозможно добиться высоких характеристик оборудования всего номенклатурного ряда, а эффективно выполнить ряд расчетно-аналитических и оптимизационных задач нельзя без унификации и мобильных решений по компоновке и модификации, которыми безусловно могут являться новые принципы и подходы к созданию модульных конструкций с использованием современных инструментов и методологий цифрового макета изделия и цифровой концепции обеспечения жизненного цикла изделия.

Модульный принцип используется достаточно давно: в отечественном паротурбостроении с 1950-х годов, то есть с начала внедрения теоретических основ деталей и машин и использования нормализованного конструирования. Однако до сих пор в машиностроении, и турбостроении в частности, не разработаны научные основы – существуют только «лоскут-



Рис. 2.  
Современная концепция  
развития  
энергомашиностроительного  
предприятия

ные» методики, подходы и принципы без формирования концепции.

Для оценки уровня унификации и использования модульных подходов к разработке паротурбинного оборудования использовалась собственная экспертиза и разработанная шкала, которая сведена в *табл.*

Цифровая трансформация меняет продукт, бизнес-процессы предприятия, ее позиционирование – это отличает понятие «цифровая трансформация» от «автоматизации», которая что-то улучшает, но сохраняет способ ведения дела.

Подчеркнем целевые положения и технологии цифровой трансформации предприятия в части КТПП:

- подлинником является Цифровой макет изделия (ЦМИ);
- бесчертежные технологии;
- системная инженерия и управление требованиями;
- сквозное нисходящее проектирование;
- выстроенные ассоциативные связи по всем процессам подготовки производства;
- инженерные расчеты развиваются до стадии виртуальных испытаний;
- многокритериальная оптимизация конструкции (оптимизация модулей/подмодулей и их сборка в оборудование);
- процессы протекают в цифровом виде;
- управление конфигурацией изделия.

Оптимальным решением цифровой трансформации является внедрение практически одновременно проектов перехода к подлиннику конструкторской документации в формате ЦМИ, к электронной технологической документации на базе аннотированных 3D-моделей. Без применения такого плана или организационного подхода достигнутый на этапе КТПП значительный экономический эффект будет нивелирован затратами на последующих этапах. Только процесс комплексной цифровизации позволяет достичь поставленных целей по повышению эффективности КТПП. При грамотной организации данный процесс не требует единовременной цифровизации всех служб предприятия, а может быть выстроен планомерно, в зависимости от объема номенклатуры узлов, запускаемых в производство на основе ЦМИ.

Помимо цифровой трансформации производственной цепочки, нужно отметить важность особенности внедрения модульного проектирования как неотъемлемого направления развития ЖЦ. Максимальный эффект от внедрения модульной конструкции оборудования достигается только в том случае, если вся цепочка ЖЦ будет использовать преимущества модульности, т.е. будет применена

комплексная модульная концепция, учитывающая, помимо развития модульных конструкций и повышения уровня цифровой зрелости, одновременность и равномерность их развития по всей цепочке производственных этапов ЖЦ оборудования.

## Основные положения модульной концепции

Первый и основной тезис по теме совершенствования ЖЦ паротурбинного оборудования – это системный и комплексный подход, охватывающий все этапы и всех участников сопровождения ЖЦ оборудования. И чем к более раннему этапу ЖЦ относится внедренное решение, тем больший эффект в течение всего ЖЦ достигается, что можно сравнить с цепной реакцией или «принципом домино».

**Табл.**  
**Шкала оценки энергомашиностроительного предприятия по уровню модульности основной паротурбинной продукции**

Уровень	Наименование уровня	Описание оценочных критериев уровня модульности
1	Начальный	При разработке и производстве основного и вспомогательного оборудования используются внедренные теоретические основы деталей и машин. Конструкторско-технологическая подготовка производства является «реактивной», то есть результаты такой деятельности малопредсказуемы, а подходы и результаты от проекта к проекту не всегда повторяются. Использовано нормализованное конструирование: типизация и стандартизация, которая позволяет добиваться унификации до 50 %.
2	Базовый	Методология модульного проектирования отсутствует. Подходы, процессы и ресурсы модульного проектирования используются индивидуально, нестабильно. Только некоторые процессы определены документами, результат модульности конструкции отдельного оборудования зависит от усилий отдельных сотрудников и руководителей. Процессы в отдельных номенклатурных рядах становятся повторяющимися, что позволяет повторять успешные решения. Доля модулей в основном паротурбинном оборудовании по численности ДСЕ составляет менее 25 %, унификация – менее 50 %.
3	Средний	Методы, подходы, процессы и ресурсы модульного проектирования используются, но документированы, стандартизованы лоскутно, что не позволяет управлять ими на всех уровнях комплексно. Доля модулей в основном паротурбинном оборудовании по численности ДСЕ составляет более 25 %, унификация – более 50 %.
4	Высокий	Методы, подходы, процессы и ресурсы модульного проектирования документированы, стандартизованы и интегрированы, что позволяет управлять ими на всех уровнях комплексно. Доля модулей в основном паротурбинном оборудовании по численности ДСЕ составляет более 50 %, унификация – более 60 %.
5	Инновационный	Происходит непрерывное совершенствование методов, подходов, бизнес-процессов, инструментов и ресурсов модульного проектирования с разработкой и внедрением инновационных решений, что становится системой и культурой. Доля модулей в основном паротурбинном оборудовании по численности ДСЕ составляет более 70 %, унификация – более 80 %. В каждом новом проекте доли модульности и унификации растут относительно средних показателей. Модули/блоки оптимизируются.

Таким образом, именно внедренное конструктором «ноу-хау» позволяет достичь максимального эффекта – от надежности до экономики, и это вполне объяснимо, так как именно он, один или вместе с технологом, прорабатывает потенциальное влияние закладываемого решения на весь ЖЦИ, а в наукоемком турбинном оборудовании, разработка которого зависит от глубоко проработанных научно-технических решений, такое «явление» максимально выражено.

Таким образом, для эффективного сопровождения и управления ЖЦ оборудования необходимо на всех этапах без исключения и устраивать «принцип домино», возвращая решение задач на начальные этапы. Максимально эффективными для рассматриваемого оборудования и для дальнейшего развития предприятий, участвующих в ЖЦИ, будут уточнение, оптимизация, модернизация конструкции оборудования по итогам и опыту реализации последующих этапов технологической подготовки производства, собственно производства, строительно-монтажных или пусконаладочных работ, испытаний или эксплуатации и сервиса.

Основные положения Концепции формулируются следующим образом:

1. Единовременно рассматривать создание нового или расширение существующего номенклатурного ряда продукции турбинного предприятия.

2. Модельный ряд (класс, семейство или серия) внутри номенклатурного ряда создается одновременно с созданием профиля базового для него типа.

3. Основные принципы концепции модульного создания паротурбинного оборудования должны учитывать:

- глубокую конструктивную и технологическую нормализацию, стандартизацию, конструктивную и технологическую преемственность;
- автономность использования стандартных библиотечных модульных элементов в максимальном количестве типов оборудования;
- возможность использования стандартных библиотечных модульных элементов без изменений на всех этапах ЖЦИ;
- автономность и гибкость совершенствования и оптимизации стандартных библиотечных модульных элементов всех уровней деления.

4. Использовать стандартные унифицированные соединения стандартных библиотечных модульных элементов всех уровней деления.

5. Обеспечить ведение параллельной работы всех участников сопровождения ЖЦ оборудо-

вания на этапах КПП, ТПП и, при необходимости, на других этапах ЖЦ на едином информационном поле.

6. Обеспечить возможность выстраивания различных производственных и кооперационных цепочек при подготовке производства и изготовлении паротурбинного оборудования.

7. При разработке модульных конструкций оборудования использовать принцип беспрепятственного малозатратного способа замены параметрических стандартных библиотечных элементов всех уровней деления.

8. Обеспечить нормализацию и стандартизацию ряда оборудования и модулей без ухудшения параметров и показателей качества, эксплуатационных показателей надежности с одновременной возможностью перекомпоновки стандартных библиотечных элементов.

9. Обеспечить научно обоснованный выбор параметров геометрического и функционального описания, оптимизацию стандартных библиотечных элементов.

10. Обеспечить выбор рабочих диапазонов параметров геометрического и функционального описания в соответствии с запросами к конструктивным, технологическим, функциональным и технико-экономическим требованиям проектов.

11. Использовать конструктивный синтез, включающий конструктивный, технологический и функциональный синтез – возможность присоединения к одной составной части других, неважно «новых» или «старых».

12. Использовать системный подход с комплексными обобщенными решениями конструкторских, технологических и других подразделений турбинного предприятия и всех участников этапов ЖЦ оборудования.

13. Конструкция стандартных библиотечных элементов должна обладать наибольшим числом геометрических и функциональных признаков без ущерба надежности, качества и себестоимости.

14. При реализации концепции в обязательном порядке использовать цифровые принципы, подходы, методики, средства и инструменты управления ЖЦ оборудования – от КТПП до сервиса.

15. Концепция модульного создания паротурбинного оборудования предполагает несколько уровней разделения конструкции оборудования и допускает различные технические методики по построению конструкций оборудования:

- комплектование из стандартных библиотечных элементов разного уровня деления;
- комбинирование стандартных библиотеч-

ных элементов со специальными составными частями;

- последовательное наращивание и перекомпоновка стандартных библиотечных элементов разного уровня деления для модифицирования оборудования.

16. Концепция модульного создания паротурбинного оборудования удовлетворяет всем российским отраслевым НТД.

17. В соответствии с концепцией модульного создания паротурбинного оборудования библиотека стандартных модульных элементов является обязательной для использования при разработке нового и глубокой модернизации существующего оборудования.

18. Компонировочная схема должна охватывать все стандартные библиотечные элементы разрабатываемого оборудования, а также предусматривать возможность их перекомпоновки в соответствии с требованиями технического задания проекта.

19. Компонировочная схема также должна предусматривать:

- возможность модернизации оборудования в соответствии с требованиями технического задания проекта;
- возможность проведения работ по оптимизации технико-экономических и эксплуатационных показателей;
- возможность проведения работ по рациональной унификации присоединительных размеров и главных параметров стандартных библиотечных элементов в соответствии с требованиями ТЗ проекта.

20. При разделении оборудования на разные уровни деления и разработке стандартных библиотечных элементов в первую очередь предлагается проверить ряд предпочтительных чисел по ГОСТ.

### Требования к модулю конструкции

Модуль должен обеспечивать:

- работу в максимальном диапазоне давлений и температур рабочего тела;
- максимальные функциональные возможности модулей и оборудования в целом;
- максимальное использование унифицированных длинноцикловых заготовок (поковки, отливки) и их простоту по массогабаритным характеристикам, материалам и техническим требованиям, условиям изготовления;
- максимальное использование однотипных библиотечных составных частей – блоков, элементов (чертежных и стандартных деталей, материалов);
- максимальную унификацию соединительных элементов (штатных деталей, универсальных приспособлений), что обеспечива-

ется закладыванием совместимости по габаритным, установочным и присоединительным размерам;

- максимальную взаимозаменяемость, технологичность модулей и сборки конструкции из них;
- сокращение сроков постановки и собственно производства, в том числе за счет увеличения доли унификации самого модуля и возможности собирать оборудование с максимальной долей вовлечения библиотечных модулей и блоков;
- максимальный альтернативный выбор станочного парка и технологических возможностей за счет подбора оптимальных массогабаритных параметров модуля;
- максимально самостоятельную разработку одним конструкторским подразделением, ведущим разработки по принадлежности к функциональности модуля;
- встраивание параметрических блоков, то есть параметризованных конструкций, которые должны отрабатываться на автоматизированных рабочих местах (АРМ), например, проточной части в модули корпусных конструкций;
- максимально возможное использование типовой оснастки, приспособлений, приборов, инструмента при изготовлении, монтаже, пусконаладке, ремонте и обслуживании, что достигается закладыванием преемственности конструктивных и технологических решений модулей.

### Заключение

Опыт проведения цифровой трансформации с постепенным переходом на модульную концепцию создания паровых и газовых турбин и турбоустановок обеспечивает предприятию следующие преимущества:

- сокращение трудоемкости и сроков разработки и производства нового изделия на 30 %;
- повышение качества конструкторской и технологической документации; качества продукции;
- сокращение количества изменений конструкторской документации, а также отклонений от нее в производстве по причине конструкторских и технологических ошибок в три раза;
- повышение качества планирования конструкторских и технологических работ;
- внедрение управления конфигурациями изделия;
- повышение качества эксплуатационной и сервисной документации;
- повышение вовлеченности, а также компетенций инженерного персонала. 

## Газопоршневая электростанция построена в г. Альметьевске.

Компания «Ролт Инжиниринг» совместно с ООО «Риконт» ввела в промышленную эксплуатацию мини-ТЭС для предприятия «Альметьевские тепловые сети» в Республике Татарстан.

В состав станции входят две газопоршневые установки TCG 2020 V20, изготовленные на базе двигателя производства MWM. Электрическая мощность каждой ГПУ составляет 2000 кВт. Энергоблоки оснащены системой утилизации тепла, что позволяет дополнительно обеспечить потребителей тепловой энергией – по 2000 кВт. Энергоблоки контейнерного исполнения размещаются на площадке муниципальной котельной. Агрегаты настроены для эксплуатации в двух режимах – параллельно с сетью и в островном режиме.



## Rolls-Royce объявила о завершении испытаний двигателей на 100%-м водороде.

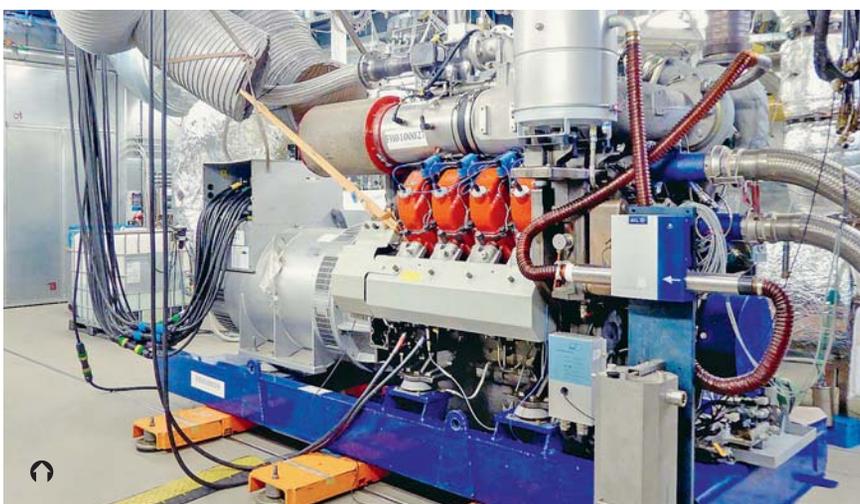
В результате испытаний 12-цилиндрового двигателя mtu Series 4000 L64, работающего на 100 %-м водородном топливе, были подтверждены все заявленные параметры по мощности, КПД, уровням выбросов и стабильности процессов горения. Испытания проводились на новом стенде, который был запущен в эксплуатацию в 2022 г. на предприятии компании Rolls-Royce в г. Аугсбург. Из-за различных характеристик горения водорода по сравнению с природным газом некоторые компоненты двигателя, система впрыска топлива, турбонагнетатель, поршневая система и система управления были модернизированы.

Пилотные энергоблоки для работы на 100 %-м водороде будут поставлены для электростанции enerPort II lighthouse, которая строится в речном порту г. Дуйсбург для нового контейнерного терминала. Ввод электростанции в коммерческую эксплуатацию запланирован на 2024 г.

В состав электростанции когенерационного цикла войдут два энергоблока Series 4000 L64 общей мощностью 2 МВт и три установки на базе топливных элементов mtu общей мощностью 1,5 МВт.

### Rolls-Royce reports successful engine tests on 100% hydrogen fuel.

Rolls-Royce announced that it has conducted successful tests of a 12-cylinder gas variant of its mtu Series 4000 L64 engine running on 100% hydrogen fuel. The tests, carried out by Rolls-Royce Power Systems, showed very good characteristics in terms of efficiency, performance, emissions and combustion. The first installation of mtu engines running on 100% hydrogen is already planned for the enerPort II lighthouse project in the German inland port of Duisburg.



## Поставлена вторая партия ДГУ для месторождения «Прогноз» (Якутия).

ООО «НГ-Энерго» отгрузило в адрес холдинга «Полиметалл» энергетическое оборудование общей мощностью 2 МВт. Оно предназначено для энергоснабжения серебряного месторождения «Прогноз».

В состав оборудования входят четыре энергоблока Энерго-Д500/0,4 КН31, операторная со складом ЗИП, ЗРУ 6,3 кВ, БПДТ, межмодульные связи. Также заказчику поставлены распределительная трансформаторная подстанция и пиковая котельная с тепловым пунктом.

В рамках договора компания «НГ-Энерго» выполнит шефмонтажные и пусконаладочные работы второй очереди ДЭС. Ввод оборудования запланирован на весну текущего года. Ввод первой очереди станции в эксплуатацию состоялся весной 2022 г.

Месторождение «Прогноз» содержит запасы 142 млн унций серебра с содержанием 560 г/т, годовая добыча оценивается в 7 млн унций серебра. Лицензионная площадь месторождения, равная 52 км<sup>2</sup>, расположена в Верхоянском муниципальном районе Якутии, в гористой местности.

### The second stage of diesel power station for the Prognoz deposit (Yakutia) has been delivered.

NG-Energo LLC has shipped power equipment with a total capacity of 2 MW to Polymetal Holding. It is intended for the power supply of Prognoz silver deposit. The equipment consists of four power units Energo-D500 / 0.4 KN 31, an operator room with a spare parts warehouse; 6.3 kV ZRU; intermodule communications. Also, a distribution transformer substation and a peak boiler house with a heating point were delivered to the customer. As part of the contract NG-Energo will perform installation and commissioning works of the second stage of the diesel power station.

# КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ ОТРАСЛИ:

в центре внимания, в центре Москвы

НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
НЕФТЕГАЗОВЫЙ  
ФОРУМ

[www.oilandgasforum.ru](http://www.oilandgasforum.ru)

22-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
**НЕФТЕГАЗ-2023**

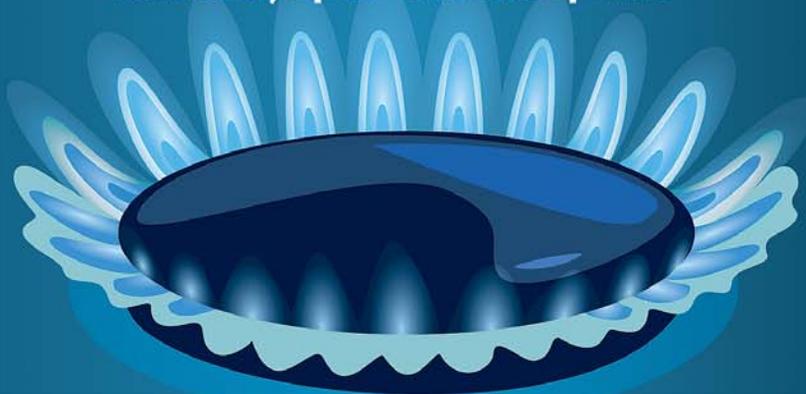


[www.neftegaz-expo.ru](http://www.neftegaz-expo.ru)

25–27 апреля 2023

24–27 апреля 2023

Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



12+

Реклама



МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ

РЭА  
МИНЭНЕРГО РОССИИ



ЭКСПОЦЕНТР

# Энергетическая судовая газотурбинная установка

А. Б. Агафонов, Б. Н. Агафонов (к.т.н.), А. А. Савицкий – ЗАО «Энерготех»  
В. Ю. Клинецвич, В. М. Михайлов – ООО «Энергодвижение»

В статье описаны основные узлы и элементы судовой энергетической установки мощностью 2 МВт. Особый акцент сделан на инновационных технических и технологических решениях, примененных в элементах конструкции установки.

## In brief

### Marine gas turbine power plant.

Currently, the creation of marine and industrial small-scale gas turbine plants that meet modern requirements for reliability, durability, operational readiness, life cycle cost as well as the level of harmful emissions into the atmosphere is an urgent need especially in connection with the sanctions restrictions imposed on Russia. As part of the import substitution program implemented in recent years by the Ministry of industry and trade gas turbine plant has been developed that meets the existing requirements for marine power equipment.

The development of the concept of the plant began in 1990 under the leadership of V.A. Plotnikov and continued until 1995.

**В** настоящее время создание судовых и промышленных газотурбинных агрегатов малой мощности, отвечающих современным требованиям по надежности, долговечности, эксплуатационной готовности, стоимости жизненного цикла, а также по уровню вредных выбросов в атмосферу, является насущной необходимостью. Особенно в связи с санкционными ограничениями, наложенными на Россию. В рамках программы импортозамещения, реализуемой в последние годы Минпромторгом, был разработан газотурбинный агрегат, соответствующий существующим требованиям к судовому энергетическому оборудованию.

## История создания газотурбинной установки

Разработка концепции агрегата началась в 1990 году под руководством В.А. Плотникова и продолжалась до 1995 года. Первоначально агрегат предназначался для замены поршневых двигателей самолетов и вертолетов легкомоторной авиации. Разработка была доведена до уровня производства деталей и узлов опытного двигателя, но из-за отсутствия интереса к двигателю со стороны потребителей была остановлена.

В 2018 году Минпромторг заказал разработку судового энергетического газотурбинного агрегата, технические требования к которому вполне укладывались в концепцию созданного ранее двигателя: авиационный принцип кон-

струирования агрегата (в части массогабаритных показателей) в составе центробежного компрессора, секционной камеры сгорания и центростремительной турбины.

Однако с момента остановки производства двигателя прошло значительное время – многое изменилось: появились новые методы пространственных расчетов проточных частей компрессора, турбины и камеры сгорания (КС), изменились технологии проектирования, производства деталей и элементов, узлов двигателя, созданы новые материалы. Поэтому заново была разработана конструкторская и технологическая документация на агрегат с учетом инновационных решений и новейших технологий.

Повторные расчеты компрессора, турбины и КС позволили скорректировать конструкцию отдельных элементов агрегата, в целом подтвердив правильность принятых ранее технических решений. Основные характеристики агрегата представлены в *табл. 1*.

## Конструкция агрегата

Газотурбинная установка является одновальным двигателем и может использоваться как в качестве механического привода, так и в составе энергоблока с быстроходным генератором (*фото 1*).

## Компрессор

Одноступенчатый центробежный компрессор имеет степень повышения давления 7,1 (*фото 2*). Односторонний вход воздуха на рабочее колесо выполнен по боковой схеме, позволившей разместить опорный подшипник ротора перед колесом компрессора.

Рабочие колеса (РК) изготавливаются осерадиальными (*фото 2, 3*). Лопаточная решетка РК компрессора выполнена двухъярусной, короткая лопатка смещена относительно ее среднего положения в сторону вращения, что улучшает обтекание длинной лопатки и повышает надежность работы РК с лопатками, загнутыми назад.

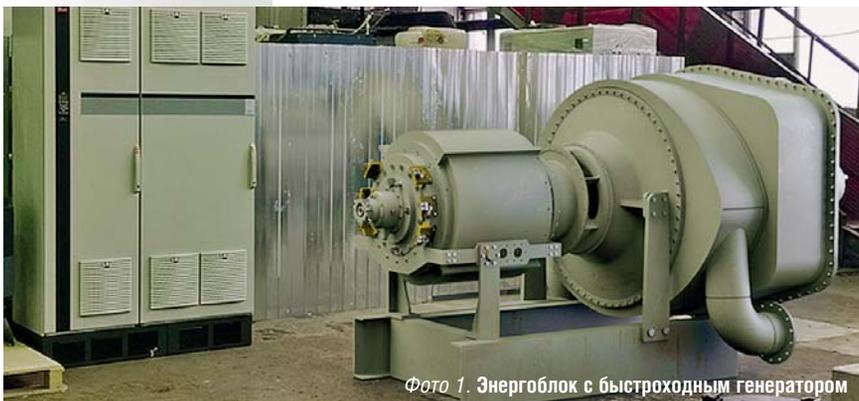


Фото 1. Энергоблок с быстроходным генератором

Неразъемность соединения РК с валом достигается за счет прессовой посадки.

Следует отметить, что компрессор очень чувствителен к изменению зазоров между концами рабочих лопаток и покрывным диском, а также между диском и диафрагмой. Постоянство этих зазоров обеспечивается осевым усилием, действующим на валопровод агрегата в сторону генератора. Кроме того, покрывной диск изготовлен из материала с низким коэффициентом теплового расширения.

Клиновидный диффузор располагается концентрично рабочему колесу и выполнен непосредственно в корпусе. Воздухосборник – кольцевой, с двумя выходами.

Для снижения расходов на техническое обслуживание и для продления срока службы элементов компрессора на соответствующие статорные части компрессора наносится антикоррозионное покрытие. Предусмотрено, что ремонт компонентов компрессора проводится по техническому состоянию.

#### Камера сгорания

КС – секционного типа, состоит из шести идентичных блоков жаровых труб, интегрированных с горелочными устройствами (рис. 1). Основное топливо – природный газ, в качестве резервного может использоваться дизельное топливо. В КС реализован принцип сжигания обедненной топливной смеси, что обеспечивает низкую эмиссию оксидов азота.

Блок жаровой трубы представляет собой законченное изделие, включающее горелочный модуль, собственно жаровую трубу, газосборник, системы зажигания и топливоподачи. Горелочный модуль – это комбинация «центрального» горелочного устройства (ГУ) и «периферийного» ГУ, смонтированных в крышке жаровой трубы. Охлаждение жаровой трубы – конвективное. Жаровая труба (рис. 1) включает наружный и внутренние корпуса. Основной поток воздуха поступает противотоком в ГУ по кольцевому каналу, образованному корпусами. Для интенсификации теплообмена наружная поверхность внутреннего корпуса снабжена ребрами – турбулизаторами, а внутренняя поверхность защищена керамическим покрытием. Внутренний и наружный корпуса жаровой трубы не связаны жестко друг с другом «по длине», что обеспечивает их свободное тепловое расширение.

Жаровая труба снабжена запальным устройством, имеет датчик контроля пламени, датчики давления и температуры. На стенде в НПО «ЦКТИ» им. И.И. Ползунова были проведены огневые испытания жаровой трубы (фото 4), в результате которых были подтверждены основ-

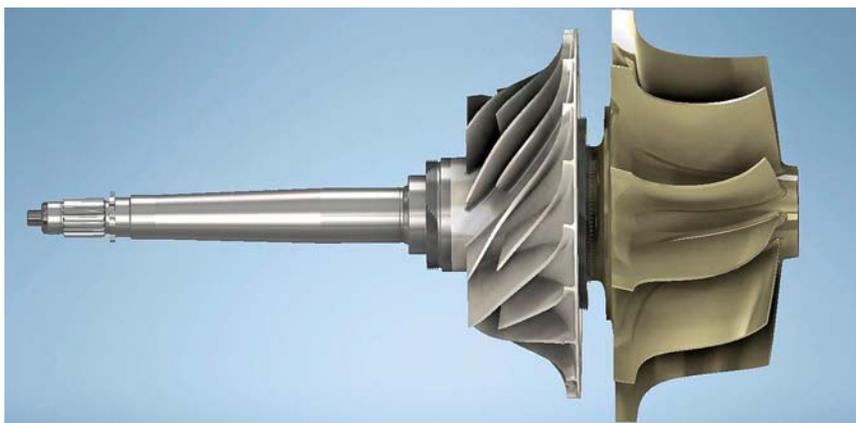


Фото 2.  
Ротор газотурбинного двигателя

ные характеристики трубы и определены уровни выбросов. В частности, концентрации  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  в выпускных газах заметно меньше, чем представлено в СТО Газпром 2-3.5-039-2005 (Каталог удельных выбросов вредных веществ газотурбинных газоперекачивающих агрегатов).

Газосборник имеет два корпуса – наружный и внутренний, охлаждение конвективно-диффузионное. Часть воздуха поступает внутрь, смешиваясь с продуктами сгорания. На внутреннюю поверхность газосборника нанесено термобарьерное керамическое покрытие. Внутренний и наружный корпуса не связаны между собой «по длине», что допускает их свободное взаимное тепловое перемещение.



Фото 3.  
Рабочее колесо компрессора

Параметр	Величина
Мощность на клеммах генератора, МВт	2,0
КПД, %	37,0
Степень повышения давления воздуха в компрессоре	7,1
Массовый расход выхлопных газов, кг/с	9,24
Температура газа на выходе из двигателя, °С	356,0
Требуемое давление топливного газа, МПа	1,2
Частота вращения ротора двигателя, об/мин	25 000

Табл. 1.  
Рабочие характеристики агрегата (топливо природный газ)

➤ Рис. 1.  
Камера сгорания  
(разрез по корпусу)



По выходному фланцу газосборник крепится к обойме сопловых лопаток турбины. Опора газосборника обеспечивает его фиксацию при монтаже/демонтаже, а также работоспособность узлов сопряжения жаровых труб и самого газосборника. Сопряжение жаровых труб с газосборником выполнено по типу «цанги», обеспечивая свободные тепловые перемещения. На сопрягаемые поверхности нанесено износостойкое покрытие.

При розжиге КС и наборе нагрузки до холостого хода агрегата топливо подается только в каналы диффузионного контура ГУ. Набор нагрузки до холостого хода осуществляется за счет увеличения расхода топлива в диффузионных контурах. При этом расход топлива в каналах гомогенного контура равен нулю. При наборе нагрузки до номинального значения происходит последовательное увеличение расходов топлива в диффузионных и гомогенных контурах ГУ в соответствии с заданным алгоритмом. А затем доля расхода топливного газа в диффузионных контурах снижается до минимального значения.

### Турбина

Одноступенчатая центростремительная турбина выполнена по консольной схеме (фото 2). Охлаждаемый сопловой аппарат имеет неподвижные лопатки. Рабочее колесо – неохлаждаемое, полузакрытого типа, с цельнофрезерованными лопатками – насажено на консоль вала по прессовой посадке. Лопатки турбины имеют защитное (антиоксидантное) покрытие.

Радиальное направление движения рабочего тела в турбине повышает степень ремонтпригодности агрегата, а также делает его конструкцию более доступной для применения рекуперативной схемы.

➤ Фото 4.  
Стендовые испытания  
камеры сгорания



### Подшипники

Консольное крепление рабочих колес компрессора и турбины позволяет разместить опоры ротора в холодной части агрегата, что значительно увеличивает срок эксплуатации подшипников и сводит расход масла на угар практически до нуля.

Ротор агрегата (турбина + генератор) трехопорный: две опоры – опорный и опорно-упорный (рис. 2) подшипники – у вала генератора и одна (опорный подшипник) у вала турбины. Вал газотурбинного двигателя соединяется с валом генератора посредством жесткой (шлицевой) муфты. В качестве опор агрегата выбраны сегментные гидродинамические подшипники скольжения (ГДПС) с направленной смазкой, колодки которых выполнены из углепластика полифениленсульфидного (УПФС).

В табл. 2 представлены исходные данные и сравнительные результаты расчета 5-колодочного радиального сегментного подшипника диаметром 60 мм.

Из таблицы следует, что замена материала поверхности трения колодки (с соответствующей корректировкой относительного зазора) привела к увеличению среднего подогрева масла в смазочном слое примерно на 60 % при сокращении расхода смазки на 30 %. При этом за счет изменения режимных параметров смазочный клин полностью перешел в область ламинарного течения, а максимальная температура смазки выросла всего на 12 °С. В результате все критерии работоспособности радиального подшипника с колодками из УПФС обеспечиваются.

В табл. 3 приведены исходные данные и сравнительные результаты расчета предельной несущей способности 9-колодочного осевого сегментного подшипника с наружным диаметром упорного диска 95 мм при локально направленной смазке (рис. 2).

Данные наглядно демонстрируют, что замена материала поверхности трения рабочей колодки в условиях локально направленной смазки привела к росту максимальной несущей способности вкладыша примерно в 1,5 раза за счет увеличения среднего подогрева в смазочном слое на 13 °С при уменьшении расхода смазки на 35...40 %. При этом максимальная температура масла в смазочном слое упорных колодок выросла всего на 20 °С.

Таким образом, применение новых оптимизированных подшипников не только повышает эффективность агрегата, сокращает расход смазочного масла, но и увеличивает ресурс рабочих колодок подшипников примерно в 1,5 раза.

Опорой и каркасом агрегата служит рама – стойки-опоры рамы позиционируют элементы

агрегата. Под генератором на раме размещен маслобак – общий для всего агрегата.

### Маслосистема

Маслосистема обеспечивает маслом все устройства, входящие в агрегат, и, в первую очередь – подшипники генератора и турбины. Она включает масляный бак, два основных насоса, фильтры, охладители, соединительные трубопроводы, арматуру, вспомогательное оборудование, КИП и А.

В процессе эксплуатации агрегата работает один основной масляный насос, который установлен на раме вблизи маслобака. Второй масляный насос является аварийным. В случае исчезновения питания собственных нужд основной насос переходит в аварийный режим и работает от аккумуляторной батареи.

В системе используется масло марки ISOVS32, которое соответствует маслу типа Т 22 ГОСТ 32-74, ТП – 2 ГОСТ 9972-74.

### Система управления агрегатом

В агрегате применена открытая цифровая многоканальная микропроцессорная система управления и защиты (фото 5). Она совмещает эффективность программного обеспечения (software) с надежной, проверенной временем системой технического обеспечения (hardware), которая вобрала в себя многолетний опыт безаварийной эксплуатации электронно-электрической системы регулирования для различных типов турбин. Данная система обеспечивает дистанционное управление агрегатом с АРМ оператора и выполняет автоматическое тестирование состояния узлов и механизмов агрегата перед запуском, запуск, набор нагрузки, поддержание заданных режимов работы, останов, аварийный останов.

В частности, система регулирования и защиты агрегата реализует следующие функции:

- регулирование турбиной;
- защиту турбины и генератора;
- вторичную аппаратную защиту агрегата от превышения частоты вращения ротора;
- управление вспомогательным оборудованием и осуществление локальных технологических операций на этом оборудовании;
- вибродиагностику состояния ротора агрегата.

Система регулирования имеет коммуникационный интерфейс для обмена с вышестоящей системой управления.

В случае необходимости система может быть дополнена другими программами и модулями программного обеспечения, а также техническими средствами, расширяющими существующую систему управления и защиты.



Рис. 2. Опорно-упорный подшипник скольжения

Наименование, размерность	Материал поверхности колодки	
	Баббит Б83	АТСУ УПФС
Окружная скорость, м/с	78,5	
Среднее удельное давление, кг/см <sup>2</sup>	6,3	
Угол охвата колодки, гр	60	
Относительный зазор, горячий	0,0026	0,0019
Средний подогрев в смазочном слое, °С	29	47
Минимальная толщина смазки, мкм	39,6	31
Максимальная температура масла в слое, °С	108	120
Расход масла через смазочный слой, л/мин	5,18	3,94
Мощность трения во вкладыше, кВт	4,43	4,46
Отношение критериев течения смазки, Re/Te	1,05	0,77

Табл. 2. Сравнение расчетных параметров по вариантам радиального сегментного ГДПС Ø 60 мм на частоте вращения 25 000 об/мин с баббитом и АТСУ (антифрикционный термостойкий углепластик)

Наименование, размерность	Материал поверхности колодки	
	Баббит Б83	АТСУ УПФС
Осевая сила расчетная, кг	650	1000
Окружная скорость на периферии колодок, м/с	124	
Удельная нагрузка, кг/см <sup>2</sup>	20,9	32,2
Средний подогрев в смазочном слое колодок, °С	23	36
Минимальная толщина масляной пленки, мкм	24	16
Запас по толщине смазочного слоя мкм	2,2	1,5
Максимальный подогрев масла в смазочном слое (оценка), °С	96	116
Мощность трения в рабочих колодках, кВт	10,6	11,4
Мощность трения в подшипнике, кВт	11,8	12,2
Расход в смазочный слой, л/мин	15,67	10,7
Расход смазки, потребный по теплосъему для среднего расчетного подогрева, л/мин	12,9	9,4

Табл. 3. Сравнение расчетных параметров осевого сегментного ГДПС с наружным диаметром упорного диска 95 мм на частоте вращения 25 000 об/мин с баббитом и АТСУ

➤ Фото 5.

Шкаф программно-технического  
комплекса ГТУ



### Генератор

В энергоблоке применен генератор ТГС-2.0-25000. Он включает синхронную электрическую машину с постоянными магнитами в роторе, выпрямитель-преобразователь. Конструктивное исполнение – горизонтальное, с двумя подшипниками скольжения. Генератор изготавливается в соответствии с процедурами обеспечения качества, предусмотренного стандартом ISO 9001.

### Рекуператор (воздухонагреватель)

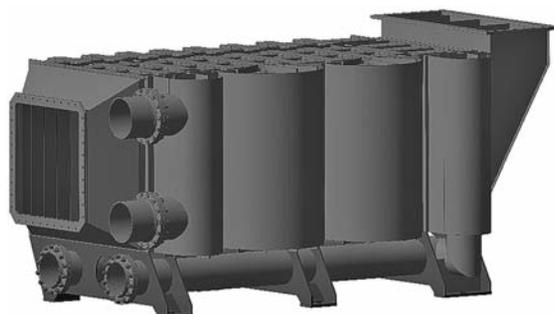
Воздухонагреватель ВПТ-3000-ОМ4 – трубчатый (диаметр трубок 16 мм), имеет три секции по ходу воздуха и по два хода в каждой секции. Степень регенерации – 0,76, масса 7500 кг, габариты 2066 x 4550 x 2007 мм.

Трубы в пучках расположены в шахматном порядке и закреплены в трубных досках сваркой, с предварительной развальцовкой (рис. 3). Каждая секция является двухходовой по движению воздуха с общим направлением противотока и с однопоточным поперечно-продольным обтеканием труб греющим газом.

Воздухонагреватель размещен на трех сварных опорах, позволяющих равномерно распределить его массу и закрепить в контейнере.

### Программа технического обслуживания

Особое внимание в процессе проектирования агрегата уделялось вопросам техническо-



➤ Рис. 3. Рекуператор

го обслуживания (ТО), сокращению времени простоя оборудования и продлению его ресурса.

Установление ресурса агрегата было обусловлено тем фактом, что эксплуатационная наработка значительной части парка аналогичных по мощности ГТУ приближается к 120 000 экв. часам – ресурсу, на который в настоящее время рассчитан стандартный план технического обслуживания ГТУ. При этом интервал между циклами ТО установлен 30 000 экв. часов.

### Заключение

В процессе работы над конструкцией ГТУ нашли применение следующие инновационные решения и технологии:

- применено современное программное обеспечение аэродинамических и прочностных расчетов РК турбины, что позволило отказаться от составного РК и разработать высокоэкономичное моноколесо;
- РК компрессора и турбины – цельнофрезерованные, выполнены из поковок на 5-координатном станке. Поверхности каналов на дисках РК имеют волнистый профиль;
- используемые материалы для РК – титановый сплав (компрессор) и сплав на основе никеля (турбина);
- сопловые лопатки турбины и завихритель ГУ КС выполнены по аддитивной технологии;
- в КС реализована низкоэмиссионная технология сжигания топлива, в которой особое внимание уделено системе контроля розжига;
- включение в состав ГТУ высокооборотного генератора позволило отказаться от редуктора и, таким образом, заметно уменьшить массогабаритные показатели ГТУ (без воздухонагревателя) примерно на 40 %;
- наличие в составе быстроходного генератора выпрямителя-преобразователя исключило опасность аварии ГТУ от короткого замыкания в сети;
- замена баббита колодок подшипников ГТУ на полифениленсульфидный углепластик позволило увеличить надежность и долговечность подшипников, а следовательно, и ГТУ примерно в 1,5 раза;
- использование в составе ГТУ трубчатого воздухонагревателя современной конструкции позволило, с одной стороны, значительно повысить надежность и долговечность его работы, а с другой – незначительно увеличить его массу и габариты по сравнению с серийным пластинчатым воздухонагревателем равной мощности.

В настоящее время идет технологическая подготовка к серийному производству энергетических судовых установок. **Д**



### Компания «ИНГК» выполнила шефмонтаж ПКУ на нефтедобывающей платформе в Камеруне.

В начале 2022 года предприятие поставило две полнокомплектные поршневые компрессорные установки ПКУ-020 мощностью 1,4 МВт для компании PerencoRep S.A.R.L. (Франция) в Республику Камерун. Оборудование будет работать на морской нефтедобывающей платформе.

Установки ПКУ-020 изготовлены на заводе компании в г. Перми, оснащены поршневым компрессором COOPER CFH64 и электродвигателем Nidec CT 500 Y6. Под контролем специалистов ООО «ИНГК» выполнены работы по сборке рамы на морской платформе, установке компрессора, цилиндров и двигателя; собрана масляная магистраль. В ближайшее время на объекте начнутся пусконаладочные работы.

*Это первая для компании «ИНГК» компрессорная установка, изготовленная с учетом всех требований Морского регистра, для эксплуатации оборудования на морском шельфе.*

#### **INGC Company performed installation works on oil production platform in Cameroon.**

*At the beginning of 2022 the company supplied two complete PKU-020 reciprocating compressor units with a capacity of 1.4 MW for PerencoRep S.A.R.L. (France) to the Republic of Cameroon. The equipment will work on an off-shore oil-producing platform. The PKU-020 units are manufactured at the company's plant in Perm, equipped with a COOPER CFH64 reciprocating compressor and a Nidec CT 500 Y6 electric motor. Commissioning works will be started in the nearest future.*

### Siemens Energy планирует полностью выкупить Siemens Gamesa за 4 млрд евро.

Производитель энергетического оборудования Siemens Energy AG выдвинул предложение о выкупе всех акций дочерней компании Siemens Gamesa Renewable Energy SA, выпускающей ветрогенераторы. Сейчас головной компании принадлежит 67% акций Siemens Gamesa.

Siemens Energy предлагает 18,05 евро за акцию Siemens Gamesa. Совокупная сумма выкупа может составить 4,06 млрд евро.

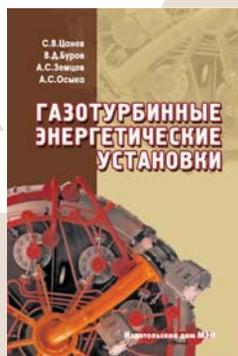
Планируется часть сделки на сумму 2,5 млрд евро профинансировать за счет обмена акций, остальную часть – путем выпуска долговых обязательств и за счет имеющихся у компании денежных средств. Ожидается, что сделка может быть закрыта в первой половине текущего года. После ее закрытия компания планирует провести делистинг акций Siemens Gamesa с биржи в Испании.

Компания намерена полностью интегрировать Siemens Gamesa в свою структуру в течение трех лет. Стоимость интеграции, как ожидается, составит 300 млн евро в год.



Издательский дом МЭИ

idmei.ru



Выпущено новое издание книги

**Газотурбинные энергетические установки**

учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С. Осыка; под ред. проф. В.Д. Бурова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2022. – 428 с.: ил.

Изложены основы теории энергетических газотурбинных установок электростанций. Значительное внимание уделено особенностям их конструкций и составу тепловых схем, методам повышения КПД производства электроэнергии и экономии топлива. Приведены методики расчета показателей их экономичности. Особое внимание уделено факторам, влияющим на режимы и характеристики ГТУ, способам регулирования отпуска электроэнергии. Рассмотрены вопросы улучшения экологических показателей установок.

Предназначено для студентов энергетических вузов, может быть полезно научным сотрудникам, инженерам, персоналу электростанций.

Приобрести указанную книгу можно через сайт <https://www.idmei.ru>

Контактная информация: АО «Издательский дом МЭИ», 111024, Москва, ул. 2-я Кабельная, д. 2, тел: (495) 280-12-46, электронная почта: [info@idmei.ru](mailto:info@idmei.ru)

РЕКЛАМА



### Газотурбинную установку ввели на Актюбинской ТЭЦ в Казахстане.

В промышленную эксплуатацию введена газотурбинная установка мощностью 57 МВт – в результате установленная мощность станции увеличена со 118 до 175 МВт. Это обеспечит дополнительное производство электроэнергии в объеме 423 млн кВт·ч в год.

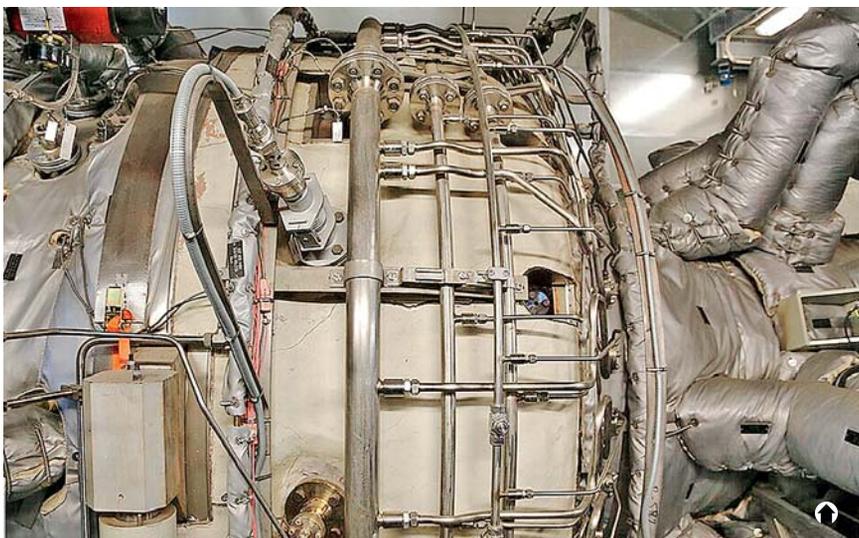
Новая ГТУ интегрирована в технологическую схему ТЭЦ для работы в парогазовом цикле. Основную генерацию обеспечит энергоблок SGT-800 производства Siemens Energy.

Отработавшие горячие газы поступают из турбины в котел-утилизатор производства АО «Подольский машиностроительный завод» для получения пара с давлением 3,0 МПа и температурой 420 °С в объеме 70 т/ч. Перегретый пар служит для генерации электроэнергии существующими паровыми турбинами ТЭЦ.

Актюбинская ТЭЦ является единственным источником централизованного теплоснабжения города Актюбе – крупнейшего в Западном Казахстане.

#### **Gas turbine power plant was commissioned in Aktobe, Kazakhstan.**

57 MW gas turbine power plant has been put into commercial operation. As a result the installed capacity of the station has been increased from 118 to 175 MW. This will provide additional electricity production in the amount of 423 million kWh per year.



### Тригенерационную электростанцию построят в Краснодарском крае.

Компании «Закон сохранения энергии» и «ТехноЭнергоКомплекс» завершили предпроектные работы по созданию газопоршневой электростанции тригенерационного цикла для нового гостиничного комплекса в поселке Витязево (МО «Анапа»). Электрическая мощность станции составит 22 МВт, тепловая – 46 МВт, холодильная – 28 МВт.

Особенностью проекта является многоэтапное строительство и постепенный ввод систем генерации в работу, а также применение специальных систем, исключая дымоходы как для когенерационных установок, так и для котлов.

В составе электростанции планируется использовать 10 когенерационных установок avus 2000e (2G Energy AG) мощностью по 2,5 МВт модульного исполнения. Девять энергоблоков будут работать в базовом режиме, один – резервный. Для получения тепловой энергии установят два газовых котла мощностью по 23 МВт. Абсорбционные чиллеры мощностью по 12 МВт будут использовать тепловую энергию ГПУ и котлов.

Начало строительства тригенерационной электростанции запланировано на текущий год.

#### **Trigeneration power plant will be built in the Krasnodar Area.**

The companies Law of Conservation of Energy and TechnoEnergoComplex have completed pre-project work on the creation of gas engine power plant of the trigeneration cycle for a new hotel complex in the village of Vityazevo (Anapa MO). The electric capacity of the station will be 22 MW, thermal – 46 MW, refrigeration – 28 MW.

### ООО «ДВС Ресурс» поставило ГПУ для завода «Мир пленки».

Энергетический модуль мощностью 250 кВт обеспечит электрической и тепловой энергией предприятие по производству пищевой пленки в Великом Новгороде.

Основой энергоблока является газопоршневая установка на базе двигателя E3262 E 302 производства MAN. Станция имеет модульное исполнение и оснащена системой утилизации тепла. Режим работы – параллельно с сетью.

Предприятие «Мир пленки» выпускает полиэтиленовую и стрейч пленку различного назначения, пакеты, перчатки, воздушно-пузырьковую пленку и другие товары.

# HEAT & ELECTRO MACHINERY

Международная выставка  
оборудования для промышленности  
и теплоэнергоснабжения  
гражданских объектов и  
предприятий различных отраслей



**24–26.10.2023**

ЦВК «Экспоцентр», Москва



[machinery-fair.ru](http://machinery-fair.ru)

 GEFERA MEDIA

# Особенности транспортировки водородосодержащих природных газов по действующим газопроводам

Д. М. Ляпичев, Д. Е. Матюха, С. Ю. Сальников, В. А. Щуровский (к.т.н.), Е. А. Черникова – ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

В статье рассмотрена возможность транспортировки водородосодержащих газов (ВСГ) с разным содержанием водорода (0...100 %) по существующим газотранспортным системам при действующих нормативных и параметрических ограничениях газокомпрессорного оборудования с газотурбинным приводом. Исходя из суммы влияющих факторов возможность транспортировки ВСГ по действующим газопроводам без проведения существенных мероприятий оценивается в пределах до 10...20 % содержания  $H_2$  в составе смеси.

## In brief

### Features of hydrogen-containing natural gases transportation through existing gas pipelines.

The article considers the possibility of transporting hydrogen-containing gases with different hydrogen content (0...100 %) through existing gas transmission systems under the current regulatory and parametric restrictions of gas compressor equipment with a gas turbine drive. Based on the sum of the influencing factors, the possibility of transporting hydrogen-containing gases through existing gas pipelines without carrying out significant measures is estimated at up to 10%–20% of the  $H_2$  content in the mixture.

A reference section of a modern gas pipeline with a diameter of 1420 mm with a working pressure of 9.91 MPa and a distance between the compressor stations of 120 km was chosen as the object of research.

Табл. 1. Свойства водорода и метана при стандартных условиях

Одной из задач Концепции развития водородной энергетики Российской Федерации является использование существующей инфраструктуры транспортировки, хранения и распределения природного газа.

Эти проблемы изучаются специалистами разного профиля, начиная от разработчиков национальных программ трансформации газотранспортных систем (ГТС) до создателей конкретного газотурбинного и компрессорного оборудования [1–3]. При этом наблюдается определенная противоречивость в количественных результатах оценок, связанная как с различием методических подходов, так и с характеристиками разных типов оборудования.

В статье рассматривается возможность транспортировки водородосодержащих газов с разным содержанием водорода (от 0 до 100 %) по существующим ГТС при действующих нормативных технологических ограничениях параметров магистральных газопроводов (МГ), также анализируются области допустимых режимов газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом.

Свойства	$CH_4$	$H_2$
Молярная масса, кг/моль	$16,043 \cdot 10^{-3}$	$2,016 \cdot 10^{-3}$
Газовая постоянная, кДж/(кг·К)	0,518	4,124
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	0,668	0,084
Относительная плотность (по воздуху), безразм.	0,5558	0,0695
Массовая низшая теплота сгорания, кДж/кг	50031	119992
Объемная низшая теплота сгорания, кДж/м <sup>3</sup>	33431	10044
Критическая температура, К	190,6	33,2
Критическое давление, МПа	4,6	1,3
Теплоемкость изобарная, кДж/(кг·К)	2,221	14,288
Коэффициент изэнтропии, безразм.	1,31	1,41
Скорость звука, м/с	445,0	1304,7
Вязкость динамическая, Па·с	$10,9 \cdot 10^{-6}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$

Актуальная нормативно-техническая база для технологического проектирования МГ не предусматривает наличия водорода в составе природного газа. Для оценки возможности транспортировки ВСГ и  $H_2$  по действующим газопроводам применяются следующие методические подходы:

- адаптация отечественных и зарубежных нормативно-справочных данных по теплофизическим и калорическим свойствам  $H_2$  и ВСГ к действующим научно-техническим документам для расчета параметров гидравлики, компримирования и других процессов МГ;
- термодинамическая оценка диапазонов и границ параметров и показателей транспорта водородосодержащих газов и водорода без ограничений по характеристикам конкретного технологического оборудования;
- формирование газодинамических характеристик конкретных типов центробежных компрессоров (ЦБК) для разных составов ВСГ при ограничениях по мощности привода газотурбинной установки и частоте вращения ЦБК;
- оценка влияния исходного компонентного состава природного газа;
- оценка работоспособности ГТУ на базе нормативных данных по ограничениям величин теплоты сгорания и числа Воббе топливного газа. Водородосодержащие природные газы (смесь углеводородов и водорода) имеют физические свойства в диапазоне значений табл. 1, и их изменение оказывает следующее влияние на технологические параметры и показатели МГ:
- уменьшение плотности газа влияет на пропускную способность (производительность) МГ и параметры компримирования газа;
- при квадратичном режиме движения газа в трубах коэффициенты гидравлического сопротивления линейной части и местных сопротивлений изменяются незначительно;

- уменьшение плотности газа увеличивает объемный расход и сдвигает рабочие режимы за пределы зоны допустимых режимов газодинамических характеристик ЦБК;
- теплоемкость и коэффициент Джоуля – Томсона изменяют температурный режим МГ, приближая его к изотермическому;
- теплота сгорания изменяет мощность потока энергии, транспортируемой по МГ.

В табл. 1 приведено сравнение свойств метана и водорода при стандартных условиях (0,101325 МПа и 293,15 К).

Известный в технической термодинамике алгоритм смешения газов при постоянном объеме ( $V = \text{const}$ ) был использован для расчета состава и свойств смеси водородосодержащих газов и формирования задаваемого ряда ВСГ с разным содержанием  $H_2$  (выбрана дискретность ряда через 10 %  $H_2$ ).

В качестве объекта исследования выбран эталонный участок современного газопровода диаметром 1420 мм, рабочим давлением 9,91 МПа и расстоянием между КС 120 км. Параметрический анализ включал расчет следующих параметров и характеристик: пропускная способность МГ, потребляемая мощность и степень повышения давления, теплота сгорания топливного газа, поток энергии (произведение расхода на теплоту сгорания), скорость газа в трубе и др.

Расчетный анализ выполнен в двух вариантах: 1) без учета ограничений, накладываемых существующим оборудованием; 2) с учетом характеристик конкретных ГПА. Расчетная матрица включала в себя расчетные алгоритмы при фиксации следующих параметров: пропускная способность, давление на входе и выходе участка МГ (степень сжатия – расширения), мощность компрессорного цеха (КЦ), частота вращения ротора ЦБК (для варианта 2).

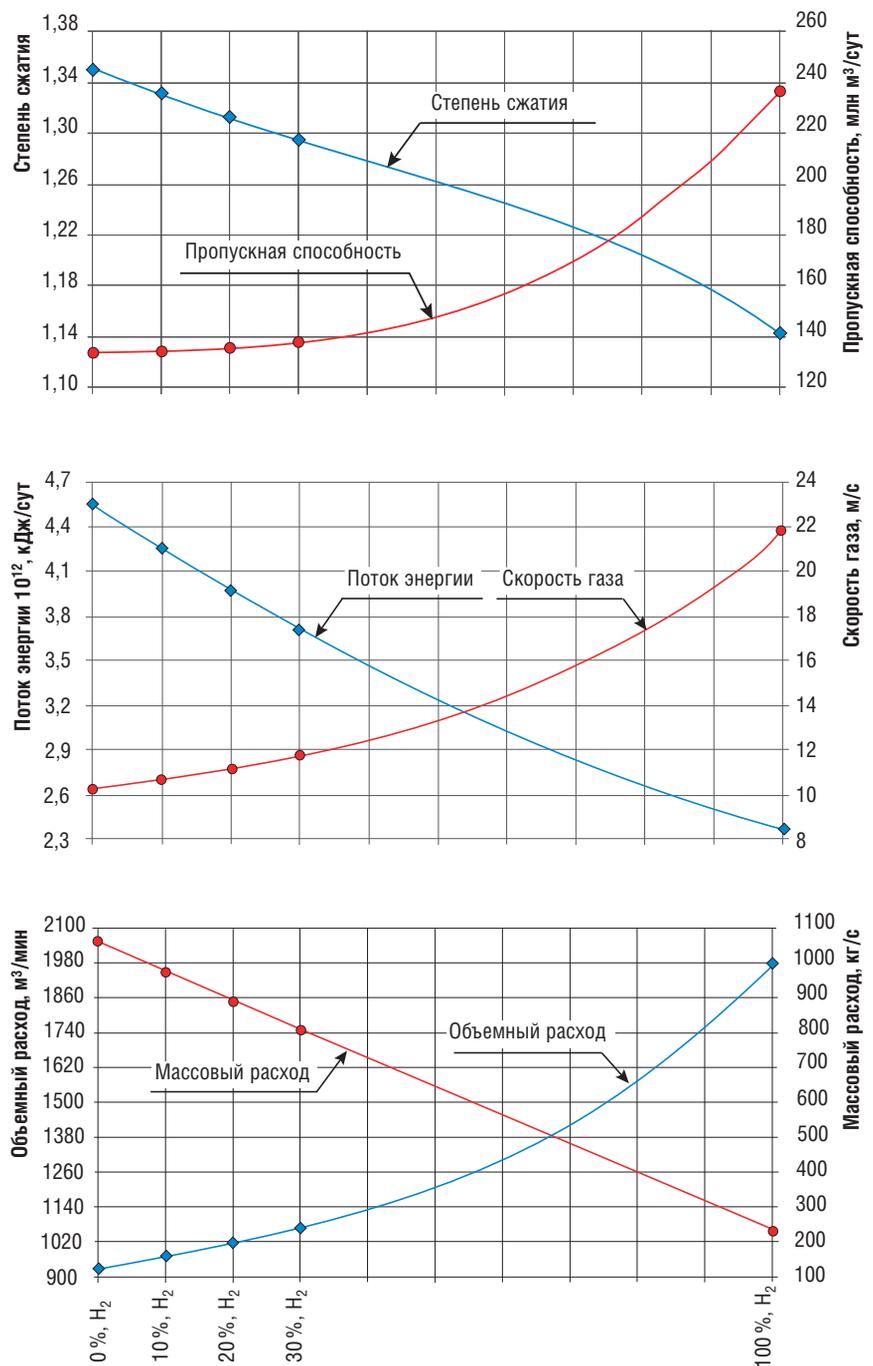
На рис. 1 показаны результаты гидравлического и теплового расчета выбранного выше участка газопровода для различных вариантов содержания  $H_2$  в смеси исходного природного газа (96,7 %  $CH_4$ ) при постоянной мощности, потребляемой КЦ ( $N$ ). Такие же зависимости получены при других фиксируемых параметрах.

Сравнивая показатели транспортировки природного газа с чистым водородом (по всем алгоритмам варианта 1 без параметрических ограничений), получим следующее:

- При постоянной степени сжатия
  - пропускная способность увеличивается в 2,5 раза;
  - мощность, потребляемая КЦ, увеличивается в 3,2 раза;
  - поток энергии уменьшается в 1,36 раза.

- При постоянной пропускной способности
  - мощность, потребляемая КЦ, уменьшается в 6 раз;
  - степень сжатия уменьшается до  $\epsilon = 1,042$ ;
  - поток энергии (производительность умножить на теплоту сгорания) уменьшается в 3,4 раза.
- При постоянной мощности, потребляемой КЦ
  - пропускная способность увеличивается в 1,8 раза;
  - степень сжатия уменьшается до  $\epsilon = 1,14$ ;
  - объемный расход на входе КЦ увеличивается в 2,1 раза;
  - поток энергии уменьшается в 1,9 раза.

Рис. 1. Зависимость пропускной способности ( $q$ ), степени сжатия ( $\epsilon$ ), потока энергии ( $E$ ), скорости газа ( $V$ ), объемного ( $Q$ ) и массового ( $G$ ) расхода компрессорного цеха при постоянной мощности ( $N$ ), потребляемой КЦ, от процентного содержания водорода  $H_2$  в ВСГ



В любом из этих случаев использовать действующий МГ применительно к транспорту чистого водорода невозможно либо из-за перегрузки или, наоборот, недопустимой разгрузки привода, либо по ограничению объемного расхода через ЦБК, как будет показано далее.

Как видно из рис. 1, в пределах до 30 % содержания  $H_2$  при постоянной мощности сжатия пропускная способность практически не изменяется, поток энергии падает до 78 %, объемный расход существенно возрастает.

Компонентный состав исходного природного газа (от 100 до 86 %  $CH_4$ ) не оказывает влияния на указанный характер относительных трендов, а отклонения абсолютных величин параметров МГ в этом диапазоне не превышают 5 %.

Газодинамические характеристики компрессоров графически отображают зависимость основных энергетических (напор, КПД, мощность) или эксплуатационных (степень сжатия, давление) показателей компрессора от его производительности (объемного или массового расхода) и частоты вращения ротора. Для компрессоров с нерегулируемым электроприводом, оснащаемых поворотным направляющим аппаратом, в качестве режимного показателя используется также степень открытия поворотного направляющего аппарата.

К основным формам представления газодинамических характеристик (ГДХ) относятся безразмерные, размерные и приведенные характеристики [4].

Для графического отображения режимов на ГДХ возможны два подхода:

- нанесение рабочих точек на номинальную газодинамическую характеристику путем приведения параметров режимов работы при разном содержании  $H_2$  к номинальным

значениям параметров на входе, заданным в технических условиях;

- отображение каждой рабочей точки на индивидуальной характеристике, приведенной к параметрам водородсодержащего газа с данным содержанием  $H_2$ .

Для расчета и контроля режимов процесса компримирования ВСГ рекомендуется второй метод, дающий представление о действительных текущих ГДХ. Для практической реализации метода имеется методика «эталонных характеристик» ЦБК и численные значения коэффициентов их аналитического представления для большинства типов ЦБК [5].

Диаграммой режимов ГДХ нормами предусматриваются следующие частоты вращения ротора ЦБК: номинальная ( $n_0 = 100\%$ ), нормальная рабочая ( $0,95...0,98 n_0$ ), максимальная рабочая ( $1,05 n_0$ ), минимальная рабочая ( $0,5...0,7 n_0$ ).

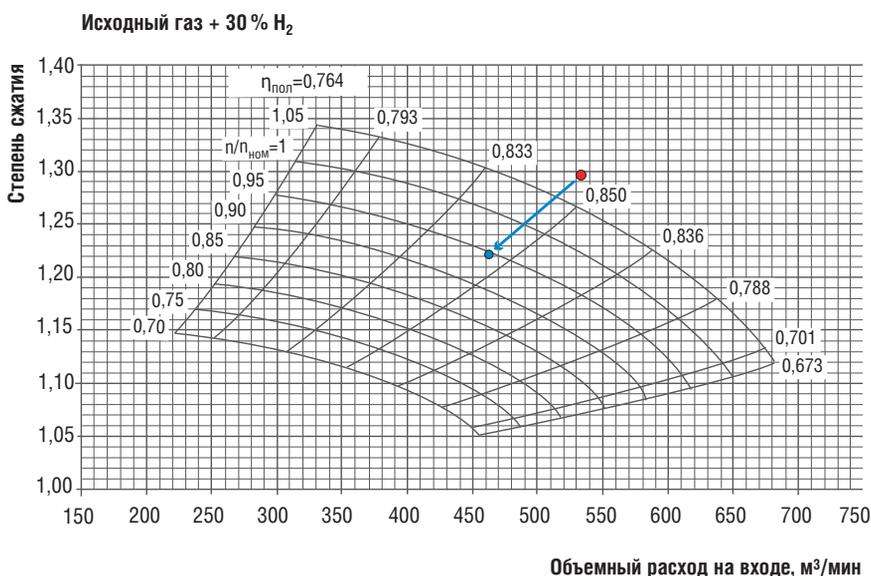
Для рассматриваемого эталонного участка МГ и его КС были применены ГПА номинальной мощностью 25 МВт и соответствующие ЦБК – на рис. 2 показаны их размерные характеристики для смеси исходного состава газа и 30 %  $H_2$ , а также положения расчетных точек режимов при фиксируемой потребляемой мощности и фиксируемой нормальной рабочей частоте вращения. На рис. 3 показано изменение плотности и, соответственно, частоты вращения при увеличении доли  $H_2$  в составе ВСГ. Из данных, приведенных на рис. 2, 3, следует, что параметры ЦБК выходят за пределы области допустимых режимов (ОДР).

В пределах до 30 % содержания  $H_2$  при ограничении на уровне нормальной рабочей частоты вращения пропускная способность МГ практически не изменяется, поток энергии падает до 78 % и газотурбинный привод разгружается до 73 % с известной потерей его экономичности.

ВСГ рассматриваются как промежуточный тип топлива при постепенном переходе от природного газа к водороду [6]. В настоящее время в мире в качестве низкоуглеродного топлива начинают применять смеси с содержанием водорода от 5 до 20 %. В зарубежной практике заявлены многочисленные проекты по созданию газотурбинных и поршневых агрегатов, приспособленных для использования в качестве топлива ВСГ и водорода, но они не относятся к вопросу использования действующего оборудования.

В качестве требований для действующего оборудования можно принять допускаемый нормативный диапазон изменения объемной теплоты сгорания и числа Воббе  $+/-5\%$

Рис. 2.  
Газодинамические характеристики компрессора ЦБК с режимными точками для ВСГ: исходный газ+ $H_2$  ( $T_H = 288,15\text{ К}$ ,  $n_0 = 5000\text{ об/мин}$ ,  $P_k = 9,91\text{ МПа}$ )  
● - режим работы ЦБК при  $N_{кц} = \text{const}$ ;  
● - режим работы при фиксированной исходной частоте вращения



от номинального значения (ГОСТ 5542-2014, ГОСТ Р 54404-2011).

Для оценки допустимого значения объемного содержания  $H_2$  % в ВСГ получены следующие линеаризованные зависимости, справедливые в диапазоне содержания до 30 %  $H_2$ :

■ относительная объемная теплота сгорания  $Q_{H_2} = 1 - 0,07 \cdot H_2$ ;

■ относительное число Воббе  $W_{H_2} = 1 - 0,025 \cdot H_2$ .

При допуске 5 % предельное значение водорода по теплоте сгорания составит около 7 %, а по числу Воббе 20 %.

С процессом сгорания ВСГ в качестве топливного газа связан определенный положительный экологический эффект. Для его укрупненной оценки рассмотрим формулу полного сгорания (без недожога) метана: при сгорании  $1 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$  образуется  $1 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ , т.е.  $1,83 \text{ кг/м}^3$  при стандартных условиях (для природных газов разного состава эта величина может быть до  $2 \text{ кг/м}^3$ ). Используя эту величину в известной формуле КПД ГТУ ( $\eta_{ГТУ}$ ), получим зависимость удельной эмиссии  $\text{CO}_2$  с продуктами сгорания ВСГ на единицу работы ( $\text{т/МВт} \cdot \text{ч}$ ):

$$m_{\text{CO}_2} = 0,197 \cdot \eta_{ГТУ}^{-1} \cdot (1 - H_2/100).$$

Так, годовой выброс  $\text{CO}_2$  компрессорного цеха мощностью 50 МВт и КПД ГТУ равным 0,33 при сжигании метана составит 128,7 тыс. т/год, а для ВСГ с объемным содержанием водорода 10, 20, 30 % соответствующие выбросы сокращаются: 115,9 – 103,0 – 90,1 тыс. т/год.

Характер влияния КПД ГТУ на уровень эмиссии  $\text{CO}_2$  приводит к выводу о том, что более значимые объемы сокращения выбросов могут быть получены на «старом» парке ГПА, имеющем КПД ГТУ 0,25...0,27. Однако данный вывод не может быть однозначным в связи со стоимостью производства водорода и ограниченностью его ресурса.

Все подобные оценки, включая изменение компонентного состава продуктов сгорания ГТУ, поддаются расчетному анализу. Парциальное давление  $H_2$  (как фактор возможного влияния на свойства труб и арматуры) прямо пропорционально объемной концентрации  $H_2$  в смеси, т.е. при 10 %  $H_2$  составляет также 10 % от рабочего давления. Парциальное давление  $H_2$  может быть предметом регулирования (ограничения) с соответствующим алгоритмическим обеспечением.

Таким образом, по сумме факторов влияния можно оценить возможность транспортировки ВСГ по действующим МГ без существенных мероприятий в пределах 10...20 % содержания  $H_2$  в составе смеси. При этом показатели МГ изменяются (по сравнению с природным газом)

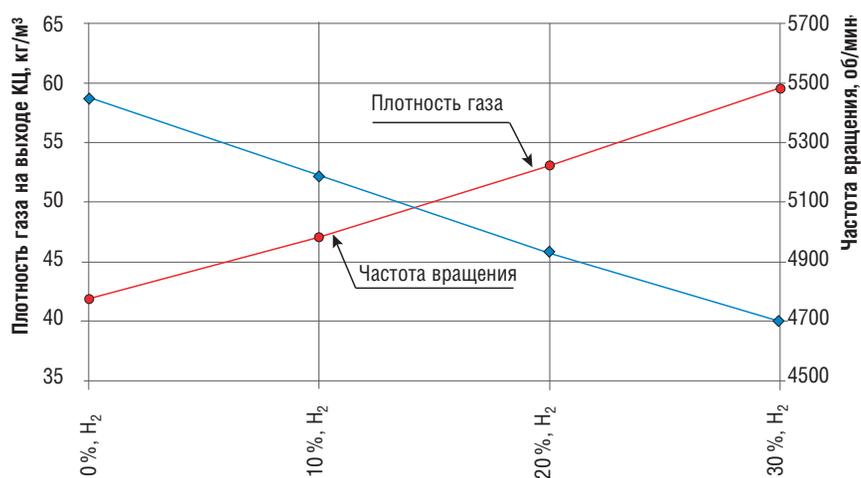


Рис. 3. Изменение частоты вращения ЦБК при  $N=\text{const}$  и изменении плотности для различных вариантов состава ВСГ

на приемлемом уровне: для варианта 10 %  $H_2$  пропускная способность практически не изменяется, привод разгружается до 91 % (сохраняется условие нормативного уровня частоты вращения), поток транспортируемой энергии уменьшается до 93 %.

#### Использованные источники

1. Э. Зиндель. Использование водорода в качестве топлива для газовых турбин/ Турбины и Дизели. 2021, №4. С.4-11.

2. Соколинский Ю.А., Сосна М.Х., Галикеева Л.Р. Технологические аспекты транспортировки метановодородной смеси по трубопроводу «Северный поток – 2» / НефтеГазоХимия. 2021, № 1-2. С. 12-16.

3. Голунов Н. Н., Лурье М. В., Мусаилов И. Т. Транспортировка водорода по газопроводам в виде метановодородной смеси / Территория Нефтегаз. 2021, № 1–2. С. 74–82.

4 И. В. Барцев, С. Ю. Сальников, Н. С. Синицын. Методы представления газодинамических характеристик центробежных компрессоров природного газа. Сборник научных трудов «Проблемы развития, реконструкции и эксплуатации газотранспортных систем»/ ООО «ВНИИГАЗ», 2003 г. С. 314–322.

5. А. В. Сёмушкин, А. О. Подлозный, Е. А. Черникова, В. А. Щуровский. Методические принципы параметрической диагностики технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов / Вести газовой науки: Повышение надежности и безопасности объектов газовой промышленности. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2017. С. 21–27.

6 В. Д. Буров, Б. А. Рыбаков, М. А. Савитенко. Сжигание водородосодержащих газов в газотурбинных установках/ Турбины и Дизели. 2021, №2. С. 18–24.

## Энергоблок на базе ГПУ JMC 612 установлен на предприятии «РосТурПласт» в Московской области.

ООО «Макс Моторс» поставило газопоршневую установку JMC 612 (INNIO Jenbacher) электрической мощностью 2000 кВт и тепловой – 950 кВт, напряжением 10,5 кВ для энергоснабжения завода «РосТурПласт» в Егорьевском районе. Промышленное предприятие специализируется на производстве полимерных труб и фитингов для систем отопления, водоснабжения и канализации.

ООО «Валдек Энергетика», выступившее в качестве генподрядчика, изготовило энергоблок OMEGA 111. Компания «Макс Моторс» выполнила шефмонтажные и наладочные работы, а также будет осуществлять техническое обслуживание.

Режим работы ГПЭС – круглогодичный, круглосуточный, автономный (островной) и параллельно с внешней сетью, без перетоков (комбинированный режим). Для отвода дымовых газов на станции смонтирована одноствольная дымовая труба производства ООО «Валдек Теплотехника» высотой 10 метров.

## Введен в эксплуатацию 4-й энергоблок ГТЭС в Республике Кот-д'Ивуар.

Газотурбинный энергоблок простого цикла был построен в рамках контракта, заключенного с компанией Azito Energie S.A. – одним из крупнейших производителей электроэнергии в стране. Электростанция Azito находится в г. Абиджан. В рамках проекта GE поставила газотурбинную установку GT13E2 MXL2, вспомогательное и электротехническое оборудование станции и систему управления станционного уровня.

Электрическая мощность энергоблока составляет 180 МВт, основным топливом является природный газ. В перспективе предусматривается перевод ГТЭС в комбинированный цикл. Контракт предусматривает также техническое обслуживание, ремонт и поставку запасных частей для эксплуатируемого оборудования в течение 20 лет.

Электростанция оснащена системой Digital Asset Performance Management компании GE. Она применяется для дистанционного мониторинга технического состояния оборудования, который осуществляется специалистами центра технической поддержки GE, расположенного в г. Атланта (штат Джорджия, США).



## Предприятие «Казанькомпрессормаш» выполнило пусконаладочные работы на ГПА Северо-Соленинского ГКМ.

ОАО «Казанькомпрессормаш», входящее в Группу «ГМС», изготовило и поставило два газоперекачивающих агрегата для дожимной компрессорной станции на месторождении, освоение которого ведет АО «Норильсктрансгаз».

Агрегат производительностью 2,966 млн м<sup>3</sup> в сутки и конечным давлением до 4,1 МПа предназначен для сжатия природного газа. ГПА спроектирован и изготовлен на базе центробежного однокорпусного компрессора 5ГЦ2-310/6-42 ГТУ типа «баррель», с двумя секциями сжатия, с масляными подшипниками скольжения и сухими газодинамическими уплотнениями. Компрессор смонтирован с мультипликатором на силовой раме.

Компрессорная система размещена в индивидуальном легкосборном укрытии, укомплектована газотурбинным двигателем НК-16СТ мощностью 16 МВт (производства КМПО), а также всеми системами контроля и управления. Решения обеспечивают повышенную эксплуатационную надежность, удобство технического обслуживания и увеличенный ресурс работы оборудования.

Перед отгрузкой заказчику компрессорное оборудование прошло заводские испытания, которые подтвердили соответствие технических характеристик всем требованиям. Оборудование смонтировано на площадке, выполнены пусконаладочные работы.

Северо-Соленинское газоконденсатное месторождение расположено на левом берегу Енисея, в 185 км от г. Дудинки и 265 км от г. Норильска. Введено в эксплуатацию в 1983 году.

## Kazancompressormash has completed commissioning works at Severo-Soleninsky gas condensate field.

Kazancompressormash JSC, a part of the HMS Group, has manufactured and supplied two gas pumping units for a booster compressor station at the field, the development of which is being conducted by Norilsktransgaz JSC.

The compressor system is located in an individual light-gathering shelter, equipped with a 16 MW NK-16ST gas turbine engine (manufactured by KМPO), as well as all monitoring and control systems. The applied solutions provide increased operational reliability, ease of maintenance and increased service life of the equipment.

The unit with a capacity of 2.966 million m<sup>3</sup> per day and a final pressure of up to 4.1 MPa is designed to compress natural gas.

АВТОРИТЕТНАЯ ПЛОЩАДКА  
ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ЛИДЕРОВ ТЭК

18-20 АПРЕЛЯ 2023



РОССИЙСКИЙ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
**РМЭФ**  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ

XXX МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
 **ЭНЕРГЕТИКА И  
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

ОДНОВРЕМЕННО С РМЭФ-2023 ПРОЙДУТ ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРОЕКТЫ:  
**ВЫСТАВКА «ЖКХ РОССИИ», ВЫСТАВКА «СВАРКА/WELDING»,  
ВЫСТАВКА-КОНГРЕСС «ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ»**

РЕКЛАМА



@ENERGYFORUMSPB САМАЯ АКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О РМЭФ В НАШЕМ TELEGRAM-КАНАЛЕ!

18+

КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
**ЭКСПОФОРУМ**  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

ENERGYFORUM.RU  
rief@expoforum.ru  
+7 (812) 240 40 40, доб.2626

**EXPOFORUM**

ENERGETIKA-RETEC.RU  
energo@restec.ru  
+7 (812) 303 88 68

**РЕСТЭК®**  
выставочное объединение



## ГПУ-ТЭС обеспечивает энергоснабжение предприятия «Тосол-Синтез» в г. Дзержинске Нижегородской области.

Установленная электрическая мощность станции составляет 4 МВт. ТЭС создана на базе двух агрегатов mtu 16V4000L64FNER производства Rolls-Royce Solutions Augsburg GmbH электрической мощностью по 2028 кВт. Станция работает параллельно с энергосистемой.

В состав оборудования ТЭС входит также система контроля импорта/экспорта электроэнергии. Она исключает неконтролируемую выдачу электрической энергии в сеть энергосистемы, осуществляя непрерывное измерение генерируемой мощности и потребляемой нагрузки подключенными потребителями. В реальном времени происходит их сравнение и, при необходимости, автоматическая корректировка мощности генератора/генераторов для достижения нулевого (либо заданного оператором) баланса на линии связи с энергосистемой.

Тепловая энергия станции используется в производственном цикле предприятия, а также для получения горячей воды. В ходе реализации проекта IES Energy GmbH выполнила проектирование станции, поставку оборудования, шефмонтажные и пусконаладочные работы. Компания обеспечит гарантийное и постгарантийное обслуживание ГПУ-ТЭС.

*Предприятие «Тосол-Синтез» основано в 1993 г. и в настоящее время является лидером среди российских компаний по производству охлаждающих, тормозных и стеклоомывающих жидкостей.*

### Gas engine power station provides power supply to the Tosol-Sintez enterprise in Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod region.

*The installed electrical output of the station is 4 MW. The station is created on the basis of two mtu 16V4000L64FNER gas engine power plants manufactured by Rolls-Royce Solutions Augsburg GmbH with an electric capacity of 2028 kW each. The station operates in parallel with the main power grid.*



## Mitsubishi Power поставила ГТУ для Сырдарьинской ТЭС в Узбекистане.

Контракт на поставку энергетического оборудования реализуется совместно с корпорацией ACWA Power (Турция). Mitsubishi Power, дочерняя компания МНН, поставила два газотурбинных энергоблока M701JAC электрической мощностью по 557 МВт. Они будут установлены на строящейся электростанции комбинированного цикла мощностью 1500 МВт в ходе реализации проекта.

Генпроектировщиком и генподрядчиком проекта выступает ACWA Power, строительно-монтажные работы выполняет China Gezhouba Group Co., Ltd. (КНР) в качестве подрядчика ЕРС-проекта.

Mitsubishi Power предоставила технических консультантов в ходе строительства и выполнения пусконаладочных работ. Контракт также предусматривает техническое обслуживание и ремонт основного энергетического оборудования в процессе эксплуатации в течение 25 лет, поставку запасных частей и обучение персонала станции.

*Проект «Сырдарья» реализуется правительством Узбекистана в рамках программы по строительству современных и экологических источников энергии для обеспечения растущего спроса на электроэнергию в стране. После ввода электростанции в коммерческую эксплуатацию общая установленная мощность энергоблоков страны увеличится на 8%, а объем выбросов CO<sub>2</sub> сократится на 2,2 млн тонн/год в связи с планируемым выводом части паротурбинных энергоблоков Сырдарьинской ТЭС из эксплуатации.*

### Mitsubishi Power has supplied gas turbine plants for the Syrdarya thermal power plant in Uzbekistan.

*The contract for the supply of power equipment is being implemented with ACWA Power Corporation (Turkey). Mitsubishi Power, a subsidiary of MHI, supplied two M701JAC gas turbine power plants with an electric capacity of 557 MW each.*

# ОБЗОРЫ РЫНКА

## энергетического оборудования

**Самый полный массив данных в России**

- Контракты и реализованные проекты
- Изготовители двигателей и генераторных установок
- Дилеры, поставщики оборудования
- Инжиниринговые и проектные организации
- Представительства зарубежных компаний

www.turbine-diesel.ru

РЕКЛАМА

# ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЛЮБЫХ ТИПОВ ГАЗА



Дожимные и вакуумные компрессорные станции



Системы комплексной газоподготовки



Блочные пункты подготовки газа



Теплообменное оборудование



РЕКЛАМА



Проектирование и производство



Доставка и монтаж



Наладка, испытания, обучение персонала



Комплексный сервис, ремонт и модернизация

## ВНИМАНИЕ К ДЕТАЛЯМ – ОТ ИДЕИ ДО ВОПЛОЩЕНИЯ



# Повышение эффективности работы КВОУ газовых турбин

- Проектирование
- Инжиниринг
- Сервис



РЕКЛАМА



**ООО «EMW фильртехник рус»**  
Россия, 117105, Москва,  
Новоданиловская набережная, д. 6, стр. 1, оф. 6  
[info@emw.su](mailto:info@emw.su); [info@emw-filter.ru](mailto:info@emw-filter.ru)  
тел./факс (495) 783-87-98