

март  
апрель  
**2023**

# Турбины и Дизели

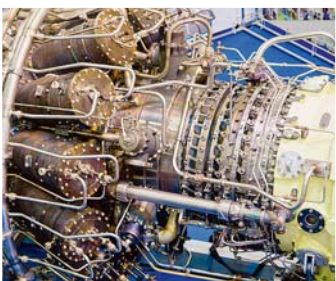
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**№2** (107)



## Локомотив Тюмени

60 лет заводу «Тюменские моторостроители»



**Передовые технологии  
малозмиссионного горения  
в действии**

**Разработка двигателей HiMSEN H54DFV  
и H32CV с двухступенчатой системой  
турбонаддува**

16+



- 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

РЕКЛАМА

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

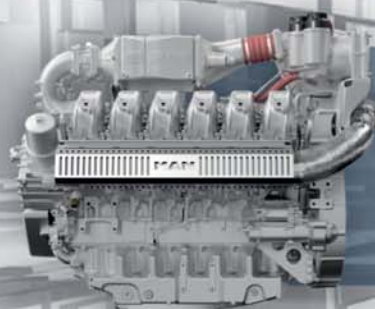
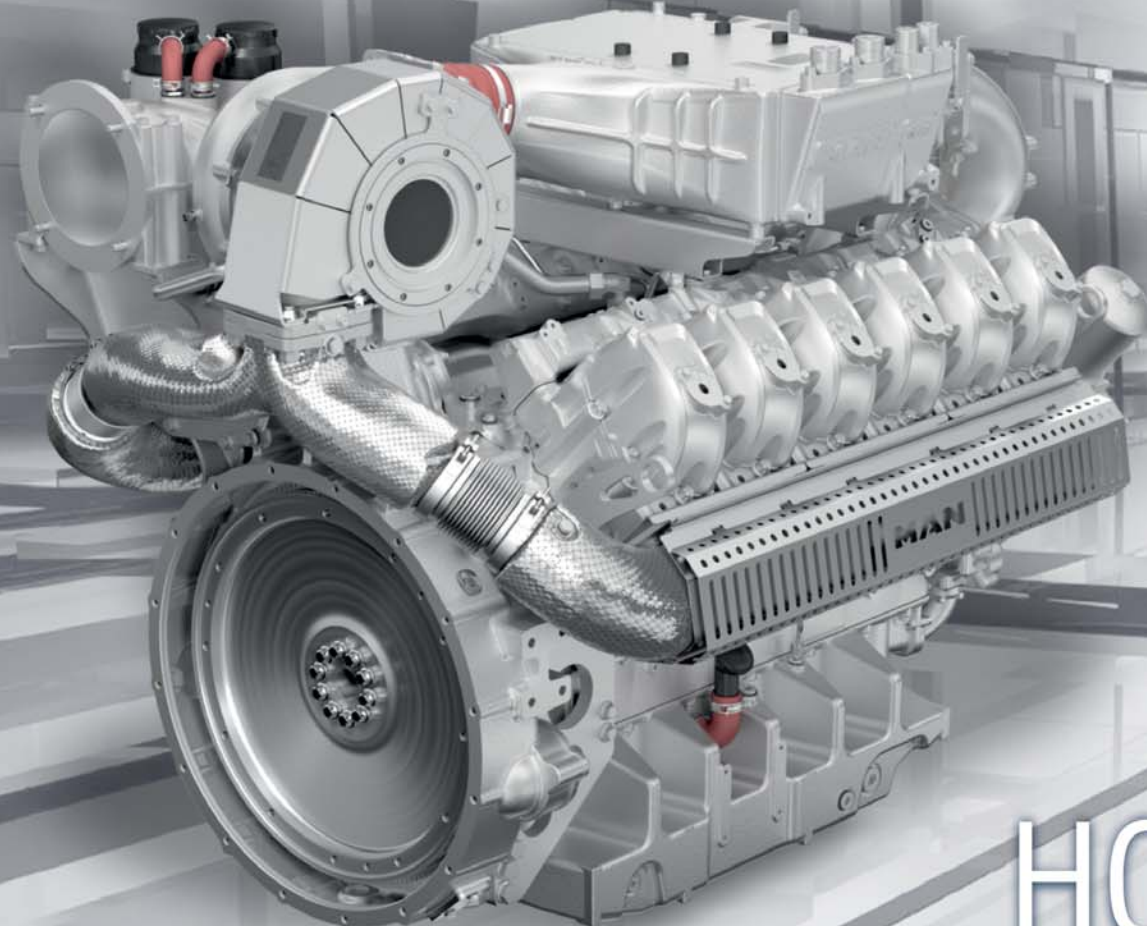




# Газовые двигатели MAN



## 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!

**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>

РЕКЛАМА

# Содержание

март-апрель 2023, № 2(107)



## 4 Передовые технологии Передовые технологии малоэмиссионного горения в действии

*М.А. Снитко, А.М. Сипатов (д.т.н.), П.М. Морозов, А.Д. Нугуманов (к.т.н.), В.В. Цатиашвили (к.т.н.) – АО «ОДК-Авиадвигатель»*

*В статье представлены результаты комплексной работы по созданию экологически чистой газотурбинной установки мощностью 16 МВт, работающей в широком климатическом и мощностном диапазоне, с «сухой» малоэмиссионной камерой сгорания. Приведены данные по эмиссионным характеристикам, подтверждающие высокую полноту сгорания топлива во всем диапазоне нагрузок и низкие выбросы оксидов азота и углерода при нагрузках от 70 до 100 %, согласно требованиям технического задания.*

## 10 Технологии 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*

## 18 Новые разработки Конструктивная схема воздухоочистительных устройств компании «ИНГК-Промтех»

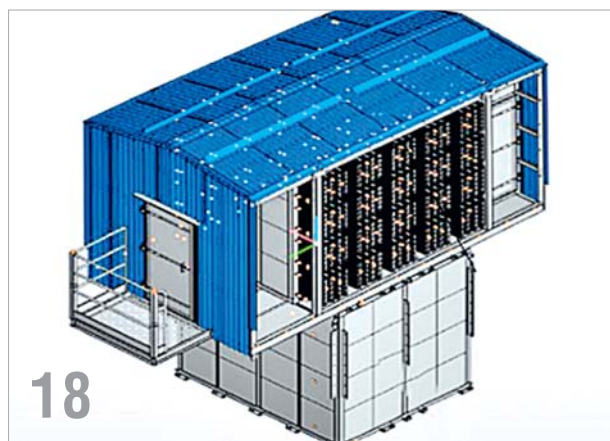
*В.Б. Ильин, С.И. Бурдюгов (д.т.н.) – ООО «ИНГК-Промтех»*

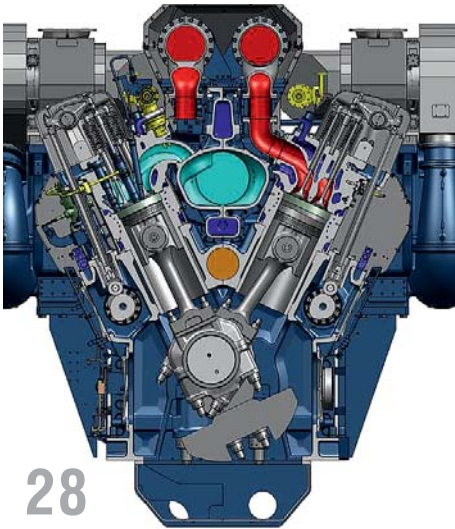
## 24 Юбилей Локомотив Тюмени

*Д.Е. Ефимова – ПАО «Тюменские моторостроители»*

*К.В. Симутин – ООО «Газпром энергохолдинг индустриальные активы»*

*Публичное акционерное общество «Тюменские моторостроители» известно своими производственными достижениями далеко за пределами региона и даже страны. Вот уже 60 лет предприятие ремонтирует и производит важнейшую продукцию, без которой сегодня трудно представить надежную работу Единой системы газоснабжения России.*





## 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.

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 24.04.2023 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»

28

## 28 Международный опыт Разработка двигателей HiMSEN H54DFV и H32CV с двухступенчатой системой турбонаддува

Сынхун Ли - Hyundai Heavy Industries

38

## 38 Аналитика, обзоры Применение нового стандарта по взрывоопасным средам для классификации взрывоопасных зон в отсеках ГПА

С. В. Карпов - ООО «Арус»

А. М. Литвак (к.ф.м.н.) - ООО «ЭМИ Прибор»

С 1 июля 2023 года введен в действие в качестве национального стандарта РФ межгосударственный стандарт ГОСТ 31610.10-1-2022 (ИСО 60079-10-1:2020) «Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды» [1]. В статье рассмотрены особенности применения нового ГОСТ для классификации взрывоопасных зон в отсеках газотурбинного газоперекачивающего агрегата с невзрывозащищенным газоиспользующим оборудованием. Данная тема касается как разработчиков ГПА, так и специалистов эксплуатирующих организаций.

46

## 46 Научные исследования Анализ и совершенствование конструкции основного и вспомогательного оборудования паротурбинных установок

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

54

## 54 Передовые проекты На Курильском острове Парамушир увеличат мощность ДЭС

Е. С. Касьянова - ООО «ВладМодуль»

58

## 58 Международный опыт Смазочное масло для стационарных газопоршневых двигателей

Гари Гарлинг, Вирджиния Каррик, Аль Хаас, Пауль Мардула, Марк Брайтли - The Lubrizol Corporation



# Передовые технологии малозмиссионного горения в действии

М. А. Снитко, А. М. Сипатов (д.т.н.), П. М. Морозов, А. Д. Нугуманов (к.т.н.),  
В. В. Цатишвили (к.т.н.) – АО «ОДК–Авиадвигатель»

В статье представлены результаты комплексной работы по созданию экологически чистой газотурбинной установки мощностью 16 МВт, работающей в широком климатическом и мощностном диапазоне, с «сухой» малозмиссионной камерой сгорания.

Приведены данные по эмиссионным характеристикам, подтверждающие высокую полноту сгорания топлива во всем диапазоне нагрузок и низкие выбросы оксидов азота и углерода при нагрузках от 70 до 100%, согласно требованиям технического задания.

## In brief

### Advanced technologies of low-emission combustion.

The article presents the results of a comprehensive work on the creation of an environmentally friendly gas turbine plant with a capacity of 16 MW, operating in a wide climatic and power range, with a dry low-emission combustion chamber. Data on emission characteristics are presented, confirming the high completeness of fuel combustion over the entire load range and low emissions of nitrogen and carbon oxides at loads from 70 to 100%.

В газотурбинных установках широко распространена технология диффузионного сжигания топливовоздушной смеси, при которой выбросы вредных веществ не соответствуют действующим жестким нормативным актам. Основные «загрязнители» окружающей среды в составе выхлопных газов газотурбинных установок, работающих на природном газе, – оксиды азота  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  вместе с монооксидом углерода  $\text{CO}$ . Данные вещества оказывают серьезное влияние на здоровье человека и могут приводить к смертельно опасным заболеваниям. Создание оптимальной конструкции малоэмиссионной камеры сгорания (МЭКС), обеспечивающей низкие уровни вредных выбросов и, одновременно, выполнение эксплуатационных требований по надежности, является сложной научно-технической задачей.

Технология сжигания бедных, заранее перемешанных топливовоздушных смесей LPP (Lean Premixed Prevaporized – бедная, предварительно испаренная, перемешанная) считается на сегодня самой успешной для камер сгорания ГТУ [1]. Гомогенная топливовоздушная смесь подготавливается в специальном устройстве – смесителе, далее она из смесителя попадает в жаровую трубу и сгорает.

Преимуществом этой концепции является разрыв обратной связи между  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  по времени пребывания, когда термический механизм образования  $\text{NO}_x$  подавлен и можно увеличить объем камеры сгорания с целью повышения полноты сгорания и, как следствие, снизить выброс  $\text{CO}$ . Путем подбора объема камеры сгорания (времени пребывания газа в ней) можно определить малоэмиссионный диапазон горения бедной смеси, как показано на рис. 1 для гомогенной смеси и условий номинального режима ГТУ-16ПМ. Для каждого двигателя с МЭКС отыскивается свой оптимум между эмиссией оксидов азота и оксида углерода. На практике основной проблемой является именно подготовка технически гомогенной смеси с требуемой степенью неоднородности по составу. Основные сопряженные проблемы, неизбежно возникающие при данном способе реализации концепции, следующие:

- низкая устойчивость сгорания топлива во фронте пламени;
- возбуждение режимов вибрационного горения;
- пониженная полнота сгорания и повышенные уровни эмиссии оксида азота и несгоревших углеводородов на режимах, близких к режиму малого газа;
- высокая вероятность проскока пламени и самовоспламенения смеси в зоне ее подготовки;

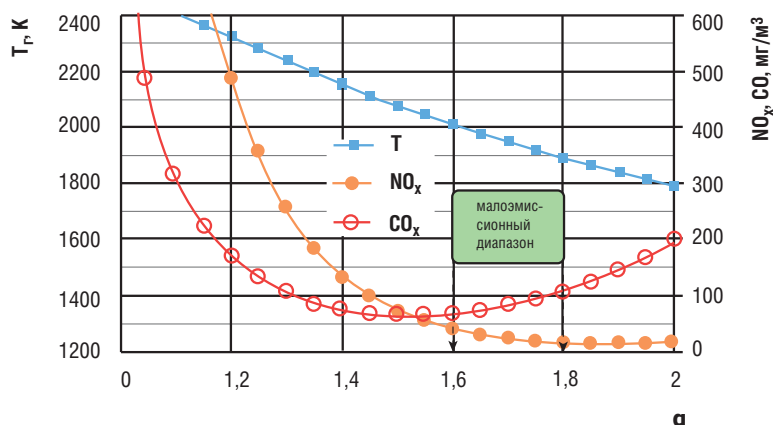


Рис. 1. Расчетная оценка влияния коэффициента избытка воздуха на температуру в зоне горения, приведенную концентрацию оксидов азота и углерода.  
Параметры: температура воздуха на входе 727 К, давление воздуха 1,9 МПа, время пребывания 20 мс, топливо – метан. Малоэмиссионный диапазон работы КС по коэффициенту избытка воздуха – от 1,6 ( $\text{NO}_x \leq 50$  мг/м<sup>3</sup>) до 1,8 ( $\text{CO} \leq 100$  мг/м<sup>3</sup>)

■ усложнение системы подачи топлива и системы автоматического регулирования работы КС.

В результате выполнения большого комплекса расчетно-экспериментальных работ удалось разработать фронтное устройство для МЭКС, удовлетворяющее всем требованиям технического задания. Трехмерные расчеты течения внутри камеры сгорания с учетом реакций горения выполняются в коммерческом программном обеспечении методом контрольных объемов, на которые разделяется расчетная область. Решается система уравнений неразрывности потока, импульсов по каждой координате в форме Навье-Стокса, энергии, переноса всех веществ, участвующих в горении. Пример результатов расчета представлен на рис. 2.

В результате трехмерных расчетов определяются характеристики эмиссии  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$ , тепловое состояние элементов МЭКС, распределение давлений, концентраций всех веществ, скоростей и температур внутри камеры сгорания для дальнейшей оптимизации характеристик. Особенностью рассматриваемого типа МЭКС является то, что эпюра концентраций на выходе из фронтного устройства определяет все основные характеристики МЭКС.

Однако для реализации данной концепции по снижению выбросов вредных веществ в широком климатическом и мощностном диапазоне работы газотурбинной установки требуется исключить виброгорение и проскок пламени в смеситель КС, которые могут привести к быстрому разрушению двигателя или существенному сокращению его ресурса.

Специалисты АО «ОДК–Авиадвигатель» (входит в Объединенную двигателестроительную корпорацию Ростеха) занимались разработкой данной технологии более 10 лет. За прошедшие годы выполнен значительный комплекс расчетных, конструкторских и экспериментальных работ, которые обобщены в методику создания малоэмиссионных камер сгорания и обеспечения ее надежной работы в составе ГТУ. Поскольку технология сжигания бедных смесей предполагает организацию процесса горения вблизи границ устойчивости пламени, сложнейшей проблемой при ее реализации является обеспечение устойчивости горения пламени и отсутствие пульсаций давления. Понимание ключевых факторов, влияющих на динамику горения, способность прогнозировать это явление и возможность воздействовать на него позволяют выполнить доводку конструкции.

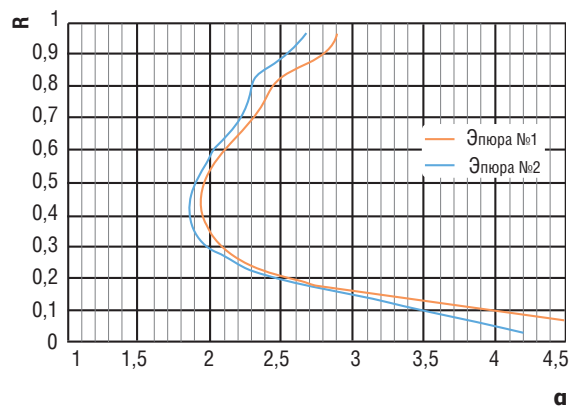


Рис. 2. Примеры эпюр коэффициентов избытка воздуха на выходе из фронтного устройства при изменении режима работы ГТУ с МЭКС

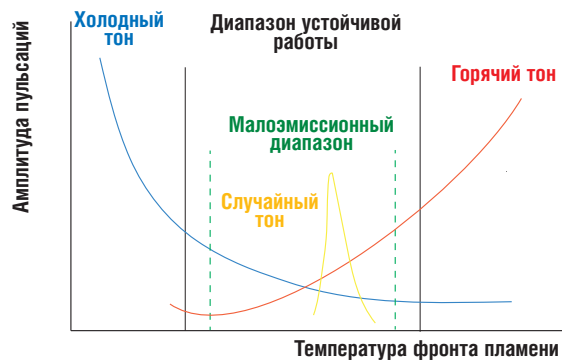


Рис. 3. Положение диапазона устойчивой работы МЭКС в зависимости от температуры фронта пламени [2]

### Постановка задачи и способы ее решения

Задачей создания экологически чистых камер сгорания является организация процесса малоэмиссионного горения внутри диапазона устойчивой работы теоретически обоснованной широты по температуре в зоне горения. В диссертации А. Д. Нугуманова «Методика экспериментальной доводки ГТД по экологическим нормам» [2] показано графически расположение малоэмиссионного диапазона внутри диапазона устойчивой работы, образованного тонами пульсаций давления (рис. 3).

Экспериментальные исследования КС на первом этапе выполнялись в составе одного-релочного отсека (1/12 часть КС) на стенде «ОДК–Авиадвигатель», обеспечивающем полные параметры рабочего процесса (фото 1). В процессе экспериментальной доводки конструкции и отработки методики было проведено более 350 испытаний, исследовано более 100 конструктивных вариантов.



Фото 1. МЭКС на испытаниях в составе одного-релочного отсека

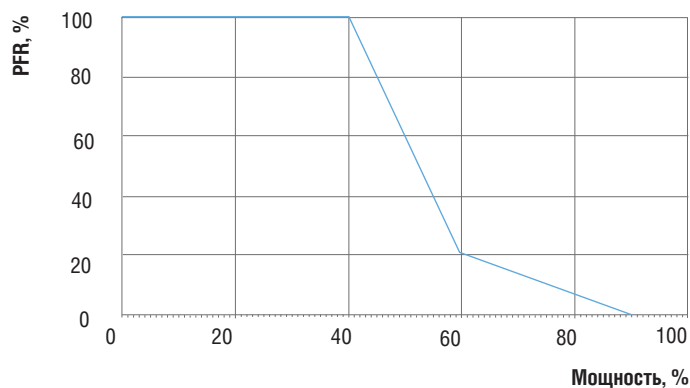


Рис. 4. Пример управления распределением топлива по коллекторам малоэмиссионной камеры сгорания

Окончательная доводка конструкции МЭКС осуществлялась в составе технологического газогенератора на стенде 184, расположенном на КС «Пермская».

Для поддержания малоэмиссионного диапазона работы камеры сгорания ГТД необходимо гибко управлять температурой пламени в КС, которая значительно изменяется при изменении режима работы двигателя (мощностная составляющая) и изменении входных условий окружающей среды, в первую очередь температуры (климатическая составляющая). Для этого используется многоколлекторная система топливопитания, позволяющая в зависимости от режима мощности управлять эapurой концентрации топливоздушной смеси и обеспечивать малоэмиссионный диапазон работы. Пример трехколлекторной схемы представлен на рис. 4.

Данные технологии разработаны и используются на двигателях компании «ОДК-Авиадвигатель» [3, 4]. Все технологические решения после расчетной и конструкторской проработки проверяются в составе однорелочного модельного отсека на полных параметрах и только после этого применяются на двигателе.

В рамках создания отечественной технологии сухого подавления эмиссии научно-производственным комплексом «Пермские моторы» в сотрудничестве с ООО «Газпром трансгаз Чайковский» был реализован проект

по внедрению в эксплуатацию установки номинальной мощностью 16 МВт, оснащенной МЭКС. В 2021 г. проведен комплекс эксплуатационных и приемочных испытаний ГТУ-16ПМ в составе агрегата ГПА-Ц-16ПМ на компрессорной станции «Чайковская» Чайковского ЛПУ.

Особенностью ввода в эксплуатацию головных образцов ГТУ-16ПМ с малоэмиссионной камерой сгорания стал тот факт, что она внедрена в конструкцию уже эксплуатирующихся серийных двигателей ПС-90ГП-2М (фото 2). Параллельно с переоборудованием двигателей специалистами АО «ОДК-Авиадвигатель» выполнена доработка действующих ГПА в части внедрения систем, обеспечивающих работу ГТУ с МЭКС, таких как многоколлекторная топливная система, блок агрегатов САУ, система перепуска воздуха на вход ГПА, система контроля пульсаций давления и др.

Для набора статистических данных о работе первого двигателя мощностью 16 МВт с малоэмиссионной камерой сгорания специалисты АО «ОДК-Авиадвигатель» ведут непрерывный мониторинг параметров.

Итогом работ стало успешное завершение приемочных испытаний ГТУ-16ПМ [5]. Целью испытаний была проверка соответствия параметров двигателя с МЭКС требованиям технических условий. По результатам испытаний комиссией в составе специалистов АО «ОДК-Авиадвигатель», АО «ОДК», ООО «Газпром трансгаз Чайковский», ООО «Газпром ВНИИ-ГАЗ» подтверждено следующее:

- теплотехнические характеристики (мощность, эффективный КПД) двигателей ПС-90ГП-2М с МЭКС соответствуют требованиям ТУ;
- экологические характеристики на режимах 70...100 % от номинальной мощности: приведенная концентрация оксидов азота ( $NO_x$ ) и монооксида углерода (СО) — соответствуют требованиям технических условий ( $NO_x \leq 50 \text{ мг/м}^3$ ,  $CO \leq 100 \text{ мг/м}^3$ ).

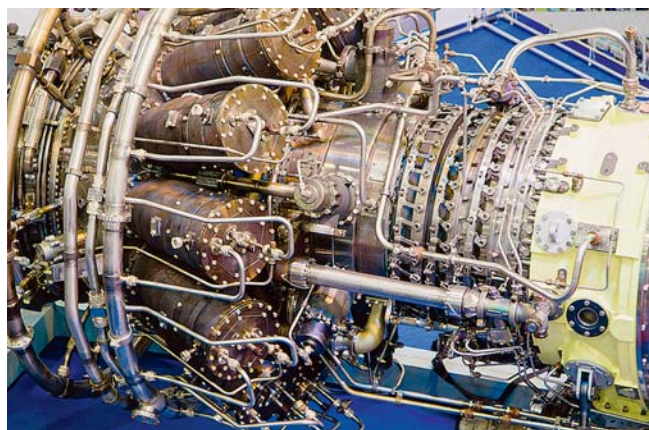
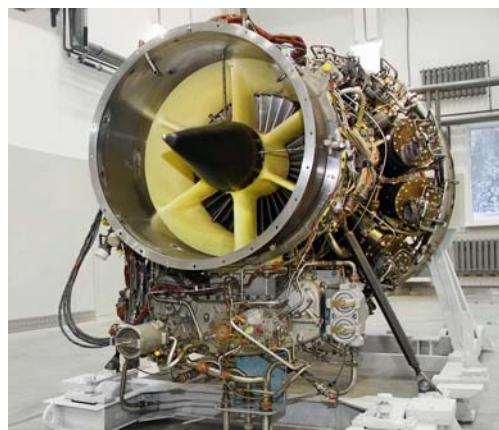


Фото 2. Двигатель ПС-90ГП-2М с малоэмиссионной камерой сгорания



## Заключение

Соответствие параметров требованиям ТУ подтверждено заключениями ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Приемочная комиссия рекомендовала присвоить конструкторской документации на двигатели ПС-90ГП-2М с МЭКС литеру «О1» и внедрить в промышленную эксплуатацию ГТУ-16ПМ с МЭКС в составе агрегатов для привода нагнетателей и турбогенераторов.

Успешный опыт внедрения ГТУ, оснащенных МЭКС, на объектах эксплуатации ООО «Газпром трансгаз Чайковский» является наглядным подтверждением того, что для соответствия самым современным экологическим требованиям не требуется кардинального перевооружения действующих компрессорных станций с ГТУ разработки АО «ОДК-Авиадвигатель» – это возможно на базе уже эксплуатируемых установок.

Наработка первой экологически чистой газотурбинной установки мощностью 16 МВт в настоящий момент превысила 6000 часов, специалисты АО «ОДК-Авиадвигатель» непрерывно осуществляют мониторинг работы этой установки в онлайн режиме.

В настоящее время специалисты компании «ОДК-Авиадвигатель» продолжают совершенствовать разработанные малоэмиссионные камеры сгорания с целью расширения малоэмиссионного диапазона работы и снижения уровня эмиссии оксидов азота до 30 мг/м<sup>3</sup> в соответствии с передовыми мировыми технологиями. **Д**

## Литература

1. Постников А.М. Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ / А.М. Постников. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2002. – 286 с.

2. Нугуманов А.Д. Методика экспериментальной доводки низкоперепадных камер сгорания газотурбинных установок по экологическим нормам: дис. ... д-ра техн. наук / Ю.Г. Куценко. – М., 2010.

3. Сипатов А.М. Использование мирового опыта регулирования газотурбинных двигателей (ГТД) с малоэмиссионной камерой сгорания (МЭКС) по режимам мощности и в климатическом диапазоне при создании МЭКС для ГТД разработки АО «ОДК-Авиадвигатель» / А.М. Сипатов, А.Д. Нугуманов, В.А. Назукин // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2017, № 50. С. 139–147.

4. Августиневич В.Г. Концепция управления малоэмиссионной камерой сгорания авиационного ГТД и ее эксперт-модель для обучения нейронной сети смарт-регулятора / В.Г. Августиневич, Т.А. Кузнецова, А.И. Фатыков, А.Д. Нугуманов // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2018, № 53. С. 5–19.

5. Акт окончания приемочных испытаний двигателя ПС-90ГП-2М с МЭКС зав. № ПМД83061138р1 на КС «Чайковская» ООО «Газпром трансгаз Чайковский» в составе газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-16ПМ ст. № 22.

## Новости

### В Перми началось серийное производство двигателя ПД-14.

На предприятии «ОДК-Пермские моторы» начался серийный выпуск двигателя ПД-14 для российского среднемагистрального самолета МС-21-310. К 2030 году ежегодный объем производства самолетов МС-21 должен составить 72 штуки. Турбовентиляторный двигатель ПД-14 создан в широкой кооперации предприятий ОДК.

На базе газогенератора ПД-14 конструкторским бюро «ОДК-Авиадвигатель» разработан газотурбинный двигатель промышленного назначения ПД-14ГП-1/-2. При его разработке был применен ряд передовых технологий: полые широкохордные титановые лопатки, моноколеса, малоэмиссионная КС из интерметаллидного сплава, монокристаллические лопатки турбины высокого давления с перспективной системой охлаждения, керамические покрытия на деталях горячей части и др.

За счет инноваций в двигателе ПД-14ГП-1/-2 удалось достичь увеличения топливной экономичности на 6-8 % по сравнению с аналогами, уровня эмиссии NO<sub>x</sub> менее 50 мг/м<sup>3</sup>, ресурса – 200 тыс. часов. Перспективный промышленный двигатель будет использоваться в составе газоперекачивающих агрегатов и газотурбинных электростанций.

Двигатель ПД-14ГП-1/-2 создан по заказу ПАО «Газпром» и станет основой ряда газотурбинных установок мощностью 12 и 16 МВт.



## Невский завод освоил изготовление элементов горячего тракта ГТУ Т32.

В рамках программы локализации основного оборудования газотурбинной установки ГТУ Т32, входящей в состав отечественного газоперекачивающего агрегата ГПА-32 «Ладога», начато изготовление нескольких крупных узлов горячего тракта. Среди них – рабочие и направляющие лопатки турбины низкого давления, корпуса камеры сгорания и диски турбины высокого давления.

Специалисты инженерного центра предприятия переработали конструкторскую документацию для применения отечественных материалов. Корпус турбины выполнен из специальных жаростойких сплавов. В процессе производства освоена механическая обработка деталей, сварка с подогревом, последующая термическая и окончательная механическая обработка. Изготовлен полный комплект передних и задних корпусов (6 шт.).

Заготовки для дисков турбины высокого давления изготовлены из сплава инкотель 718, после предварительной механической обработки они прошли разгонные испытания на специализированном стенде. На завершающем этапе выполнено дробеструйное уплотнение дисков стальной дробью, с последующей очисткой поверхности керамической дробью. Для промежуточного диска, в кооперации с российскими партнерами, освоена технология нанесения износостойкого покрытия на лабиринтные уплотнения методом газоплазменного напыления.

Рабочие лопатки и сопловые аппараты турбины низкого давления изготовлены в тесной кооперации с предприятиями, входящими в группу «Газпром энергохолдинг индустриальные активы».

Элементы горячего тракта газотурбинного двигателя являются наиболее сложными в изготовлении, для их производства используются жаропрочные сплавы. К качеству и технологии изготовления таких изделий предъявляются особые требования. Полное освоение производства основного и вспомогательного оборудования ГТУ планируется завершить в 2024 году.

### ***Nevsky Plant has mastered the manufacture of parts of the hot path of T32 gas turbine.***

*Within the framework of the localization program of the main equipment of GTU T32 gas turbine plant, which is part of the domestic gas pumping unit GPA-32 Ladoga, the manufacture of several large units of equipment of the hot path has begun. Among them are the blades and vanes of a low-pressure turbine, combustion chamber casing and high-pressure turbine discs.*



## В г. Кушва Свердловской области построена мини-ТЭС.

Обеспечение города Кушва чистой водой – часть государственной программы «Чистая вода». В рамках этой программы компания «Автономный энергосервис» поставила заказчику две газопоршневые установки SGE 18 SL (Siemens Energy) электрической мощностью по 303 кВт. Заказчиком выступает комитет жилищно-коммунальной сферы Кушвинского городского округа. Генподрядчиком является ООО «СК Интер».

Энергоблоки будут работать в базовом режиме и обеспечат энергией площадку насосно-фильтровальной станции. Газопоршневые установки оснащены современными системами управления SIMATIC S7-1500 (Siemens) с силовой частью Siemens. Поставка включает систему утилизации тепла основного контура, котлы-утилизаторы с низкотемпературными глушителями, насосы, оборудование системы охлаждения и все остальные необходимые для работы системы и элементы.

Оборудование смонтировано на площадке, выполнены пусконаладочные работы. Ввод в эксплуатацию планируется в текущем году.

## Для завода пластиковых изделий в Ленинградской области введена ГПЭС.

Предприятие «ДВС Ресурс» изготовило и поставило заказчику газопоршневую установку электрической мощностью 500 кВт на базе двигателя E 3262 LE 202 (MAN) с системой утилизации тепла. Энергоблок имеет модульное исполнение.

Оборудование поставлено для первой очереди мини-ТЭС, которая будет обеспечивать энергией технологические потребности завода по производству пластиковых изделий в г. Гатчине Ленинградской области. Станция введена в эксплуатацию и работает параллельно с сетью.

## GE и INI разработают газовые турбины с минимальным уровнем выбросов CO<sub>2</sub>.

GE Gas Power подписала договор о намерениях с японской инжиниринговой компанией INI по разработке технологий сжигания аммиака. Партнеры планируют использовать эти технологии в ГТУ для получения электроэнергии с минимальными или нулевыми уровнями эмиссии CO<sub>2</sub>.

Соглашение является продолжением сотрудничества компаний в рамках Меморандума о взаимопонимании, подписанного в июне 2021 г. В соответствии с ним стороны договорились провести экономическую оценку использования аммиака в качестве безуглеродного топлива для существующих и новых газовых турбин.

INI продолжает развивать бизнес по всей цепочке создания топливного аммиака — от производства до транспортировки, хранения и утилизации. Компании согласуют план по разработке технологий для турбин 6F.03, 7F, 9F и обеспечению их безопасной эксплуатации с использованием 100 %-го аммиака. Также изучат возможность применения этой технологии для других газовых турбин большой мощности в будущем.

## На предприятии «Луховицкие овощи» построена третья очередь ТЭС.

Заказчик проекта — ООО «Луховицкие овощи». Тепличный комплекс расположен в поселке Астапово Луховицкого района Московской области. Генподрядчиком и поставщиком основного энергетического оборудования является ООО «Сервис Юнит». Компания выполнила поставку оборудования, шефмонтажные и пусконаладочные работы. Тепличный комплекс полностью обеспечен электрической и тепловой энергией.

В состав оборудования третьей очереди станции вошла газопоршневая установка JMS 624 GS производства INNIO Jenbacher. Электрическая мощность ГПУ составляет 4401 кВт, тепловая — 4087 кВт. Топливо — природный газ. Ранее на станции введены в эксплуатацию 12 энергоблоков JMS 624 и 4 установки JMS 420.

ТК «Луховицкие овощи» был построен в 2015 г., в 2019-м введена в эксплуатацию вторая очередь тепличного комплекса, в 2022 — третья очередь. На сегодня суммарная производственная площадь теплиц составляет 35,2 га. В них выращиваются огурцы, томаты, салат и другие овощи.

## ГПЭС мощностью 20 МВт на попутном газе построена на Восточно-Мессояхском месторождении.

Компания «Альфа Балт Инжиниринг» спроектировала ГПЭС для нужд АО «Мессояханефтегаз» в рамках создания временного энергокомплекса на Восточно-Мессояхском месторождении. Станция работает параллельно с существующей ГТЭС на Восточно-Мессояхском лицензионном участке в составе 6 агрегатов Titan 130 мощностью по 14 МВт и ГПЭС на приемно-сборном пункте Пякахинского месторождения на базе 5 машин Caterpillar G3516C мощностью по 1,5 МВт.

Станция включает системы и вспомогательные сооружения, обеспечивающие полный цикл приема газа, преобразование и передачу электроэнергии в электрическую сеть месторождения, контроль и управление.

ООО «Альфа Балт Инжиниринг» изготовило и поставило 9 газопоршневых модульных энергоблоков БКЭМ Норд-ГП-2000/10,5-ХЛ1 мощностью по 2141 кВт, напряжением 10,5 кВ, созданных на базе установок mtu 20V4000 GS производства Rolls-Royce.

Специалисты компании выполнили шефмонтажные и пусконаладочные работы, пусконаладку систем и узлов поставленного оборудования, проверку технической готовности оборудования и вспомогательных систем электростанции.

### *Gas engine power plant with a capacity of 20 MW on associated gas was built at the Vostochno-Messoyakhskoye field.*

*Alfa Balt Engineering has designed gas engine power station for the needs of Messoyakhneftegaz as part of a project to create a temporary energy complex at the Vostochno-Messoyakhskoye field. The station operates in parallel with the existing power station.*

**АРУС**  
ИННОВАЦИИ В БЕЗУПРЕЧНОМ  
ИНЖИНИРИНГЕ

[www.apuc.ru](http://www.apuc.ru)  
+7 (342) 214-00-00

### Направление деятельности:

- Системы противопожарной защиты и контроля загазованности;
- Автоматизация системы управления технологическими процессами;
- Энергообеспечение;
- Производство и поставка технологического оборудования;
- Индустрия 4.0.

### Компетенции:

- Более 15 лет на рынке;
- Выполнение проектов по импортозамещению;
- Собственное производство и интеграция сертифицированного оборудования, соответствующего всем российским стандартам качества;
- Высококвалифицированный штат инженерно-технического персонала.

РЕКЛАМА

✉ [office@apuc.ru](mailto:office@apuc.ru)

г. Пермь, ул. Аркадия Гайдара, д. 8 "Б", оф. 505

# 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.*

Окончание статьи. Начало в №1, 2023 г.

## Результаты расчетного моделирования потоков воды в кавитаторе

Для более глубокого понимания особенностей течения в гидродинамическом кавитаторе, сопоставления экспериментальных данных с теоретическими представлениями о потоках среды при кавитации был проведен численный эксперимент.

Геометрические характеристики объекта созданы в программе NX с некоторыми незначительными упрощениями. Длина центральной зоны реактора от завихрителя до поршня составляет 220 мм. Радиус входной трубки – 10,5 мм, центральной – 13 мм, выходной правой – 7,98 мм, выходной левой в расчетах изменяется от 6,78 до 16 мм. Максимальный радиус завихрителя – 35 мм. Расчетная модель кавитатора представлена на рис. 4.

Трехмерная тетраэдрическая сетка с пограничным слоем была построена в ANSYS ICEM. Параметр  $Y^+$  выбран в диапазоне 10–100, так как основные кавитационные процессы происходят в ядре потока. Расчетная сетка насчитывает 2,65 млн узлов и 10,58 млн элементов. Завихритель и поршень имеют довольно сложную форму, которая определяет качество сетки. Сетка получена удовлетворительного качества, с параметрами согласно ANSYS CFX: orthog. angle – 16.4 deg, expansionfactor – 243, aspectratio – 151.

Для численного моделирования использована программа ANSYS CFX. Первые расчеты

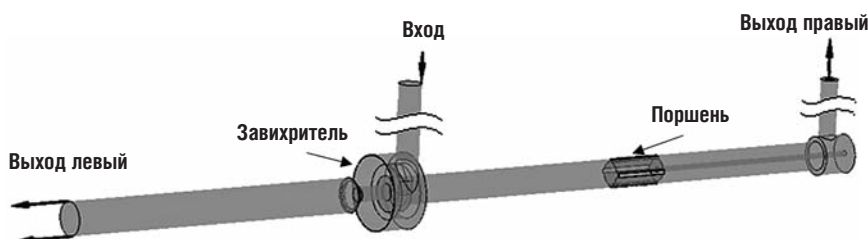
проводились в стационарной постановке с моделью турбулентности SST и одним рабочим телом – водой. Одним из критериев удовлетворительного решения было получение устойчивого внутреннего жгута, в котором происходит процесс кавитации и который был получен в явном виде в эксперименте. В стационарной постановке внутренний жгут получался только при определенных граничных условиях и был слабо выражен и неустойчив.

Переход на нестационарную постановку и модель турбулентности DES позволил решить проблему и получить картину течения, близкую к выявленной, экспериментальным путем. Сравнение внутренних вихревых жгутов при использовании SST и DES расчетных моделей представлено на рис. 5. При этом форма очертаний и геометрические параметры вихревого кавитационного жгута близки к тем, которые были получены в экспериментах, отраженных на фото 3, 4, 5 (1-я часть).

В расчетной модели используется однофазное рабочее тело, так как это повышает устойчивость решения. В перспективе планируется перейти на двухфазное рабочее тело, с реализацией процесса парообразования и реальной кавитацией. В расчетной модели с однофазным рабочим телом принято: если давление жидкости опускается ниже нуля, то это соответствует состоянию воды в паровой фазе. Зона отрицательного давления соответствует расчетной зоне кавитации.

При использовании модели однофазного рабочего тела значения давлений среды в расчете и эксперименте значительно расходятся. Поэтому в качестве граничных условий (ГУ) задавались давление и температура на входе в трубку завихрителя и расходы на выходе из реактора и парового коллектора. В частности, был воспроизведен один из физических экспериментов с ГУ: давление воды на входе в кавитатор  $P_{вх} = 9,7$  бар; массовый расход воды, уходящей из реактора,  $G_{вых.пр} = 2,055$  кг/с;

Рис. 4.  
Расчетная модель гидродинамического кавитатора



массовый расход среды, поступающей в паровой коллектор,  $G_{\text{вых.лев}} = 0,246 \text{ кг/с}$ .

На рис. 6 показано расчетное распределение статического давления среды в поперечном сечении. Видно, что давление опускается ниже нуля в центральной части центральной трубки и в левой выходной трубке.

Если определить число кавитации [1] по классической формуле

$$\chi = \frac{P - P_n}{\rho v^2 / 2},$$

где  $P_n$  – давление насыщения пара равное 2338,8 Па, то зона кавитации, соответствующая отрицательному значению числа кавитации, будет выглядеть так, как показано на рис. 7.

Приведенный расчет показал, что кавитация происходит не только в центральной трубке – в реакторе, но и в левой – в паровом коллекторе. Это позволяет увеличить полезную рабочую область и эффективность кавитатора для решения различных прикладных задач. По результатам расчетов, экспериментальный стенд был доработан: трубка парового коллектора была удлинена.

В ходе расчетных исследований оценивалось влияние изменений определяющих режимных параметров кавитатора при различных ГУ: менялись давление на входе и распределение расходов через реактор и паровой коллектор. Получены хорошие совпадения результатов численного моделирования с экспериментами, проводимыми при аналогичных граничных условиях. Формирование внутреннего вихревого жгута является необходимым, но недостаточным фактором для образования кавитации. Интенсивность кавитации возрастает при снижении давления в паровом коллекторе ниже атмосферного (в расчетах использовалось давление 0,3 бар).

### Результаты опытов по очистке загрязненной воды в кавитаторе Очистка воды от химических соединений, растворенных в воде

На установке РБС1 была проведена серия опытов по очистке загрязненной воды, взятой из различных источников, в частности, из реки Волги возле г. Рыбинска, из пруда частного домовладения, с искусственным загрязнением солями и др. Опыты проводились с искусственными добавками хлорсодержащих препаратов в состав загрязненной воды.

Результаты химического анализа определялись с использованием тест-систем и тест-полосок НПО «Крисмас». В табл. 4 приведены результаты очистки загрязненной воды путем

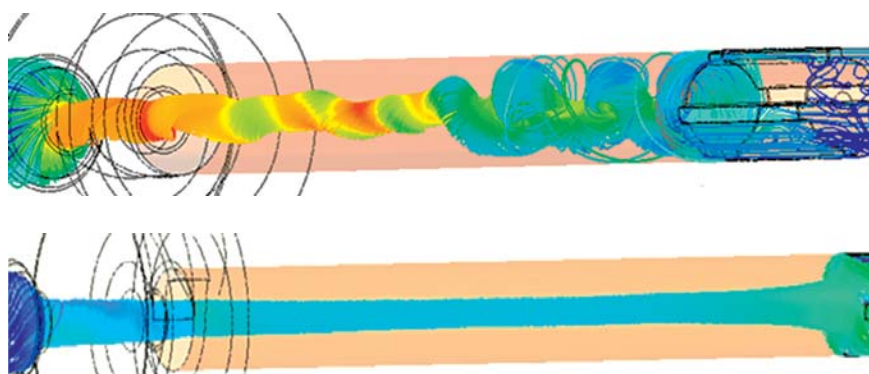


Рис. 5.  
Внутренний вихревой жгут:  
вверху модель SST;  
внизу модель DES

кавитационной обработки в кавитаторе, пробы которой взяты из реки Волги. Частота вращения ротора насоса – 50 Гц. Количество воды в баке установки РБС1 – 50 литров.

В таблице даны следующие обозначения проб обрабатываемой воды в кавитаторе, отбираемых для химического анализа через определенные промежутки времени:

1-я проба – вода из реки Волга в чистом (неразбавленном) виде;

2-я проба – вода, взятая из крана кавитатора (см. поз. 5, рис. 1, 1-я часть), после 0 мин работы установки (добавлено 25 мл хлорсодержащего компонента Эмовекс);

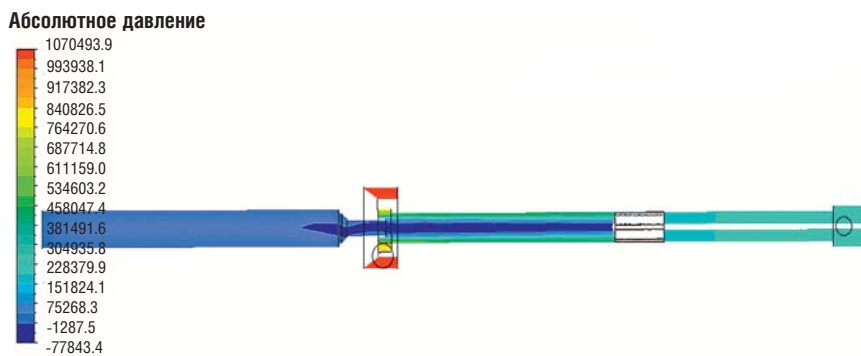
3-я проба – вода из крана 5 кавитатора после 10 мин работы установки;

4-я проба – вода из крана 5 кавитатора после 20 мин работы установки;

5-я проба – вода из крана 5 кавитатора после 30 мин работы установки.

Табл. 4.  
Содержание химических  
веществ в пробах воды  
из реки Волги

| Наименование показателя                      | 1 проба | 2 проба | 3 проба | 4 проба | 5 проба | Норма (мг/л) |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|
| Хлор остаточный (мг/л)                       | -       | -       | 0       | 0       | 0       | 0,5          |
| pH   | 8       | 8       | 7       | 7       | 7       | 6..7         |
| Железо                                       | 0,2     | 0,2     | 0,1     | 0,1     | 0,1     | 0,3          |
| Нитраты                                      | 2       | 2       | 1       | 1       | 1       | 40           |
| Нитриты                                      | 1,5     | 1,5     | 0,4     | 0,4     | 0,4     | 0,08         |
| Жесткость, ммоль/л экв.                      | 4,0     | 4,0     | 2,0     | 2,0     | 2,0     | 2,0          |
| Карбонаты                                    | 30      | 30      | 20      | 20      | 20      | 30           |
| Аммоний                                      | 6       | 6       | 2       | 2       | 2       | 0,5          |
| Хлориды                                      | 23      | 23      | 16      | 16      | 16      | 350          |
| Сульфаты                                     | 12      | 12      | 1       | 1       | 1       | 0,005        |
| Кальций                                      | 16      | 16      | 15      | 15      | 15      | 180          |
| Хлор связанный (хлорамин)                    | -       | -       | 0       | 0       | 0       | 0,3          |
| Остатки перекисных хлорсодержащих дезсредств | -       | -       | 0       | 0       | 0       | 0            |



**Рис. 6.**  
Распределение статического давления среды в поперечном сечении кавитатора

Из анализа результатов опыта, приведенных в табл. 4, и других аналогичных опытов на установке следуют важные выводы:

- показатель pH, нитраты, карбонаты, аммоний, хлориды, сульфаты, кальций стабильно уменьшаются при кавитационной обработке загрязненной воды;
- концентрация нитритов и жесткость воды снижаются более чем в 2 раза;
- хлор связанный, а также остатки перекисных хлорсодержащих дезинфицирующих средств полностью удаляются;
- загрязняющие вещества переходят после кавитационной обработки воды в аэрозольную форму или в нерастворимые вещества, выпадающие в осадок;
- устойчивый результат кавитационной обработки в гидродинамическом кавитаторе по очистке воды от примесей достигается через 10 минут работы установки.

Очистка воды в гидродинамическом кавитаторе показывает положительный результат по уменьшению концентрации загрязняющих химических веществ. Получаемый интегральный эффект кавитационных воздействий на соли, различные примеси в воде обусловлен физико-химическими явлениями, возникающими при кавитации. Это дополнительно подтверждает ранее известные результаты исследований положительного влияния кавитации на обрабатываемые среды, описанные, например, в [2–4 и др.].

**Табл. 5.**  
Результаты обработки воды от биологических загрязнений в кавитаторе

| Наименование показателя                         | 1 проба    | 2 проба    | 2 проба | 2 проба | 5 проба | Норма |
|---|------------|------------|---------|---------|---------|-------|
| <b>Без добавления хлорсодержащего препарата</b> |            |            |         |         |         |       |
| ОКБ   | 50         | 50         | 0       | 0       | 0       | 0     |
| ОМЧ   | Более 1000 | Более 1000 | 20      | 0       | 0       | 0     |
| БГКП  | 40         | 40         | 0       | 0       | 0       | 0     |
| <b>С добавлением хлорсодержащего препарата</b>  |            |            |         |         |         |       |
| ОКБ   | 50         | 0          | 0       | 0       | 0       | 0     |
| ОМЧ   | Более 1000 | 1...2      | 0       | 0       | 0       | 0     |
| БГКП  | 40         | 1          | 0       | 0       | 0       | 0     |

### Очистка воды от биологических загрязнений, находящихся в воде

На установке РБС1 были проведены опыты по очистке воды от биологических загрязнений, в т. ч. опасных для здоровья людей и животных. Пробы воды для анализа взяты из различных источников, в частности, из реки Волги, частного домовладения (г. Рыбинск). Результаты обработки проб оценивались с помощью микробиологических экспресс-систем «Петритест».

Промежутки времени для анализа проб на биологические загрязнения такие же, как при проведении химического анализа (см. пояснения к табл. 4).

В качестве показателей определялось содержание:

- ОКБ (обобщенные колиформные бактерии);
- ОМЧ (общее микробное число);
- БГКП (бактерии группы кишечной палочки).

В табл. 5 приведены результаты обработки воды из реки Волги, загрязненной биотой различного содержания, в гидродинамическом кавитаторе РБС1.

Из анализа результатов опыта, приведенных в табл. 5, и других аналогичных опытов на установке следуют важные выводы по биологической обработке воды, загрязненной микроорганизмами:

- через 20 минут работы установки отмечается устойчивый положительный результат, если в воду не добавляется хлорсодержащий препарат;
- через 10 минут работы установки при добавлении небольшого количества хлорсодержащих компонентов достигается устойчивый положительный результат.

Получаемый эффект кавитационных воздействий на микроорганизмы, находящиеся в воде, обусловлен физико-химическими явлениями, возникающими при кавитации. Оболочки бактериальных клеток и вирусы разрушаются под действием мощных ударных импульсов, возникающих при схлопывании паровых пузырьков в кавитирующей среде. Проведенные опыты подтверждают известные результаты исследований положительного влияния кавитации на среды, загрязненные микроорганизмами [2–4 и др.].

### Результаты акустических исследований кавитации на установке РБС2

Для установления взаимосвязей гидродинамических и акустических явлений при кавитации в гидродинамическом кавитаторе были проведены специальные исследования на установке РБС2. Проведены измерения вибрации на опорах реактора, воздушного шума на раз-

личных режимах работы установки. Выполнена скоростная видеосъемка потоков среды, подборка видеофайлов для каждой проведенной серии опытов на РБС2.

Для замера виброшумовых характеристик (ВШХ) на элементах установки РБС2 применялось соответствующее оборудование. На опорах кавитатора смонтированы акселерометры TLD352C34 для замера виброускорения (по два на каждой опоре под углом  $90^\circ$  относительно друг друга). Посредине видимой части прозрачной трубки реактора располагается микрофон типа 4188-A-021 для замера уровня возникающего воздушного звукового давления. На левом штуцере прозрачной трубки кавитатора в вертикальном направлении смонтирован акселерометр АП-19 для замера высокочастотной (ВЧ) вибрации.

Сигналы от датчиков виброускорения и звукового давления подключались к входам 6-канального блока LAN XI 3050-A-060, управление измерениями и запись сигналов на цифровой регистратор выполнялось персональным компьютером с установленной программой PulseLabshop.

В каждой серии опытов на каждой ступени по частоте вращения ротора насоса протоколно фиксировались основные режимные параметры работы установки, производилась фото- и видеofиксация течения среды в трубке реактора. В процессе проведения каждой серии опытов велась непрерывная регистрация сигналов ВШХ: сигналы от датчиков вибрации и звукового давления (воздушного шума, ВШ) с целью их последующей обработки записывались на жесткий диск управляющего ПК в режиме цифрового регистратора (магнитофона), запись сигналов ВШ производилась в частотном диапазоне до 51,2 кГц.

Опыты проведены при следующих изменениях режимов работы установки:

- серия опытов при различной степени открытия крана 15 (100, 25, 15, 5, 0) %;
- серия опытов при изменении частоты вращения ротора насоса (20, 30, 40, 50) Гц.

Обработка зарегистрированных в процессе испытаний сигналов выполнялась с помощью пакетов ПО Pulse Labshop, Pulse Reflex и ВК Connect. Первоначально для каждого из зарегистрированных сигналов строились сонограммы: 3-мерные диаграммы, где по оси абсцисс откладывается частота, по оси ординат – время, а амплитуда соответствующей частотной составляющей отмечается интенсивностью цвета в данной точке графика.

Сонограммы (в статье не приводятся) строились для полосы частот от 0 до 51,2 кГц с разрешением по частоте 8 Гц, время усреднения каждого спектра составляло 0,25 с.

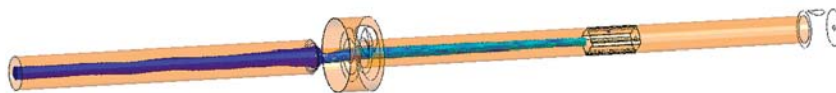


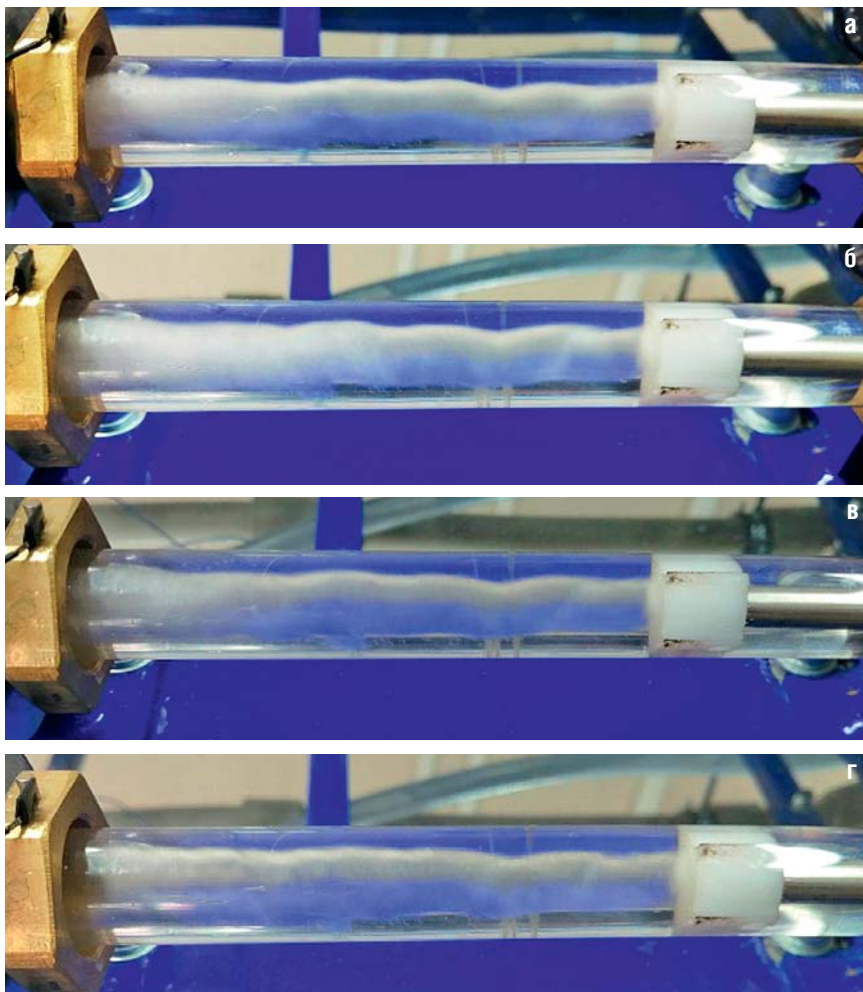
Рис. 7.  
Расчетная зона кавитации

По времени сонограммы охватывали весь процесс работы кавитатора в каждой из серии опытов, примерно 500 с. Из анализа сонограмм выявлено, что изменение режима (изменение частоты вращения ротора насоса) сопровождается изменением интенсивности спектральных составляющих всех сигналов.

На установке РБС2 были выполнены работы по видео- и фотофиксации течений среды в трубке реактора. На фото 8 приведены изображения течения среды в реакторе кавитатора на режиме открытого крана 15 на 100 % при изменениях частоты вращения ротора насоса. Контур вихревого шнура на периферии почти не изменяется при изменении частоты вращения ротора насоса от 50 Гц, вплоть до 20 Гц.

При дальнейшем закрытии крана, со степенью открытия 25, 15 и 5 %, размеры вихревого шнура изменяются, постепенно уменьшается диаметр шнура в сравнении со 100 % открытия. (Соответствующие фотографии в статье не приводятся.)

Фото 8.  
Кавитация в реакторе РБС2 при открытии крана 15 на 100 %.  
Частота вращения ротора насоса:  
а) 50 Гц; б) 40 Гц;  
в) 30 Гц; г) 20 Гц



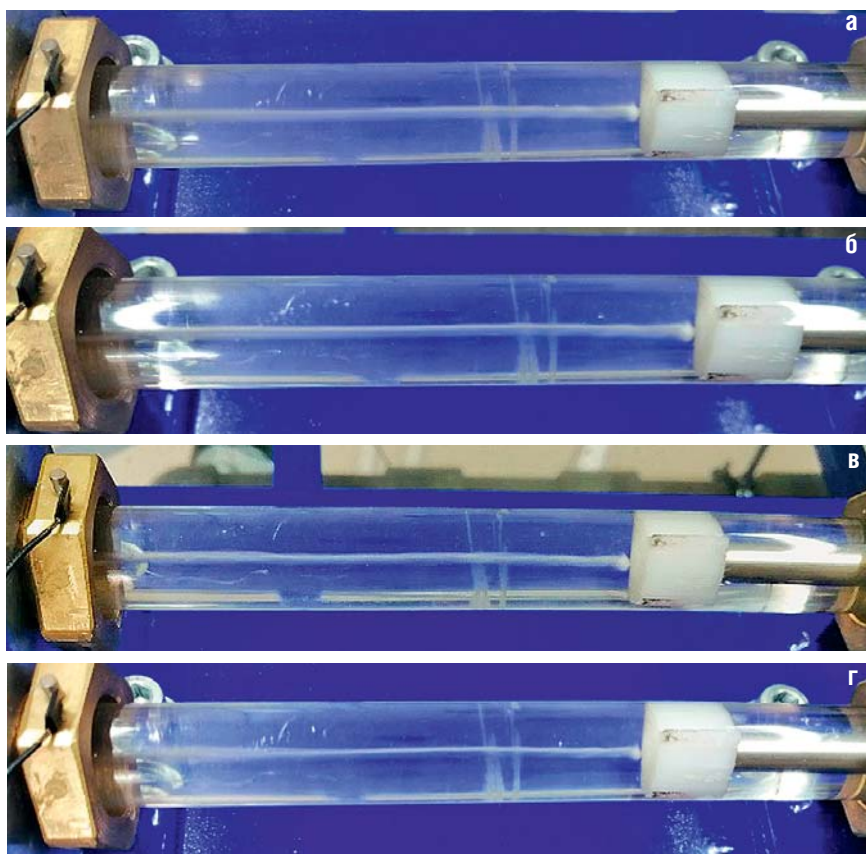
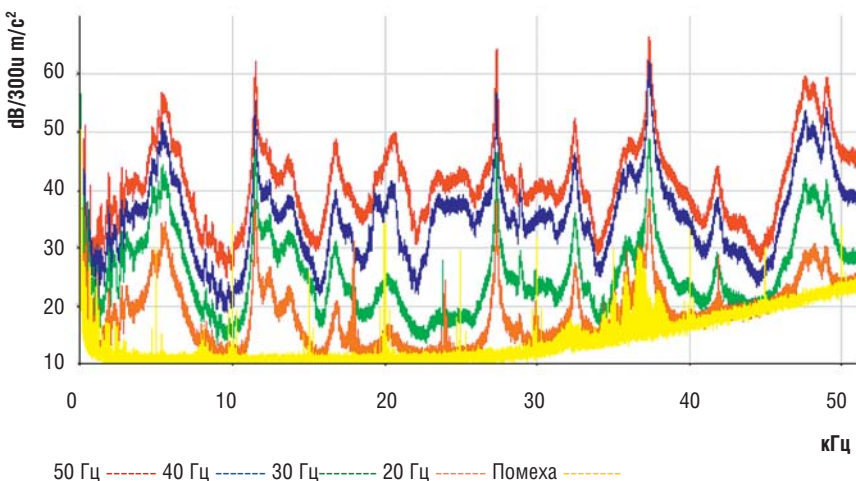


Фото 9.  
Кавитация в реакторе РБС2 при открытии крана 15 на 0%.  
Частота вращения ротора насоса:  
а) 50 Гц; б) 40 Гц;  
в) 30 Гц; г) 20 Гц

Рис. 8.  
Узкополосные спектры вибрации на различных частотах вращения ротора насоса.  
Кран 15 открыт на 100%

При полном закрытии крана (открытие 0%) получается самая маленькая толщина вихревого шнура, что показано на фото 9. Вихревой шнур – устойчивый и стабильный во времени на всех частотах вращения ротора насоса.

Установлено, что при степени открытия крана 15 в диапазоне 100...5% интенсивность спектральных составляющих ВШ не меняется, но уровень (амплитуда) акустического шума изменяется в зависимости от частоты вращения ротора насоса. При полностью закрытом кране (открытие 0%) в частотном диапазоне 0...15 кГц интенсивность составляющих спек-



тра ВШ существенно растет, а на частотах более 20 кГц заметно снижается. На рис. 8 показаны узкополосные спектры вибрации на корпусе опоры с завихрителем на различных частотах вращения ротора насоса при полностью открытом кране 15.

Режим работы кавитатора влияет на вибрацию опор примерно так же, как на ВШ и на ВЧ вибрацию, а именно: при степенях открытия крана от 5 до 100% интенсивность вибрации опор зависит только от частоты вращения ротора насоса – степень открытия крана слабо влияет на интенсивность спектральных составляющих вибрации. В целом, правая опора имеет более низкие уровни вибрации. При полном закрытии крана 15 уровни вибрации левой опоры кавитатора увеличились в частотном диапазоне от 0 до 3 кГц и несколько снизились в диапазоне частот от 3 кГц до 6,4 кГц (рис. 9). При этом вибрация правой опоры резко возросла во всем представленном диапазоне частот от 0 до 6,4 кГц.

Изменение уровней составляющих вибраций происходит только при изменении частоты вращения ротора насоса. Амплитуды вибраций уменьшаются при снижении частоты вращения ротора насоса. Причем амплитуды вибраций стабилизируются сразу же при переходе на заданный режим по оборотам насоса, и в дальнейшем на заданном режиме амплитуды и частоты вибраций не изменяются.

Акустические шумы и появление вибрации опор, трубы реактора, воздушный шум неразрывно связаны с кавитационными явлениями в кавитаторе.

Виброшумовые характеристики – воздушный шум и спектры вибраций – при работе кавитатора существенно реагируют на степень открытия крана 15 только в пределах от 5% до 0%. Снижение степени открытия крана, вплоть до 0%, приводит к возрастанию амплитуд составляющих воздушного шума в диапазоне частот 0...15 кГц, заметному снижению воздушного шума на частотах более 20 кГц. Увеличиваются амплитуды уровней вибраций левой опоры, где размещен завихритель, в диапазоне 0...3 кГц, при открытии крана в пределах 5...0%. При этих условиях резко возрастают уровни вибрации на правой опоре во всем частотном диапазоне 0...6,4 кГц.

В целом, максимальный уровень ВШХ по составляющим спектра высокочастотных вибраций может достигать 87...90 дБА. Это происходит при частоте вращения ротора насоса 50 Гц, при степени открытия крана 15 около 0...5%.



Визуальный анализ течения среды в РБС2 показывает, что на периферии парового вихревого шнура возникают четыре заметных изгиба (узлы пучности) его граничной поверхности. Количество основных резонансных пиков на узкополосных спектрах вибрации на всех указанных режимах – тоже четыре.

Высказана следующая гипотеза: в замкнутом пространстве данного реактора на РБС2 при конкретном установленном положении поршня в реакторе возникает стабильная стоячая волна, определяемая гидродинамическими факторами течения среды. Каждый «узел пучности» в стоячей волне вихревого жгута формирует свойственный именно этому «узлу» пик в узкополосном спектре вибраций и соответствующий акустический импульс энергии.

При изменениях режимов работы кавитатора геометрические размеры реактора не изменяются, поэтому в реакторе всегда образуется именно стоячая волна, характерная для заданных геометрических размеров его внутреннего пространства. Вихревое движение среды в стоячей волне обладает высокой стабильностью во времени, если не меняется режим работы установки.

Следует ожидать, что если осевое положение поршня внутри трубки реактора изменится, то условия для развития стоячей волны будут иными. Тогда узкополосный спектр вибрации в установке тоже изменится по частотам и амплитудам ВШХ.

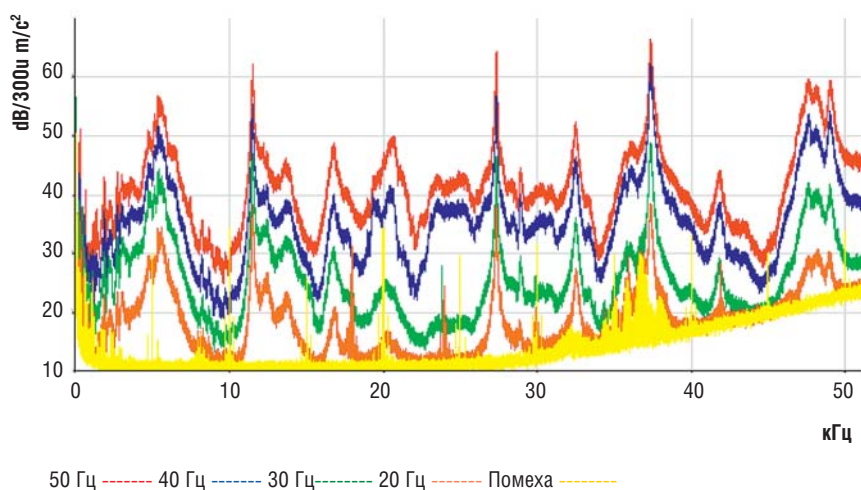
## Выводы

Гидродинамические кавитаторы способны оказывать существенное влияние на обрабатываемую жидкость, в которой находятся механические частицы, растворенные соли, вредные микроорганизмы. Получены экспериментальные и расчетные результаты в части распределения основных параметров в кавитирующей среде в кавитаторе рассмотренной конструкции и выбора оптимальных режимов работы установки.

Визуализация потоков среды в области реактора и парового коллектора позволила уточнить представления о развитии кавитации в гидродинамическом кавитаторе.

Расчетные модели структуры течения и выполненные расчеты потоков в гидродинамическом кавитаторе достаточно наглядно раскрывают особенности формирования жидкостной и паровой областей в реакторе и паровом коллекторе.

Результаты расчетов с достаточной точностью согласуются с экспериментальными данными. Показано существенное влияние



выбора граничных условий в кавитаторе на режимные характеристики его работы.

Опыты по кавитационным воздействиям на химические и биологические загрязнения, находящиеся в воде, показали, что гидродинамические кавитаторы надежно очищают воду от всевозможных примесей. Устройства такого рода могут применяться в самых различных отраслях техники и технологий в промышленных производствах, сельском хозяйстве, энергетике, медицине и т.д. для соответствующей обработки жидкостных сред.

Получены опытные данные по взаимосвязи гидродинамических и акустических явлений при кавитации в гидродинамическом кавитаторе. Опыты проведены в широком диапазоне изменения режимов работы кавитатора. Максимальный уровень ВШХ по составяющему спектра высокочастотных вибраций может достигать 87...90 дБА. **□**

## 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, «Медисонт», 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.

**Рис. 9.**  
Узкополосные спектры  
вибрации на различных  
частотах вращения ротора  
насоса.  
Кран 15 полностью закрыт

## Новый турбоагрегат производства КТЗ установлен на Губкинской ТЭЦ.

Турбина Р-12-3,4/0,1 мощностью 12 МВт, изготовленная Калужским турбинным заводом, запущена на Губкинской ТЭЦ. ПТУ оснащена системой ускоренного расхолаживания и быстросъемной многоразовой теплоизоляции. Современная система регулирования обеспечит высокий КПД агрегата.

Калужский завод поставил турбину со вспомогательным оборудованием, куда входит маслбак, теплообменное оборудование, внутритурбинные трубопроводы, комплект специального инструмента и приспособлений для монтажа, комплект запчастей для первого капитального ремонта.

Установка турбоагрегата Р-12-3,4/0,1 является частью программы перевооружения Губкинской ТЭЦ, направленной на повышение эффективности работы станции. Проект стартовал в 2019 г. в рамках соглашения между правительством Белгородской области и ПАО «Квадра». В ходе реализации программы энергетики уже выполнили реконструкцию теплофикационной установки и модернизацию паровой турбины № 1.

## Компрессорная станция «Петр Бекетов» получила архитектурную премию «Эйгэ».

В составе КС работают газоперекачивающие агрегаты производства КМПО. Компрессорная станция КС-2 «Петр Бекетов» (Олекминская) и объекты инфраструктуры расположены между КС-1 и КС-3 в Якутии – в Олекминском районе. Генеральный проектировщик – институт «ВНИПИгаздобыча».

Четыре газоперекачивающих агрегата ГПА-16 укомплектованы газотурбинными установками ГТУ-16П мощностью по 16 МВт, созданными на базе двигателей ПС-90 (разработчик «ОДК–Авиадвигатель», изготовитель «ОДК–ПМ»). Компрессорная станция построена в рамках расширения пропускной способности магистрального газопровода «Сила Сибири». Срок эксплуатации объекта – 30 лет.

Также на территории компрессорной станции расположен производственно-энергетический блок, где находятся рабочие места персонала станции и пункт управления агрегатами, лабораторный корпус.

При строительстве компрессорной станции использовалось отечественное оборудование. При возведении объектов КС-2 все здания возведены на свайных фундаментах и снабжены устройствами для стабилизации мерзлого грунта.



## Введены в эксплуатацию две компрессорные установки на морской нефтедобывающей платформе в Камеруне.

В 2022 году предприятие «ИНГК» поставило две полнокомплектные поршневые компрессорные установки ПКУ-020 мощностью по 1,4 МВт для французской компании Repenco Rep S.A.R.L. в Республику Камерун.

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» проведены работы по сборке рамы на морской платформе, установке компрессора, цилиндров и двигателя; собрана масляная магистраль. Службой внешних работ компании выполнены пусконаладочные работы, и в настоящее время обе компрессорные установки введены в эксплуатацию.

Для компании «ИНГК» это вторая поставка оборудования на Африканский континент. В 2019 г. по заказу компании Repenco Rep S.A.R.L. предприятие изготовило и поставило винтовую компрессорную установку мощностью 0,45 МВт в Республику Конго.

## Увеличена мощность ГПС на заводе стройматериалов в Ярославле.

Компания «Газовые машины» ввела второй энергоблок мощностью 500 кВт для увеличения мощности действующего оборудования на ярославском заводе «Эко».

Газопоршневая установка создана на базе двигателя E3262 LE 202 (MAN) мощностью 500 кВт. Энергоблоки работают в базовом режиме, обеспечивая предприятие электрической энергией. Оборудование смонтировано в помещении и имеет открытое исполнение. Установлена система сухих градирен с двойным рядом вентиляторов производства группы компаний LU-VE, а также дымоход системы Schiedel.

Ярославский завод «Эко» основан в 2004 г. Предприятие оснащено современными производственными линиями.

### Энергоблок ГТЭА 200 Т0,4 производства ПАО «Калужский двигатель» установлен в котельной г. Чусовой.

Реализован договор между администрацией МО «Чусовской городской округ», МУП «Гортеплоэнерго» г. Чусовой Пермского края и ПАО «Калужский двигатель» на приобретение и установку электроагрегата ГТЭА 200 Т0,4.

Работы проводятся в рамках инвестиционной программы МУП «Гортеплоэнерго» по внедрению когенерационной установки в котельной №6, с проведением экспертизы промышленной безопасности.

Газотурбинный энергоблок электрической мощностью 200 кВт и тепловой 338 кВт предназначен для электроснабжения котельной и обеспечит перевод ее в мини-ТЭС.

### ГК «Ролт» ввела в эксплуатацию мини-ТЭС для предприятия в Ленинградской области.

ООО «Ролт Рент» (входит в ГК «Ролт») ввело в эксплуатацию ГПУ контейнерного исполнения ROLT PSG 1000 для предприятия по изготовлению бумажной упаковки в Ленинградской области.

Блок-контейнерная электростанция создана на базе ГПУ JMS 320 электрической мощностью 1067 кВт. Режим работы станции позволяет работать как параллельно с сетью, так и в автономном режиме.

Проект выполнен на условиях «под ключ» без вложений со стороны заказчика. Согласно условиям энергосервисного контракта предприятие экономит 20 % от стоимости электроэнергии у гарантирующего поставщика. Эксплуатацию и обслуживание станции (включая все расходные материалы, капитальные ремонты и затраты на обслуживающий персонал) обеспечивает ООО «Ролт Рент».



### АО «Невский завод» и АО «РОТЕК» подписали договор о сотрудничестве.

Компания «РОТЕК» в 2023–24 гг. обеспечит поставки уплотнительных обоев и диафрагм для первой и второй ступени турбины низкого давления ГТУ Т32. Комплектующие будут изготовлены с применением сотовых сварных материалов разработки АО «РОТЕК». Договор заключен в рамках производства газотурбинной установки Т32 (входит в состав ГПА-32 «Ладога»), выпускаемой на Невском заводе.

На Невском заводе (группа «Газпром энергохолдинг индустриальные активы») заканчивается освоение производства наиболее технологичных и наукоемких узлов и деталей турбины Т32. Работы выполняются на собственных производственных мощностях и в кооперации с другими российскими предприятиями.

*«РОТЭК» – один из семи мировых производителей сотовых материалов из жаропрочных сплавов и изделий из них. Продукция компании широко используется в газотурбинных двигателях, индустриальных газовых и паровых турбинах и компрессорах.*



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. Бурува. – 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

# Конструктивная схема воздухоочистительных устройств компании «ИНГК-Промтех»

В. Б. Ильин, С. И. Бурдюгов (д.т.н.) – ООО «ИНГК-Промтех»

**In brief**

**The design scheme of the intake air filtering and conditioning units of the INGK-Promtech.**

To purify the cyclic air entering the axial compressor of a gas turbine plant air conditioning units of various designs are used. Depending on the climate conditions in which the plant is operated, STO Gazprom 2-2.1-226-2008 provides air conditioning units of three main types – inertial, filtering and inertial filtering. For units of the northern version the standard suggests using air conditioning units with fine filters as the second stage; for temperate and southern latitudes – accumulative air conditioning units based on compact cassettes (except deserts and semi-deserts).

Для очистки циклового воздуха, поступающего в осевой компрессор газотурбинной установки, применяются воздухоочистительные устройства (ВОУ) различной конструкции. В зависимости от особенностей климата, в которых эксплуатируется установка, STO Газпром 2-2.1-226-2008 предусматривает ВОУ трех основных типов – инерционного, фильтрующего и инерционно-фильтрующего.

Для агрегатов северного исполнения стандарт предлагает применять ВОУ мультициклонного типа с фильтрами тонкой очистки в качестве второй ступени; для умеренных и южных широт – ВОУ накопительного типа на основе компактных кассет (кроме пустынь и полупустынь). Нужно учитывать также, что дополнительные ограничения накладываются разработчиками приводов.

Так, например, для привода НК-14 величина предварительной и аварийной уставок по перепаду между полным давлением на входе в лемнискату двигателя и атмосферным давлением составляет 60 и 90 мм вод. ст. соответственно. Учитывая сопротивление циклонной и тонкой ступеней очистки, а также

остальных участков воздухозаборного тракта, при выходе агрегата на режим работы, близкий к номинальному в начальный период эксплуатации с незагрязненными фильтрами тонкой очистки, полное сопротивление на срезе лемнискаты было бы близким к предварительной уставке. А это ставит под сомнение возможность применения ВОУ указанного типа с данным двигателем.

С целью оптимизации конструкции и сокращения сроков разработки и изготовления изделий в ООО «ИНГК-Промтех» принята концепция модульного построения ВОУ. В мировой и отечественной практике данный способ много лет применяется в энергетических установках большой мощности, где в зависимости от климатических условий используются различные наборы устройств подготовки воздуха, такие как защитные ролетты, теплообменники, капле- и влагоуловители, сетки от насекомых и птиц и т.д.

За основу воздухоочистительного устройства компанией «ИНГК-Промтех» принят корпус ВОУ, расположенный на проставке или шумоглушителе (рис. 1).

С двух сторон к корпусу примыкают секции, которые поставляются отдельными грузовыми местами и собираются вместе с корпусом и проставкой на заводе-изготовителе в рамках контрольной сборки (рис. 2).

В зависимости от климатического исполнения, требований заказчика и ограничений, связанных с двигателем, состав секций меняется, но конструкции корпуса и проставки, которые являются унифицированными узлами, остаются неизменными. Для южных регионов и средней полосы секции комплектуются площадками обслуживания и системой раздачи горячего воздуха противообледенительной системы (ПОС). По желанию заказчика могут быть добавлены защитные сетки от насекомых и птиц. При этом в корпус устанавливаются

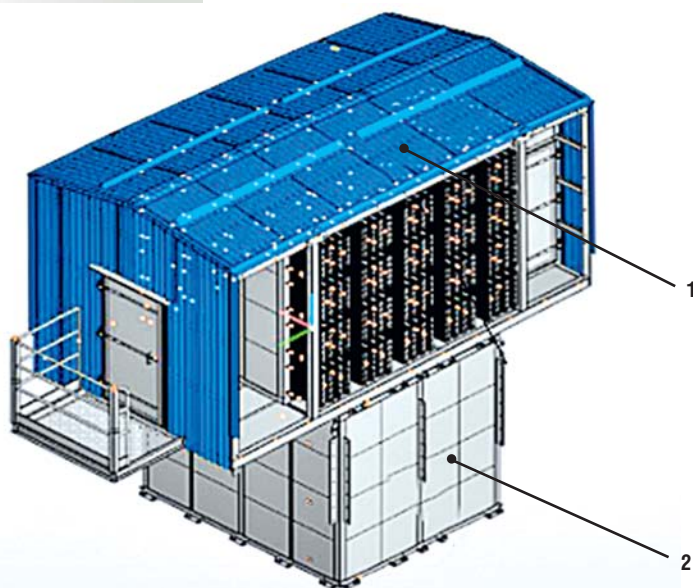


Рис. 1. Модульная конструкция ВОУ:  
1- корпус ВОУ; 2- проставка или шумоглушитель

компакт-кассеты, включающие в себя влагоотделители, фильтры грубой и тонкой очистки, собранные в один узел. Присоединительные размеры в корпусе ВОУ выполнены с учетом установки фильтров различных поставщиков, присутствующих на российском рынке.

В северном исполнении ВОУ предлагается два варианта наполнения секций:

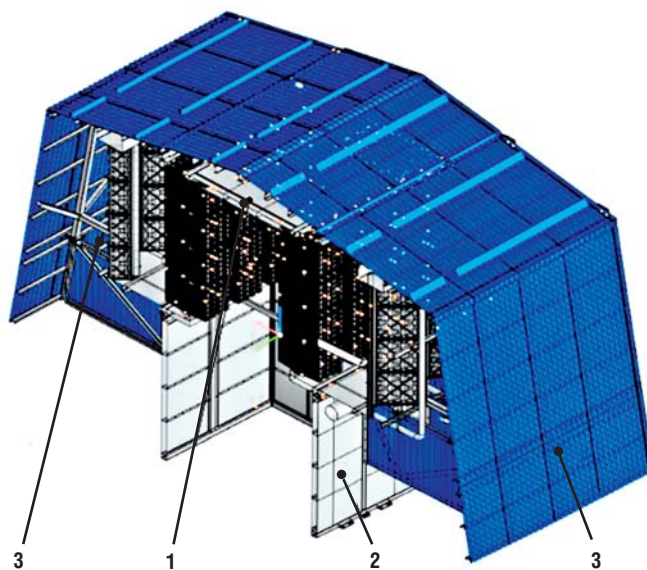
- вариант с мультициклонами, встроенными в конструкцию секций, площадками и трубопроводами ПОС. При этом в корпус устанавливаются только фильтры тонкой очистки;
- во втором варианте (рис. 3) в состав секции входят не только площадки обслуживания и трубопроводы ПОС, но и отдельная ступень влагоотделения, которая находится от фильтров грубой и тонкой очистки на расстоянии, достаточном для прохода и обслуживания ступеней влагоотделения и фильтров грубой очистки.

При этом площадь влагоотделителей, которые первыми (не учитывая защитный козырек) по потоку встречают снеговую нагрузку, увеличена вдвое по сравнению с фильтрами грубой и тонкой очистки. Это позволяет повысить надежность работы ВОУ в условиях повышенной снеговой нагрузки или инееобразования без увеличения количества фильтров грубой и тонкой очистки и, соответственно, без увеличения габаритов и стоимости металлоконструкции ВОУ.

Для данного варианта предусмотрены и другие мероприятия, направленные на повышение устойчивости работы ВОУ в экстремальных условиях:

- увеличена высота «юбки» ВОУ, для того чтобы удлинить путь прохождения снеговых частиц от среза защитного козырька до поверхности влагоотделителей;
- байпасный клапан максимально поднят и установлен в самой верхней части корпуса ВОУ;
- установлены преградители, препятствующие выдуванию тепла ПОС из-под козырька при боковом ветре;
- в стыках наружных листов с каркасом защитного козырька установлены профильные уплотнения, исключающие подсос воздуха в зазоры.

Отдельно следует сказать о распределении горячего воздуха противообледенительной системы, отбираемого от двигателя. По результатам численного моделирования было выявлено, что под козырьками ВОУ имеются зоны вихреобразования, расположенные вблизи образующих козырька. При классической схеме раздачи, когда сечение на срезе ОЗК полностью перекрыто коллекторами раздачи горячего воздуха, горячий воздух ПОС



частично попадает в данные зоны и циркулирует внутри стоячих вихрей, отдавая свое тепло внешней стенке козырька и далее в атмосферу. Чтобы избежать данного явления, схема раздачи воздуха ПОС оптимизирована таким образом, чтобы тепло не попадало в вихревые зоны, а полностью распределялось по поверхности влагоотделителей.

После прохождения влагоотделителей потери тепла циклового воздуха также минимизированы – это выполнено за счет применения теплоизоляции на остальном протяжении воздухозаборного тракта до входа в двигатель.

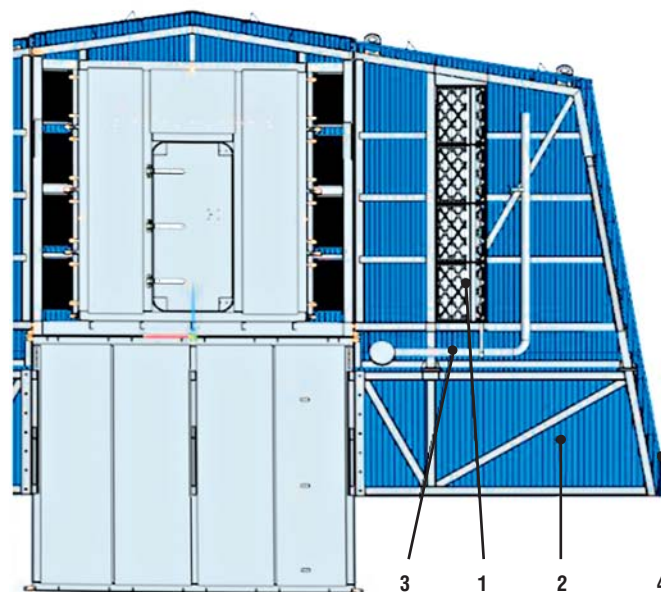
По мере расширения географии объектов, компания «ИНГК–Промтех» планирует в будущих проектах, в соответствии с вышеупомянутой концепцией, устанавливать в съемных секциях наборы как существующих, так и перспективных систем, например, таких как фильтры с импульсной очисткой. **Д**

**Рис. 2.**  
**Модульная конструкция ВОУ в сборке:**

- 1- корпус ВОУ;
- 2- проставка или шумоглушитель;
- 3- секции ВОУ

**Рис. 3.**  
**ВОУ в северном исполнении:**

- 1- вынесенная ступень влагоотделения;
- 2- «юбка» ВОУ с преградителями или шумоглушитель;
- 3- раздаточные коллекторы ПОС;
- 4- образующая козырька



### ГПА производства АО «КМПО» установлены на Уренгойском месторождении.

Предприятие поставило для АО «Арктикгаз» два газоперекачивающих агрегата. Они смонтированы на дожимной компрессорной станции, строящейся в ходе обустройства Ачимовских отложений на Самбургском лицензионном участке Уренгойского месторождения. Разработчик проекта – «ЮжНИИгазпрогаз».

Агрегаты укомплектованы газотурбинными двигателями НК-16-18СТ производства КМПО. Помимо разработки технического проекта, изготовления и поставки оборудования, специалисты казанского объединения выполнили шефмонтажные и пусконаладочные работы.

Самбургский лицензионный участок Уренгойского НГКМ, где ведутся работы по освоению Ачимовских отложений, расположен в Пуровском районе ЯНАО. Лицензией на освоение его недр владеет АО «Арктикгаз». В 2018 г. компании «Новатэк» и «Газпром нефть» довели до паритетного владения свои доли участия в АО «Арктикгаз».

### ООО «ЦРМЗ» и ПАО «Тюменские моторостроители» развивают сотрудничество в рамках межзаводской кооперации.

Центральный ремонтно-механический завод и предприятие «Тюменские моторостроители» (входят в группу «Газпром энергохолдинг индустриальные активы») подписали договор о долгосрочном сотрудничестве. ЦРМЗ в 2023–2025 гг. обеспечит поставки крепежной продукции для ремонта газотурбинных конвертированных двигателей судового типа – в частности, ГТД-59, ГТД-90. В номенклатуре поставки более 50 видов продукции.

В настоящее время на базе ЦРМЗ проходит модернизация производства с целью освоения широкой номенклатуры метизной продукции, предназначенной для изготовления и ремонтов ГТД различного типа и назначения. Она должна обеспечить потребности предприятий, входящих в группу «Газпром энергохолдинг индустриальные активы».

В рамках программы в 2022 г. был запущен пилотный проект по изготовлению метизов для ООО «ГЭХ Сервис газовых турбин». Также на стадии освоения и разработки технологии производства находится широкая номенклатура крепежной продукции для других предприятий энергохолдинга: Невского завода, «Уралтурбо», «Газэнергосервис».



### ООО «ОДК Инжиниринг» поставит энергоблоки ГТЭС-25ПА для Якутской ГРЭС-2.

ПАО «Русгидро» заключило контракт с ООО «ОДК Инжиниринг» на поставку двух ЭГЭС-25ПА мощностью по 25 МВт для Якутской ГРЭС-2. Газотурбинные энергоблоки разработки и производства конструкторского бюро «ОДК–Авиадвигатель» изготовят в г. Перми.

Предприятие приступило к изготовлению установок ЭГЭС-25ПА, их планируется ввести в эксплуатацию в 2025 г. Энергоблоки повысят устойчивость энергосистемы района, так как основное оборудование Якутской ГРЭС-1 выработало назначенный ресурс и подлежит замене.

Для сокращения сроков монтажа агрегаты поступят на ГРЭС-2 в виде блоков повышенной заводской готовности. ЭГЭС-25ПА контейнерного исполнения будут работать на открытой площадке в простом цикле, в базовом режиме. Топливом является природный газ. Специалисты компаний «ОДК–Авиадвигатель» и «ОДК Инжиниринг» выполнят на станции строительно-монтажные и пусконаладочные работы.

Энергоблоки способны выдерживать сейсмическое воздействие по шкале MSK-64 интенсивностью до 9 баллов без специальных мероприятий.

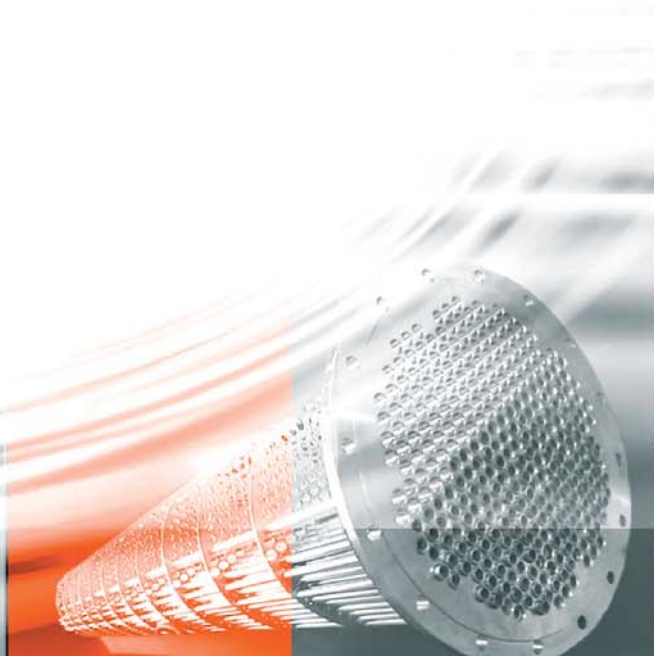
ЭГЭС-25 эксплуатируются на объектах заказчиков с 2015 г. На сегодня парк насчитывает 15 агрегатов суммарной мощностью 375 МВт, его суммарная наработка превысила 800 тыс. часов. В настоящее время АО «ОДК–Авиадвигатель» изготавливает две установки ЭГЭС-25ПА мощностью по 25 МВт для Южно-Сахалинской ТЭЦ-1.

### UEC Engineering LLC will supply GTPP-25PA power plants for Yakutskaya GRES-2.

Rushydro PJSC has signed a contract with UEC Engineering LLC for the supply of two EGES-25PA gas turbine power plants each rated at 25 MW for Yakutsk GRES-2. Gas turbine power plants developed by UEC-Aviadvigatel design bureau will be manufactured in Perm. The company has started manufacturing of EGES-25PA plants, they are planned to be put into operation in 2025. The power plants will increase the stability of the district's power system, since the main equipment of the Yakutsk GRES-1 has run out the designated resource and is subject to replacement. To shorten the installation time, the plants will be delivered to GRES-2 in the form of factory-ready equipment. EGES-25PA of container design will operate in an open area in a simple cycle, in base mode.

**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)

## На производственном предприятии в Южной Осетии начала работать когенерационная установка.

Компания «Тех-Крейт» ввела в эксплуатацию мини-ТЭС для предприятия по производству базальтовых материалов. В состав станции вошли три газопоршневые установки ТК-150К, созданные на базе двигателя КАМАЗ 820.62-300 электрической мощностью по 150 кВт и тепловой по 160 кВт. Режим работы станции – параллельно с сетью.

Агрегаты оснащены цифровой системой управления на базе контроллера ComAr. АСУ ТП распределяет и регулирует нагрузку, обеспечивает автономность, безопасность, контроль параметров мини-ТЭС с функциями удаленного мониторинга и диспетчеризации.



## Представлены системы впрыска для альтернативных видов топлива компании Woodward.

Компания Woodward в сотрудничестве с Woodward L'Orange GmbH разработала комплексные системы впрыска для топлива, получаемого с использованием электроэнергии от СЭС и ВЭС, – водорода, метанола и аммиака. Новые системы впрыска могут использоваться на двигателях в диапазоне мощности 100...1000 кВт/цилиндр.

Системы впрыска высокого давления (HPDF) для метанола и аммиака предназначены для двигателей с высокой удельной мощностью и высоким КПД. Они предусматривают возможность использования дизельного топлива в качестве резервного.

Системы непосредственного впрыска топлива с электромагнитным приводом используются для более простых и модернизируемых систем. Для метанола разрабатывается семейство систем впрыска топлива через коллектор PFI (канал впрыска топлива), что обеспечивает оптимальное распыление топлива для качественного смешивания и минимизации смачивания стенок камеры сгорания. Также разрабатываются форсунки либо для непосредственного впрыска водорода в камеру сгорания, либо для подачи топлива в коллектор (PFI).

Для газовых двигателей, модернизированных для работы на водороде и аммиаке, впускные клапаны SOGAV оптимизированы таким образом, чтобы противостоять агрессивному воздействию газов, включая их плохую смазывающую способность, коррозионные свойства и водородное охрупчивание. Клапаны впуска газа с электромагнитным приводом SOGAV (Solenoid-Operated Gas Admission Valves) в настоящее время используются для надежного и точного регулирования расхода газового топлива в четырехтактных двигателях с турбонаддувом, работающих на природном газе, или в двухтопливных двигателях, применяемых в энергетике, судостроении, горнодобыче, на ж.-д. транспорте.



## GE Power поставит газотурбинные установки в Ирландию.

Контракт на поставку оборудования заключен с Советом по электроснабжению Ирландии. Электростанция будет построена в г. Дублин на площадке существующей ТЭЦ. В состав станции мощностью 200 МВт войдут 6 энергоблоков LM2500XPRESS. По условиям контракта GE в сотрудничестве с компанией Mutilineos (Швейцария) выполнит поставку оборудования, проведет пусконаладочные и строительные-монтажные работы. Предусмотрено техническое обслуживание и ремонт энергоблоков в процессе эксплуатации.

На первом этапе ГТЭС будет работать на природном газе, в перспективе возможен перевод энергоблоков на топливную смесь природного газа и водорода. С этой целью ГТУ оснащены модернизированными сухими низкоэмиссионными камерами сгорания DLE, обеспечивающими работу на топливной смеси с содержанием водорода до 50 %.

Энергоблоки предназначены для резервирования мощности в энергосистеме региона и будут запускаться в периоды пиковых потребностей в электроэнергии, а также использоваться для поддержания баланса в энергосистеме с большим количеством ВЭС. Выбор оборудования ГТЭС был обусловлен быстрым пуском и выходом на полную мощность энергоблоков LM2500XPRESS. Ввод станции в коммерческую эксплуатацию планируется осенью текущего года.

Энергоблок создан на основе конвертированного авиационного газотурбинного двигателя GE LM2500. Энергоблоки будут изготовлены на предприятии GE Power в г. Верешегихазе (Венгрия) и поставлены заказчику в полной заводской готовности после проведения приемочных испытаний. Модульная конструкция агрегатов позволяет осуществить их ввод в эксплуатацию в течение двух недель после поставки на площадку.

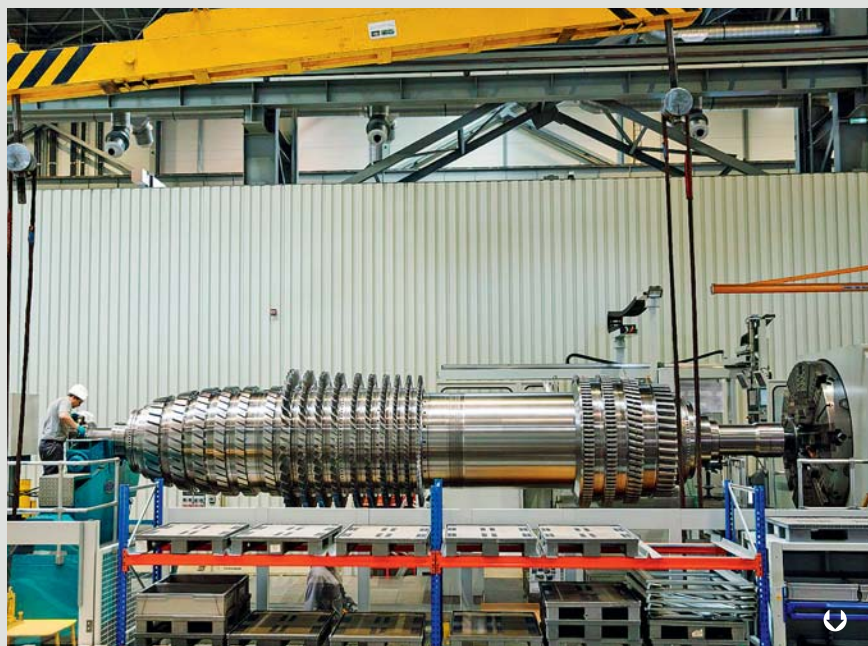


## На Южно Сьюльдюкарском нефтяном месторождении введена ГПЭС.

Компания «НГ-Энерго» и ввела в эксплуатацию первую партию модульных газопоршневых установок Энерго-П1160/10,5КН30 мощностью по 1160 кВт, напряжением 10,5 кВ. Энергоблоки созданы на базе двигателей QSK60-G5 производства Cummins.

Электростанция предназначена для обеспечения энергией потребителей Южно-Сьюльдюкарского нефтяного месторождения. Добычу на нефтегазовом месторождении ведет ООО «СьюльдюкарНефтеГаз».

Компания «СьюльдюкарНефтеГаз» ведет разведку и добычу углеводородного сырья в пределах Южно-Сьюльдюкарского участка недр, расположенного на территории Мирнинского района Якутии, г. Мирный.



## Предприятие «Энджен» выполнило капитальный ремонт газопоршневых установок в агрокомплексе «Чурилово».

ООО «Энджен» выступило подрядчиком компании «Сервис Юнит», оказывающей техническую поддержку оборудования ТЭС. В рамках технического обслуживания агрегатов Е60 был произведен капитальный ремонт двух установок.

В агрокомплексе «Чурилово» в Челябинске на территории 25 га выращивают овощи и листовую зелень. Электроснабжение предприятия обеспечивают две газопоршневые установки TCG 2032 V16 производства MWM номинальной электрической мощностью по 4 300 кВт.

Энергоблоки эксплуатируются на протяжении шести лет. Нароботка одной ГПУ перед капремонтом составляла 42 тыс. моточасов, второй – 43 тыс. моточасов.

В ходе проведения работ специалисты компании «Энджен» заменили или восстановили все нагруженные узлы и агрегаты, а так же основное навесное оборудование в объеме технического обслуживания Е60. В частности, был проведен полный цикл восстановительного ремонта турбокомпрессоров, головок и плоскостей примыкания блока цилиндра газопоршневого двигателя, а также рубашек охлаждения цилиндров.

Работы были проведены в ремонтном цехе «Энджен» в Челябинской области. Восстановление турбокомпрессоров, рубашек охлаждения цилиндров позволило сэкономить до 60 % затрат на приобретение новых комплектующих.

## ООО «Современные технологии газовых турбин» признано лучшим среди производителей газовых турбин для ТЭК.

По итогам опроса крупнейших российских компаний энергетической отрасли лучшим среди поставщиков газовых турбин для ТЭК признано предприятие «Современные технологии газовых турбин».

Агентство «ТЭК-Рейтинг» проводит ежегодные опросы генерирующих и сетевых компаний, которые оценивают изготовителей энергетического оборудования. Основная задача рейтинга – выявить лучших производителей продукции и поставщиков услуг путем прямого опроса потребителей. Это способствует развитию конкурентности рынка оборудования для ТЭК, повышению его прозрачности и открытости, обмену информацией о поставщиках между компаниями топливно-энергетического комплекса страны.

Отличительная особенность рейтингов – прямой опрос потребителей. Итог подводится на основе официальных ответов крупнейших компаний-заказчиков, без участия каких-либо специальных жюри. Все это сводит к минимуму роль субъективного фактора в оценке поставщиков.

Рейтинг стимулирует производителей оборудования и поставщиков услуг к повышению качества, укрепляет их взаимосвязь с потребителями. Информирование о лучших компаниях-поставщиках и очищение рынка от недобросовестных участников, не соответствующих ожиданиям заказчиков, – важные задачи агентства «ТЭК-Рейтинг».

### **Modern gas turbine technologies LLC is recognized as the best among manufacturers of gas turbines for the fuel and energy sector.**

According to the results of a survey of the largest Russian companies in the energy industry, the enterprise Modern gas turbine technologies LLC was recognized as the best among suppliers of gas turbines for the fuel and energy sector. The TEK-Rating Agency conducts annual surveys of generating and grid companies that evaluate manufacturers of energy equipment. The main objective of the rating is to identify the best manufacturers of products and service providers through a direct survey of consumers. This contributes to the development of the competitiveness of the fuel and energy equipment market, increasing its transparency and openness, and the exchange of information about suppliers between fuel and energy companies.

# Локомотив Тюмени

**Д. Е. Ефимова – ПАО «Тюменские моторостроители»**

**К. В. Симутин – ООО «Газпром энергохолдинг индустриальные активы»**

Публичное акционерное общество «Тюменские моторостроители» известно своими производственными достижениями далеко за пределами региона и даже страны. Вот уже 60 лет предприятие ремонтирует и производит важнейшую продукцию, без которой сегодня трудно представить надежную работу Единой системы газоснабжения России.

## In brief

### Locomotive of Tyumen.

*Tyumen Motor Builders public joint stock company is known for its production achievements far beyond the region and even the country.*

*For 60 years the company has been repairing and producing the most important products, without which it is difficult to imagine reliable operation of the Unified Gas Supply System in Russia today. Tyumen Motor Builders PJSC is the largest machine-building enterprise in the Tyumen Region specializing in the overhaul and maintenance of gas turbine engines and gas pumping units operated at Gazprom compressor stations. The company was founded on April 2, 1963. Its creation is associated with the beginning of the development of the oil and gas complex in Western Siberia.*

**П**убличное акционерное общество «Тюменские моторостроители» (ПАО «ТМ») – крупнейшее машиностроительное предприятие Тюменской области, специализирующееся на капитальном ремонте и техническом обслуживании газотурбинных двигателей и газоперекачивающих агрегатов, эксплуатируемых на компрессорных станциях ПАО «Газпром».

Предприятие было основано 2 апреля 1963 г. Его создание связано с началом развития нефтегазового комплекса в Западной Сибири. В те годы в регионе были открыты первые промышленные запасы нефти, началось освоение нефтяных и газовых месторождений, а на «Тюменском моторном заводе», как он назывался ранее, стали производить сложнейшую и важнейшую для страны продукцию – авиационные и ракетные двигатели, которые применялись, в том числе, на объектах газотранспортной системы.

История завода началась с освоения двигателя РУ19-300 и организации производства компрессорных рабочих лопаток для ремонта двигателей, которые устанавливались на самолеты Як-25. Ежегодно специалисты предприятия выпускали от 30 до 40 тысяч таких лопаток. Затем на заводе изготавливали двигатели для самолетов Як-38 и Як-38М,

форсажные трубы и камеры сгорания для самолетов Су-24, форсажные трубы для современных самолетов МиГ-29. Производили ракетные двигатели для противозенитных, противоракетных, противокорабельных комплексов и крылатых ракет, двигатели РУ19А-300 для самолетов Ан-24, Ан-26, Ан-30.

Строительство завода стало серьезным толчком для развития всей области, а особенно для столицы региона – Тюмени. С появлением предприятия начался бурный рост жилищного строительства. Благодаря заводу в городе появилось более 50 многоэтажных домов и семь общежитий общей площадью почти полмиллиона квадратных метров. Жильем обеспечивались не только сотрудники завода, но и врачи, учителя, пенсионеры и многие другие горожане, годами ожидавшие своей очереди на квартиру. Усилиями коллектива моторостроителей в городе была пущена первая троллейбусная линия, открыты детские сады, яхт-клуб, шахматный клуб и многое другое. Но главное – благодаря заводу тысячи жителей Тюмени получили рабочие места.

В конце 1990-х годов началось тесное сотрудничество между предприятием «ТМ» и компанией «Газпром», в рамках которого тюменские специалисты осваивали капитальный ремонт, а также обеспечивали техническое обслуживание судовых двигателей. Успешное освоение заводом новых компетенций позволило в 2003 году подписать соглашение о долгосрочном сотрудничестве с ПАО «Газпром». Соглашением, в том числе, была утверждена программа развития производственных мощностей завода, направленная на наращивание объема ремонтов, выпуск запасных частей и расширение сервисных возможностей.

С декабря 2010 года завод «Тюменские моторостроители» становится региональной базой по ремонту газотурбинных двигателей, газоперекачивающих агрегатов и производству запасных частей к ним. Существенным итогом работы тех лет стало освоение ремонта газотурбинных двигателей различного типа



ПАО «Тюменские моторостроители»

для газоперекачивающих агрегатов ГПА-10, ГПА-16, обеспечивающих газотранспортную систему нашей страны. Всего с начала освоения данного направления заводом «ТМ» отремонтировано и поставлено предприятиям ПАО «Газпром» более 900 двигателей и газоперекачивающих агрегатов.

В 2021 году ПАО «Тюменские моторостроители» вошло в состав промышленной группы «Газпром энергохолдинг индустриальные активы», что дало новый мощный толчок развитию предприятия. Сегодня на заводе реализуется масштабная инвестиционная программа, направленная на модернизацию инфраструктуры и основных производственных мощностей. Программа направлена прежде всего на увеличение количества восстановительных и капитальных ремонтов, производимых предприятием. Если на текущий момент производственные мощности предприятия обеспечивают ремонт более 65 газотурбинных двигателей ежегодно, то уже к 2027 году «Тюменские моторостроители» должны преодолеть планку 90 ремонтов в год, что позволит не только полностью закрыть потребности в ремонте оборудования ПАО «Газпром», но и начать ремонтировать агрегаты внешних заказчиков.

Еще одним важным направлением в развитии предприятия стала разработка собственного газотурбинного двигателя мощностью 16 МВт. Сейчас активно ведется подготовка производства и разработка конструкторской документации на новый двигатель. Важно отметить, что эта работа ведется в тесной кооперации с предприятиями, входящими в группу «Газпром энергохолдинг индустриальные активы» и являющимися лидерами в области производства газоперекачивающих агрегатов, а также их узлов и компонентов. Это позволяет с уверенностью говорить о выходе на серийное производство нового газотурбинного двигателя в самой ближайшей перспективе.

За 60 лет, прошедших с момента основания, завод «Тюменские моторостроители» стал центром передовых технологий и высокой культуры производства в нефтегазовом регионе, а также кузницей инженерных кадров и высококвалифицированных рабочих. В активе предприятия – кандидаты наук, аспиранты и молодые ученые, победители различных городских и всероссийских отраслевых конкурсов. Уже не одно десятилетие ПАО «ТМ» входит в число лучших и наиболее эффективных предприятий в регионе, получая различные награды: «Лучшее предприятие по инновационной деятельности», «Лучшее предприятие



Тюменской области» в номинации «За наивысшее достижение в области экологии и управления качеством», премии ПАО «Газпром» и др. Продукция завода отмечена знаками «100 лучших товаров России», «Европейское качество», «Лучшие товары и услуги Тюменской области», «Тюменская марка». Сотрудники предприятия ежегодно становятся лауреатами конкурса профессионального мастерства «Лучший по профессии».

Сегодня завод «Тюменские моторостроители» – это безупречная деловая репутация, современное высокоэффективное производство, где большое внимание уделяется процессам модернизации и технологического переоснащения мощностей завода. Здесь трудится более 1900 высококвалифицированных специалистов и рабочих разных профессий. Это слаженный, творческий, работоспособный коллектив, проверенный делом и временем, с уникальным производственным опытом и большими планами на будущее. **TD**

**↻** Балансировка ротора турбины

**↻** Изготовление высокотехнологичных деталей осуществляется на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах



## Компания «НГ-Энерго» построила под ключ ГПУ-ТЭС в Чебоксарах.

Электростанция обеспечивает потребителей приборостроительного предприятия «НПК «Элара» электрической и тепловой энергией. Компания «НГ-Энерго» выполнила комплекс проектных работ для строительства станции, разработала комплект конструкторской документации для изготовления ГПУ-ТЭС.

В проекте применена новая разработка компании Cummins – установка С2000N5CD с двигателем HSK-78G. Она отличается низким уровнем вредных выбросов, высоким КПД – до 44,2 %, а также имеет одну из самых низких в своем классе стоимость эксплуатационных затрат.

ГПЭС состоит из двух энергоблоков Энерго-П2000/6,3КН31 мощностью по 2 МВт. Станция синхронизирована с энергосистемой, тепловая энергия будет использоваться для производственных нужд и теплофикации. Специалисты ООО «НГ-Энерго» выполнили монтажные и пусконаладочные работы, ввели станцию в эксплуатацию.

НПК «Элара» – одно из ведущих приборостроительных предприятий России, выпускает электронные приборы для гражданской, военной и космической отрасли.

### **NG-Energy has built a turnkey gas engine power station in Cheboksary.**

*The power plant provides consumers of the instrument-making enterprise NPK «Elara» with electric and thermal energy. NG-Energy performed a complex of design works for the construction of the plant, developed the set of design documentation for the manufacture of GPU-TPP.*

## ООО «ОДК Инжиниринг» поставило газоперекачивающие агрегаты на Харасавэйское месторождение.

Заказчику отгружены два комплекта газотурбинных двигателей ПС-90ГП-25 для агрегатов ГПА-25, поставленных в 2022 г. Еще четыре комплекта ГПА-25 с двигателями ПС-90ГП-25 были изготовлены и отгружены на площадку строительства в конце прошлого года.

ГПА изготовлены на предприятии «ОДК-Газовые турбины». В агрегатах ангарного типа применяются газотурбинные установки ГТУ-25П с двигателем ПС-90ГП-25 производства АО «ОДК-Пермские моторы» (разработка «ОДК-Авиадвигатель») и центробежные компрессоры 6ГЦ2-245/64-121 (АО «Казанькомпрессормаш»). Основным топливом является природный газ.

Установленное на Харасавэйском месторождении оборудование будет работать в экстремальных условиях Крайнего Севера, в районе вечной мерзлоты, в непосредственной близости к Карскому морю.



## Компания «ИНГК» выполняет шефмонтажные и пусконаладочные работы на ГПА на Повховском месторождении, ХМАО.

Специалисты отдела внешних работ ООО «ИНГК» проводят шефмонтажные работы на трех электроприводных ГПА мощностью 3,5 МВт, ранее изготовленных на заводе компании в г. Перми.

Агрегаты, созданные на базе электродвигателя ET900V2 компании Nides ASI и компрессора 2BCL457 производства Baker Hughes (Nuovo Pignone), предназначены для поэтапной реконструкции газокomppressorной станции на Повховском месторождении в Тюменской области. Заказчиком выступает компания «Лукойл-Западная Сибирь ТПП «Повхнефтегаз» (ПАО «Лукойл»).

Один агрегат уже подготовлен к осуществлению пусконаладочных работ, еще два ГПА находятся на начальной стадии монтажных работ – производится установка агрегатов на фундамент.

## Для бесперебойного электропитания логистического центра в Ростовской области построят мини-ТЭС.

ООО «ТехноЭнергоКомплекс» построит мини-ТЭС для электроснабжения логистического центра, расположенного на хуторе Ленина Аксайского района.

В состав ГПУ-ТЭС войдут три газопоршневые установки TCG 3016 V16 S электрической мощностью по 1000 кВт, тепловой – по 1123 кВт.

ГПУ-ТЭС будет использоваться для собственных нужд складского комплекса и полностью обеспечит его электричеством и теплом. Внешняя сеть будет использоваться в качестве резерва. Ввод оборудования в эксплуатацию запланирован на текущий год.

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

# Разработка двигателей HiMSEN H54DFV и H32CV

## с двухступенчатой системой турбонаддува

Сынхун Ли – Hyundai Heavy Industries

### In brief

#### New HiMSEN H54DFV & H32CV engines with two-stage turbocharging system.

To meet the market demand for high efficiency and low emission engines, HHI has been developing HiMSEN H54DFV and H32CV engine. Both of engines are applied with high charge air pressure by 2-stage turbocharging system, high PFP, controllable intake and exhaust valve timing, and injection timing for performance optimization at part load. Combustion system has been optimized by simulation and measurement. During the development step, modularized and user friendly design concept was applied base on HiMSEN engine references and experiences. For safe operation using gas fuel, the engine applied highly integrated control system considering HiMSEN safety concept and FMEA analysis. It helps to make a much more stable engine operation by reducing PFP variation of both cycle to cycle and inter-cylinders.

In the near future, the H32CV diesel engine will be converted to DF engine to improve the competitiveness among same class of DF engine by raising power output and efficiency with TSTC system.

Дизельные двигатели семейства HiMSEN были представлены на рынок в 2021 году. За это время модельный ряд двигателей был существенно доработан и модернизирован с учетом специфических требований заказчиков. В настоящее время диапазон мощности двигателей HiMSEN составляет 0,5...25 МВт.

Одновременно компания HHI внедряет газопоршневые и двухтопливные двигатели. Первый двухтопливный двигатель H35DF был выведен на рынок в 2012 году. В настоящее время диапазон мощности данных двигателей составляет 0,7...26,0 МВт (рис. 1, 2).

Для соответствия современным рыночным требованиям компания разработала двигатели H54DFV и H32CV, в которых применялись новейшие технологии: двухступенчатая система турбонаддува, сжигание топлива при высоком давлении и т.д. (фото 1). Передовая система турбонаддува была разработана для максимального сокращения площади размещения агрегатов. Также была создана новая эффективная система одноступенчатого турбонаддува для оснащения двигателей H54DFV и H32CV.

### Двигатель H54DFV Особенности конструкции

Основными областями применения двигателя HiMSEN H54DFV являются пропульсивные судовые установки, вспомогательные судовые

электростанции и энергетические установки. Диаметр цилиндра двигателя составляет 540 мм, ход поршня – 600 мм. Выходная мощность на цилиндр – 1470 кВт.

Прототип двигателя с 12 цилиндрами был представлен на рынок в 2017 году. Для обеспечения высокого КПД он оснащен двухступенчатой системой турбонаддува. Технические параметры H54DFV даны в табл. 1.

При разработке конструкции H54DFV использовался модульный принцип. Двигатель оснащен двухступенчатым охладителем наддувочного воздуха (промежуточный и финальный охладитель) и двухступенчатым турбоагрегатом (рис. 3, 4). Воздушная камера с водяным охлаждением также имеет модульную конструкцию. Все трубные соединения двигателя сведены к минимуму, что способствует устранению каких-либо утечек.

H54DFV имеет достаточно большие габариты, поэтому при разработке конструкции двигателя большое внимание уделялось удобству технического обслуживания и ремонта. Были предусмотрены специальные кожухи, которые открывались для проведения инспекций, а также основной кожух для снятия и ремонта компонентов двигателя (рис. 5).

Двигатели компании Hyundai имеют продуманную модульную конструкцию для простоты обслуживания. Многие специалисты по эксплуатации и техническому обслуживанию,

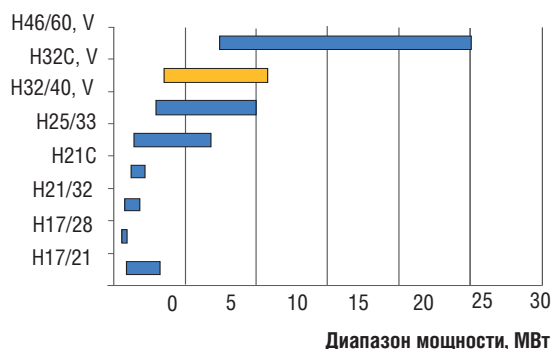


Рис. 1. Модельный ряд дизельных двигателей HiMSEN

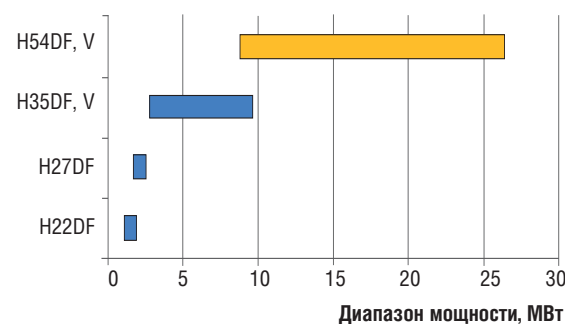


Рис. 2. Модельный ряд двухтопливных двигателей HiMSEN

работающие на электростанциях Hyundai, отмечают, что интуитивно понятная и стандартная конструкция двигателя облегчает эксплуатацию объекта. Кроме того, беструбная конструкция предотвращает деформацию оборудования.

### Компоненты двигателя

При разработке двигателя был проведен ряд испытаний его основных компонентов в различных условиях работы (фото 2). Проводились измерения статистических и динамических напряжений, тепловой нагрузки в различных режимах работы, проведены испытания на удар и т.д.

По результатам испытаний конструкция основных компонентов двигателя была доработана и оптимизирована с целью обеспечения высоких параметров и КПД двигателя. Была увеличена продолжительность срока службы узлов и блоков двигателя, повышена их прочность с целью сопротивления высоким тепловым нагрузкам и высокому давлению сгорания топлива.

### Блок цилиндров двигателя

Блок цилиндров двигателя H54DFV изготовлен из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и спроектирован методом конечных элементов (FEA) таким образом, чтобы обеспечить минимальный уровень механических напряжений (рис. 6). Канал подачи смазочного масла размещен внутри блока цилиндров для сокращения количества внешних трубопроводов. За счет оптимизации конструкции была сокращена масса двигателя при увеличении его удельной мощности.

### Головка блока цилиндров и гильза цилиндра

Головка блока цилиндров двигателя H54DFV изготовлена из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. На ней размещены шток клапана, форсунка впрыска топлива, форсунка запального топлива, клапан подачи газа, клапан подачи воздуха и др.

Как показано на рис. 7, форсунка запального топлива монтируется отдельно от форсунки основного топлива для удобства обслуживания. Благодаря повышенной удельной мощности двигателя и оптимальному уровню давления сгорания топлива, длительный срок службы головки блока цилиндров с учетом многоциклового и малоциклового усталости был подтвержден путем термического анализа (СНТ) и анализа FEA. Кроме того, с помощью CFD-анализа были изучены различные формы отверстий



Фото 1.  
Двигатель HIMSSEN 12H32CV с двухступенчатой системой турбонаддува

для оптимизации расхода через впускное и выпускное отверстия камеры сгорания.

Гильза цилиндра двигателя H54DFV изготовлена из серого литейного чугуна. Для эффективного снижения тепловой нагрузки охлаждающее отверстие обработано внутри верхней части гильзы.

| Двигатель HIMSSEN H54DFV |              |       |
|--------------------------|--------------|-------|
| Диаметр цилиндра         | мм           | 540   |
| Ход поршня               | мм           | 600   |
| Частота вращения         | об/мин       | 600   |
| Мощность                 | кВт/цилиндр  | 1470  |
| Мощность, кВт            | 6 цилиндров  | 8800  |
|                          | 7 цилиндров  | 10290 |
|                          | 8 цилиндров  | 11760 |
|                          | 9 цилиндров  | 13230 |
|                          | 12 цилиндров | 17640 |
|                          | 14 цилиндров | 20580 |
|                          | 16 цилиндров | 23520 |
|                          | 18 цилиндров | 26460 |

Табл. 1.  
Технические параметры двигателя H54DFV



Рис. 3.  
Двигатель H54DFV

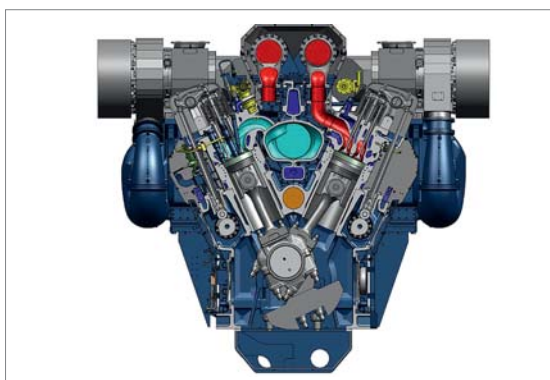
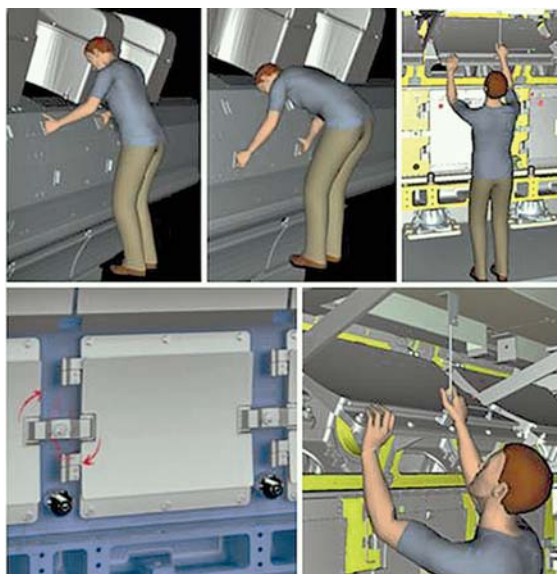


Рис. 4.  
Поперечный разрез двигателя H54DFV

➤ Рис. 5.  
Конструкция двигателя  
обеспечивает удобство  
технического обслуживания



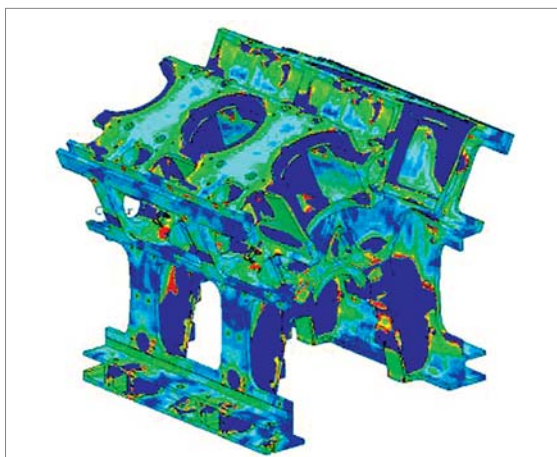
➤ Фото 2.  
Испытания на прочность  
и срок службы  
компонентов двигателя



Надежность конструкции была подтверждена в процессе испытаний прототипа двигателя, а также путем анализа методом конечных элементов.

#### Поршень и шатун двигателя H54DFV

Поршень состоит из стальной коронки и шаровидной чугунной «юбки» для увеличения срока службы при повышенном давлении



➤ Рис. 6.  
Модель блока цилиндров,  
спроектированная методом  
конечных элементов

сгорания. Оптимизированная форма чаши поршня способствует повышению КПД двигателя. Форма чаши была выбрана с учетом тепловой нагрузки при работе в газовом и двухтопливном режиме, а также в зависимости от особенностей конструкции инжекторов основного и запального топлива. Первое поршневое кольцо со специальным покрытием используется для минимизации трения между верхним кольцом и гильзой цилиндра. Кроме того, маслосъемное кольцо новой конструкции помогает снизить расход топлива и смазочного масла. Шатун, который включает в себя шатунный вал, верхнюю и нижнюю головки, изготовлен из специальной штампованной стали Ст-Мо. На нижней головке шатуна установлен датчик контроля температуры подшипника с помощью телеметрической системы для обеспечения надежной работы подшипника.

#### Охладитель нагнетаемого воздуха

Блок охлаждения подаваемого в двигатель воздуха включает воздушный охладитель, двухступенчатый турбонагнетатель и воздуховоды. Он имеет несколько каналов подачи охлаждающей воды и смазочного масла. Чтобы оптимизировать поток воздуха внутри блока, была обеспечена высокая равномерность потока в рабочих зонах и сведен к минимуму перепад давления (рис. 8).

В дополнение к двухступенчатой системе турбонаддува была разработана одноступенчатая система для соответствия всем специфическим требованиям рынка судовых пропульсивных и стационарных энергетических установок (рис. 9).

Для контроля уровней вибрации и функционирования двухступенчатой системы турбонаддува на этапе окончательного проектирования были проведены соответствующие испытания и анализ результатов (рис. 10). В связи с дополнительной массой системы вторичного турбонаддува при использовании двухступенчатой системы специалисты компании установили дополнительные поддерживающие элементы между модулем охлаждения нагнетаемого воздуха и блоком двигателя. Результатами испытаний и контрольных измерений было подтверждено, что уровень вибрации соответствует расчетному.

#### Система контроля и управления

Система управления оказывает значительное влияние на КПД и срок службы двигателя, особенно это касается двигателей, работающих на газовом топливе. H54DFV имеет высокоинтегрированную систему управления



с достаточно простой конфигурацией. В ее состав входит главная панель управления, локальная панель управления, блок управления впрыском топлива, блок контроля давления и уровня детонации в цилиндрах (рис. 11).

Для H54DFV и двигателей, работающих на газовом топливе, очень важно поддерживать пиковое давление горения на установленном уровне для стабильной работы, поскольку при работе на газе обычно наблюдаются большие колебания горения. При этом необходима оптимальная балансировка цилиндров и минимальная разница в пиковом давлении сгорания между цилиндрами. В этом случае обеспечивается высокий КПД двигателя и длительный срок его службы.

## Двигатель H32CV

### Технические параметры двигателя

HiMSEN H32CV – это двигатель нового поколения модельного ряда H32/40V. В настоящее время на объектах заказчиков в эксплуатации находится более 1500 двигателей данного типа. По сравнению с базовой моделью H32/40V, мощность H32CV была увеличена на 20 %.

Прототип двигателя H32CV имеет 12 цилиндров. Он оснащен двухступенчатым нагнетателем, двойным газораспределительным механизмом, двойным регулятором оборотов двигателя и электронным блоком регулирования времени впрыска топлива. Таким образом, было обеспечено сокращение расхода топлива и выбросов вредных веществ, а также оптимизирована работа двигателя при любой нагрузке и на всех эксплуатационных режимах.

### Особенности конструкции

Двигатель HiMSEN H32CV был разработан на базе концепции CLEAN (Customer – заказчик, reLiability – надежность, Environment – экологичность, Acceptable technology – при-

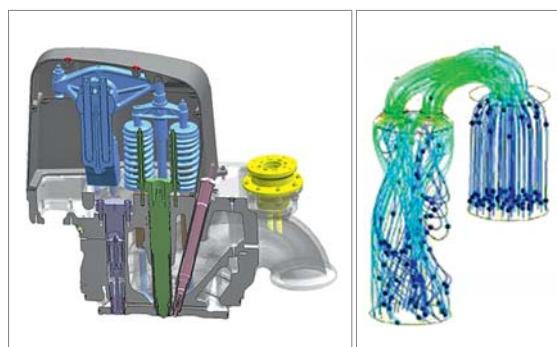


Рис. 7.  
CFD-модель головки блока цилиндров

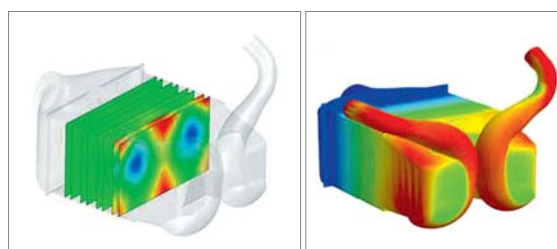


Рис. 8.  
Анализ потока в блоке охлаждения нагнетаемого воздуха

емляемая технология, No defect – отсутствие дефектов). Для реализации данной концепции при создании двигателя применялся модульный подход и обеспечена простота технического обслуживания двигателя.

При разработке H32CV был использован большой опыт эксплуатации двигателей данного модельного ряда, а также учтены все пожелания заказчиков оборудования. В результате был обеспечен высокий КПД двигателя, экономичность и надежность в эксплуатации.

Для достижения более высокого КПД двигателя необходимо увеличить пиковое давление сгорания и скорость движения поршня. Чтобы обеспечить высокую надежность компонентов двигателя и снизить их массу, была проанализирована конструкция блока цилиндров, коленчатого вала и головки блока цилиндров с помощью анализа методом конечных элементов (FEA). С учетом высокого пикового давления сгорания и скорости движения поршня наибольшее внимание при анализе уделялось конструкции поршней, пальцев и колец цилиндра.

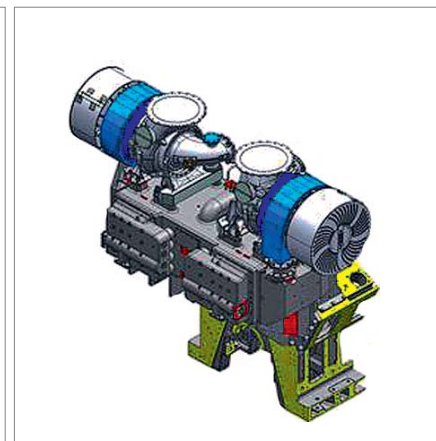
Табл. 2.  
Технические параметры двигателя H32CV

Рис. 9.  
Блоки турбоагнетателя двигателя H54DFV

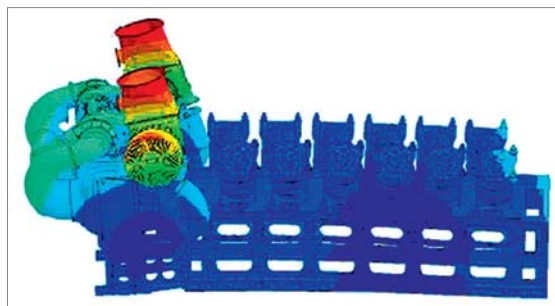
| Параметры        | Двигатель    | HiMSEN  |         |
|------------------|--------------|---------|---------|
|                  |              | H32CV   | H32/40  |
| Диаметр поршня   | мм           | 320     | 320     |
| Ход поршня       | мм           | 450     | 400     |
| Частота вращения | об/мин       | 720/750 | 720/750 |
| Мощность         | квт/цилиндр  | 600     | 500     |
|                  | 6 цилиндров  | 3600    | 3000    |
|                  | 7 цилиндров  | 4200    | 3500    |
|                  | 8 цилиндров  | 4800    | 4000    |
|                  | 9 цилиндров  | 5400    | 4500    |
|                  | 12 цилиндров | 7200    | 6000    |
|                  | 14 цилиндров | 8400    | 7000    |
|                  | 16 цилиндров | 9600    | 8000    |
|                  | 18 цилиндров | 10800   | 9000    |

Двухступенчатый турбоагнетатель

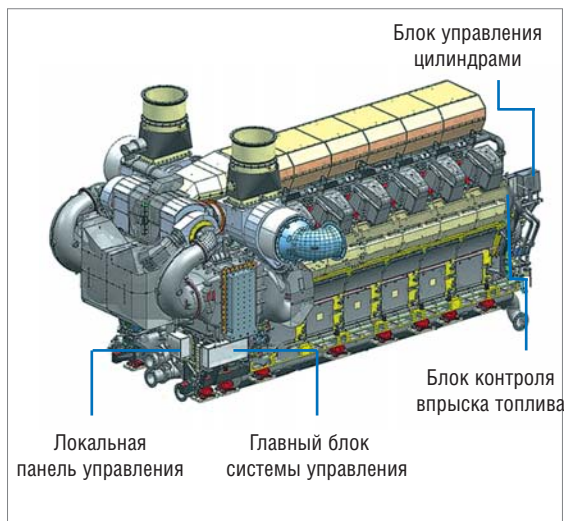
Одноступенчатый турбоагнетатель



➤ Рис. 10.  
Результаты анализа  
вибрации двигателя H54DFV

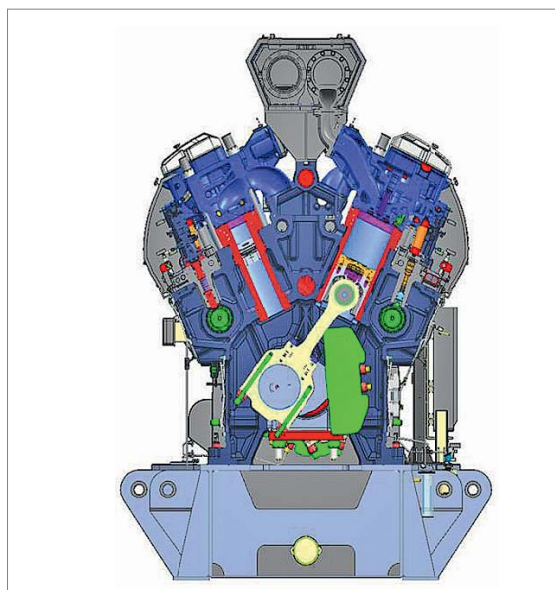


➤ Рис. 11.  
Система управления  
двигателя H54DFV



Одним из критических компонентов является также тракт подачи нагнетаемого воздуха в двигатель, который подвергается воздействию высоких температур и вибрации. В результате эксплуатации двигателей HiMSEN был выявлен ряд случаев повреждения воздушного тракта в процессе работы и, как следствие, утечки газа. Поэтому особое внимание было уделено надежности воздушно-го тракта, а также подсоединению его к турбо-нагнетателю.

➤ Рис. 12.  
Поперечный разрез  
двигателя H32CV



### Модульная конструкция двигателя

Модульная конструкция является основой концепции при разработке H32CV (рис. 12). При модульном проектировании двигателя разработчик должен учитывать оптимизацию его массы, ограниченное пространство для установки на месте эксплуатации, максимальное сокращение внешней трубной обвязки. В конструкции клапанного блока предусмотрены роликовые толкатели клапана подачи топлива и клапана выпуска выхлопных газов, которые размещаются в блоке системы подачи топлива, благодаря чему обеспечивается простота технического обслуживания и облегчается доступ к компонентам двигателя.

Четыре охладителя нагнетаемого воздуха и двухступенчатый турбокомпрессор установлены на верхнем переднем торцевом блоке двигателя. Система турбонадува обеспечивает эффективное прохождение выхлопных газов и наддувочного воздуха для достижения более высокого КПД двигателя (рис. 14). Таким образом, сокращаются общие габариты двигателя. Для проверки надежности конструкции двигателя был проведен анализ методом конечных элементов, а также ряд испытаний на проверку уровня вибрации.

### Двойная система регулятора оборотов двигателя

Двойные регуляторы H32CV обеспечивают необходимый баланс в системе турбонадува (рис. 15). Система управления позволяет регулировать температуру на входе каждой турбины в диапазоне 10 градусов. Это дает возможность повысить эффективность турбокомпрессора и обеспечить стабильное сгорание топлива, а также получить экономические выгоды за счет использования двух регуляторов меньшего размера.

### Показатели работы двигателей H54DFV и H32CV

#### Оптимизированный цикл Миллера и система турбокомпрессии

Дизельный двигатель HiMSEN и семейство двухтопливных двигателей были разработаны с использованием цикла Миллера. Однако для H54DFV и H32CV был применен усовершенствованный цикл Миллера, что привело к более низкой температуре сгорания в цилиндре и, следовательно, к снижению уровня  $NO_x$ . В цикле Миллера обеспечивается также снижение детонации в двигателях, работающих на газовом топливе, благодаря более низкой температуре сгорания.

Для усовершенствованного цикла Миллера характерна более короткая продолжительность открытия впускного клапана, поэтому

требуется более высокое давление наддува для компенсации количества подаваемого воздуха в камеру сгорания. Двигатели H54DFV и H32CV разрабатывались как для одноступенчатой, так и для двухступенчатой системы турбонаддува. Двухступенчатая система с высоким давлением обеспечивает гораздо более высокий КПД двигателя и более низкие уровни эмиссии, чем одноступенчатая.

### Высокое пиковое давление горения

За счет оптимизированного цикла Миллера можно снизить температуру в камере сгорания и снизить уровень  $\text{NO}_x$ , в результате чего время впрыска может быть увеличено таким образом, чтобы повысить КПД двигателя. По сравнению с предыдущими моделями HiMSEN, пиковое давление горения двигателей H54DFV и H32CV было увеличено на 30 % при сохранении расчетного срока службы компонентов.

### Двойная система газораспределения

Система газораспределения двигателей HiMSEN активируется и деактивируется при помощи импульсного воздуха. Основным преимуществом при этом является то, что система может функционировать при отсутствии электрического сигнала. Впускной клапан системы газораспределения может обеспечивать более раннее открытие при высоких нагрузках. Однако при низких нагрузках может происходить выброс дымовых газов, а также снижение КПД двигателя. Это быстро устраняется системой газораспределения даже при низких нагрузках в переходных режимах.

Двойной клапан выпуска выхлопных газов (рис. 13) позволяет регулировать температуру выхлопных газов в любой точке. Одновременно обеспечивается также контроль пикового давления горения в зависимости от внешних условий эксплуатации двигателя. На рис. 16 представлен процесс регулирования температуры на входе в турбину при высоких нагрузках, при этом оказывается влияние и на температуру в камере сгорания.

### Электронная система регулирования времени впрыска топлива (HEVIT)

HEVIT (HiMSEN Electronic Variable Injection Timing) – это дополнительная система контроля момента и времени впрыска для стандартного насоса высокого давления (рис. 17). Она обеспечивает оптимальное время впрыска топлива в зависимости от нагрузки для достижения высокого КПД двигателя при любых условиях эксплуатации.

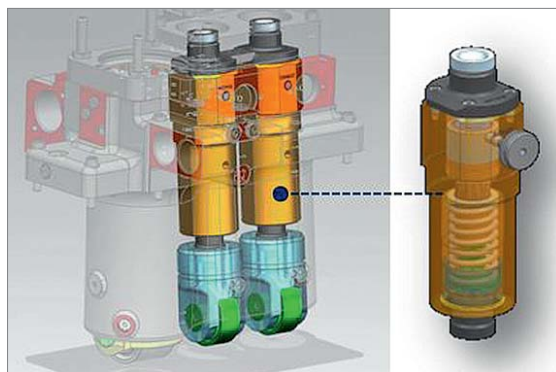


Рис. 13. Двойной клапан газораспределения (впуск/выпуск)

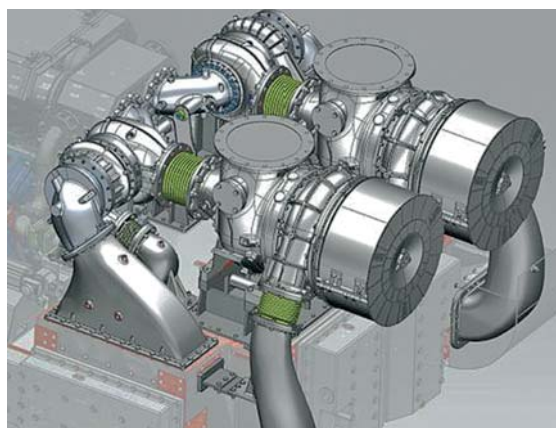


Рис. 14. Система турбонаддува двигателя H32CV

Основным компонентом системы является HEVIT 2/2-ходовой клапан с электромагнитным приводом, установленный на верхней крышке топливного насоса высокого давления. Клапанный блок либо закрывает насосную камеру, либо соединяет ее с линией возврата топлива. Таким образом, впрыск топлива определяется активацией 2/2-ходового клапана, а начало цикла впрыска гибко регулируется в зависимости от положения коленчатого вала. Дополнительным преимуществом конструкции HEVIT является то, что в случае неисправности клапана его можно использовать как обычный (механический) топливный насос.

### Сокращение зазора

Для улучшения работы двигателя и стабилизации процессов горения величина зазора должна быть сведена к минимуму, особенно в двухтопливных двигателях, работающих в газовом режиме.

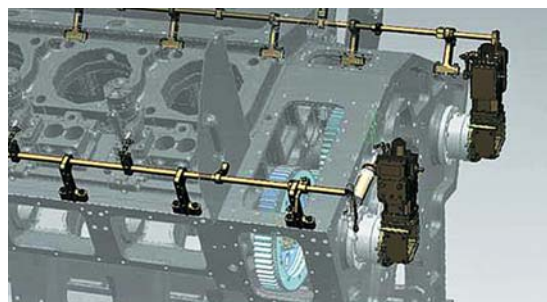
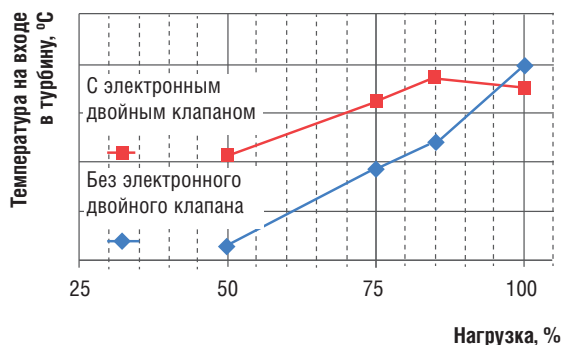


Рис. 15. Двойная система регулирования оборотов двигателя H32CV

Рис. 16.  
Регулирование  
температуры на входе  
в турбину при повышении  
нагрузки



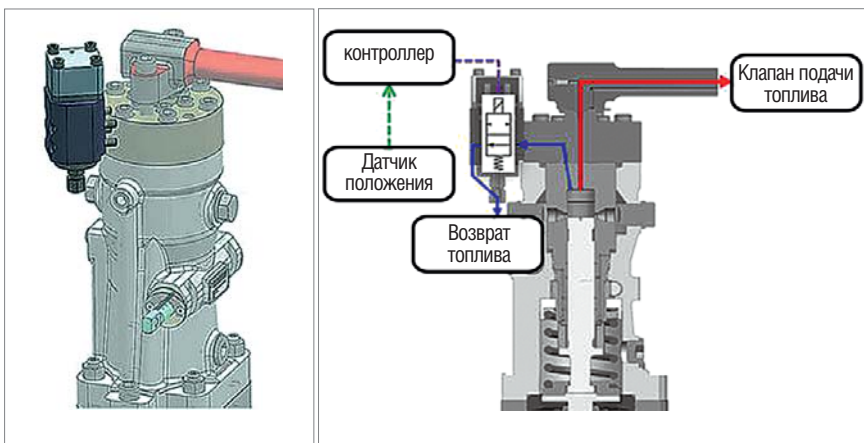
Большая величина зазора способствует образованию остаточного газа в камере сгорания, что может повысить уровень детонации при работе на газе. Соответственно, конструкция камеры сгорания H54DFV была оптимизирована для уменьшения величины зазора, например, за счет эксцентриковой обработки головки блока цилиндров. На этапе проектирования зазор был уменьшен на 40 % по сравнению с предыдущей моделью двигателя.

#### Заключение

Для соответствия современным рыночным требованиям компания Hyundai Heavy Industries разработала двигатели H54DFV и H32CV, в которых использовались новейшие технологии, такие как двухступенчатая система турбонаддува, сжигание топлива при высоком давлении и др. Передовая система турбонаддува была разработана для максимального сокращения площади размещения агрегатов. Была также разработана новая эффективная система одноступенчатого турбонаддува для оснащения двигателей H54DFV и H32CV.

В ближайшем будущем дизельный двигатель H32CV будет преобразован в двухтопливный, что повысит его конкурентоспособность среди двигателей того же класса за счет увеличения выходной мощности и КПД при использовании двойной системы турбонаддува. **D**

Рис. 17.  
Система NEVIT



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

Контракт на поставку энергетического оборудования реализуется с корпорацией ACWA Power. Mitsubishi Power поставила два газотурбинных энергоблока M701JAC электрической мощностью по 557 МВт. Их установят на строящейся электростанции комбинированного цикла мощностью 1500 МВт. В декабре 2022 года на стройплощадку была доставлена первая газовая турбина.

Генпроектировщиком и генподрядчиком проекта выступает ACWA Power, строительномонтажные работы выполняет China Gezhouba Group Co., Ltd (КНП) в качестве подрядчика EPC-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 в рамках программы по созданию современных источников энергии для обеспечения растущего спроса на электроэнергию в стране. После ввода станции 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 the second gas turbine plant 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 units with an electric capacity of 557 MW each. They will be installed at a combined cycle power plant under construction with a capacity of 1,500 MW.

### **Bergen Engines поставит оборудование для электростанции в Нигерии.**

Компания Bergen Engines AS подписала контракт на строительство электростанции с Alternative Petroleum & Power Ltd, реализующей проект в сотрудничестве с Kelm Engineering Ltd (Лаос) и Diesel Electric Services Ltd. (ЮАР). Электростанция когенерационного цикла мощностью 120 МВт будет построена в промышленной зоне в районе Калабар, штат Кросс-Ривер.

ТЭС будет производить электрическую и тепловую энергию для нужд промышленного комплекса и близлежащих жилых районов. В состав станции войдут десять энергоблоков на базе двигателей Bergen B36:45V20 мощностью по 12 МВт, оснащенных электрогенераторами Marelli Motori.

Задачей станции будет также снятие пиковых нагрузок и поддержание баланса в энергосистеме, поскольку в регионе планируется построить СЭС и ВЭС большой мощности.

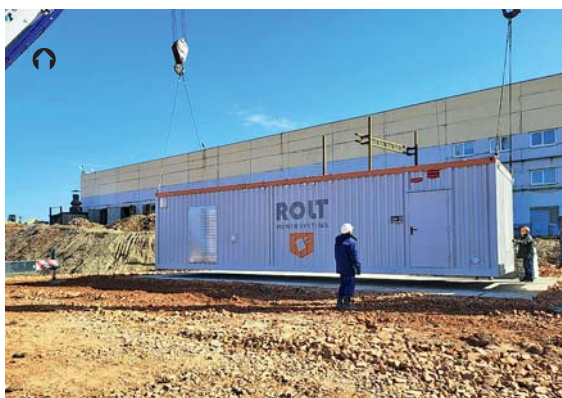
### **Введена ГПЭС в г. Чайковский (Пермский край).**

Электрическая мощность PSG 1000 составляет 1067 кВт, тепловая – 1200 кВт. Модульный энергоблок создан на базе газопоршневой установки J320 GS производства INNIO Jenbacher.

Мини-ТЭС обеспечивает собственной электрической и тепловой энергией ООО «Чайковский кирпичный завод». Проект реализован на условиях «под ключ» специалистами группы компаний «Ролт».

Станция позволит полностью покрыть все текущие и будущие потребности предприятия в электрической и тепловой энергии.

*Чайковский кирпичный завод основан в 1993 г. Основной продукцией предприятия является керамический кирпич полнотелый. Ежегодный выпуск продукции составляет более 60 млн штук.*



**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.

# КАТАЛОГ

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



**Тел./факс.: (4855) 285-997**  
**info@TURBINE-DIESEL.RU**

**2023**

**www.turbine-diesel.ru**  
ПОДРОБНОСТИ НА САЙТЕ

РЕКЛАМА

## КМПО поставит оборудование на нефтегазовое месторождение в Ямало-Ненецком автономном округе.

Казанское моторостроительное производственное объединение выиграло конкурс на изготовление и поставку оборудования для ООО «Новатэк–Таркосаленефтегаз». Предприятие изготовит три агрегата ГПА-16 «Волга» контейнерного исполнения мощностью по 16 МВт для дожимной компрессорной станции на Харбейском месторождении.

Агрегаты будут укомплектованы газотурбинными двигателями НК-16-18СТ, которые серийно выпускаются КМПО. Помимо изготовления оборудования, специалисты предприятия выполняют шефмонтажные и пусконаладочные работы на ДКС.

ООО «Новатэк–Таркосаленефтегаз» – дочернее предприятие ПАО «Новатэк», осуществляющее разработку и добычу углеводородов на месторождениях ЯНАО.

### *KMPO will supply equipment to oil and gas field in the Yamalo-Nenets Autonomous Area.*

*Kazan motor-building production association has won the tender for the manufacture and supply of equipment to Novatek-Tarkosaleneftegaz LLC.*

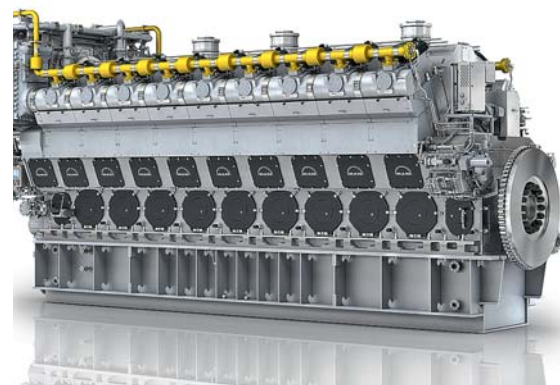
## GE оснащает мобильные ГТУ блоками SCR для снижения уровней эмиссии.

После проведения необходимых расчетов, исследований и испытаний компания GE GasPower оснастила 4 мобильные электростанции TM2500 блоками селективного каталитического восстановления (SCR). Две станции работают в г. Розвилле, еще две – в г. Юба-Сити на объектах департамента водных ресурсов штата Калифорния.

Оснащение ГТУ системой SCR обеспечило снижение уровней эмиссии на 90%. Удаление вредных выбросов осуществляется с помощью каталитического нейтрализатора, похожего на миниатюрные пчелиные соты, через которые проходят выхлопные газы газовой турбины. При этом CO окисляется до CO<sub>2</sub>, эффективно удаляя CO из потока выхлопных газов.

Для снижения содержания NO<sub>x</sub> необходим второй катализатор. Выхлопные газы турбины смешиваются с испаренным аммиаком, и, проходя через второй катализатор, NO<sub>x</sub> в результате химической реакции преобразуется в азот и водяной пар.

Система SCR имеет модульное исполнение. Стандартная конструкция применима к газовым турбинам TM2500 и LM2500XPRESS. Установка оборудования занимает около двух недель, срок изготовления – до полугода. Система может использоваться для различных видов топлива, включая природный газ, дистиллят и водород.



## Электростанции в Ирландии будут оснащены двухтопливными энергоблоками MAN.

MAN Energy Solutions поставит 16 двухтопливных энергоблоков MAN 18V51/60 общей мощностью 311 МВт для трех электростанций, строящихся в настоящее время в Ирландии. Две станции расположены недалеко от столицы, Дублина, а третья – в г. Атлон, графство Уэстмит. Электростанции будут работать в резервном режиме, компенсируя возможные колебания в электросети в связи с растущим количеством ВЭС в регионе.

К 2030 г. ирландское правительство планирует увеличить долю возобновляемых источников энергии в энергоснабжении до 80%. При этом необходимы резервные мощности для надежного энергообеспечения потребителей в любое время.

В состав электростанции, строящейся в бизнес-парке Grange Castle в Дублине, войдут 6 энергоблоков 18V51/60DF. Общая электрическая мощность станции составит 111 МВт, она будет работать в когенерационном цикле. Кроме того, энергоблоки будут использоваться для поддержания баланса в сети в периоды пиковых нагрузок. Оператором станции выступает инвестиционная компания Sustainable Development Capital LLP (SDCL), реализующая проекты в области децентрализованной энергетики. Greener Ideas Ltd строит две электростанции мощностью по 100 МВт на базе 5 энергоблоков 18V51/60DF.

MAN Prime Serv будет осуществлять техническое обслуживание и ремонт оборудования электростанций в процессе эксплуатации в течение 10 лет. Операторы станций получают доступ к цифровому сервису MAN Prime Serv Assist, с помощью которого технические специалисты будут круглосуточно осуществлять мониторинг параметров двигателей.

# 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

РЕКЛАМА

# Применение нового стандарта по взрывоопасным средам для классификации взрывоопасных зон в отсеках ГПА

**С. В. Карпов – ООО «Арус»**

**А. М. Литвак (к. ф.-м. н.) – ООО «ЗМИ Прибор»**

С 1 июля 2023 года введен в действие в качестве национального стандарта РФ межгосударственный стандарт ГОСТ 31610.10-1-2022 (IEC 6007910-1:2020) «Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды» [1]. В статье рассмотрены особенности применения нового ГОСТ для классификации взрывоопасных зон в отсеках газотурбинного газоперекачивающего агрегата с невзрывозащищенным газоиспользующим оборудованием. Данная тема касается как разработчиков ГПА, так и специалистов эксплуатирующих организаций.

## In brief

**Application of the new standard on explosive environments for the classification of explosive zones in gas pumping units compartments.**

From July 1, 2023, instead of GOST IEC 60079-10-1 the interstate GOST standard is put into effect as the national standard of the Russian Federation 31610.10-1-2022 (IEC 6007910-1:2020)

"Explosive atmospheres. Part 10-1. Classification of zones. Explosive gas environments. The article discusses the features of the application of a new one for the classification of explosive zones in the compartments of a gas turbine gas pumping unit with non-explosion-proof gas-using equipment. This topic concerns both gas pumping units developers and specialists of operating organizations. GOST 31610.10-1 is conceptually different in that it introduced a new concept: "3.3.8 zone of insignificant extent (zone NE).

## Действующие стандарты по взрывоопасным средам

Разработчиков автоматических систем контроля загазованности (АСКЗ) для газотурбинных газоперекачивающих агрегатов иногда просят обосновать нормативную необходимость контроля газоанализаторами горючих газов агрегатного отсека ГТУ. Такой вопрос возникает, если отсек ГТУ не рассматривается как помещение категории «А» (повышенной взрывопожароопасности), в котором имеются взрывоопасные зоны. Например, на табличке двери в защищаемый АСКЗ отсек ГТУ может быть указано, что в данном помещении только пожароопасная зона П-І по ПУЭ [2].

Вопрос вызван тем, что согласно п. 2.2 ГОСТ 30852.9-2002 (МЭК 60079-10:1995) «Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон» [3]: «... взрывоопасная зона – это зона, в которой имеется или может образоваться взрывоопасная газовая смесь в объеме, требующем специальных мер защиты при конструировании, изготовлении и эксплуатации электроустановок».

Как следствие, само наличие газоанализаторов горючих газов и светозвуковых оповещателей о загазованности в отсеке ГТУ (т.е. специальных мер защиты от образования взрывоопасной газовой смеси) говорит о том, что контролируемую ими зону необходимо рассматривать как взрывоопасную.

При этом в п. Г.3 приложения Г «Классификация взрывоопасных зон для отдельных производств» ГОСТ 30852.9-2002 записано: «Зоны в помещениях и зоны наружных установок в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от открытого огня и раскаленных поверхностей технологического оборудования,

в которых твердые, жидкие и газообразные горючие вещества сжигаются в качестве топлива или утилизируются путем сжигания, не относятся к взрывоопасным. Настоящее требование распространяется на эти помещения во время, когда в них ведется технологический процесс. В помещениях отопительных котельных, встроенных в здания и предназначенных для работы на газообразном или на жидком топливе, следует предусматривать, несмотря на отсутствие взрывоопасной зоны, установку части светильников и электрооборудования вытяжной вентиляции, включаемых перед началом работы котельной установки, во взрывозащищенном исполнении».

Разработчики АСКЗ предполагают, что при утечках топливного газа в отсеке ГТУ не образуется взрывоопасное облако газа значительного объема, если газ своевременно выгорает на источнике воспламенения:

- в случае отсека ГТУ в качестве источника воспламенения рассматриваются раскаленные поверхности ГТД, т.к. в помещении отсутствует открытое пламя (газ сгорает внутри ГТД и пламя не сможет воспламенить газозадушенную смесь в отсеке ГТУ);
- утечка должна быть ограниченной (скорость поступления газа в помещение не должна превышать скорость выгорания);
- после подачи топливного газа и до момента прогрева горячего ГТД (когда температура наиболее горячих поверхностей двигателя превысит температуру самовоспламенения топливного газа) в отсеке ГТУ необходимо применять взрывозащищенное оборудование, а для контроля утечек топливного газа использовать газоанализаторы горючих газов;



- необходимо снизить вероятность аварийной утечки при пуске ГТД, из-за которой после подачи топливного газа в отсеке ГТУ образуется взрывоопасное облако газа значительного объема, которое может воспламениться от раскаленных поверхностей после прогрева двигателя;

- надо учитывать, что не все ГТД имеют раскаленные поверхности, температура которых после прогрева превысит температуру самовоспламенения топливного газа.

Разработчики АСКЗ видят противоречие в том, что согласно ГОСТ 30852.9-2002 зона вокруг имеющего раскаленные поверхности ГТД не относится к взрывоопасной зоне, но в ней применяются специальные меры защиты (например, для контроля утечек топливного газа используются газоанализаторы горючих газов), что является признаком взрывоопасности.

По мнению разработчиков АСКЗ, данное противоречие разрешено новым стандартом по взрывоопасным средам, который вводится Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 908-ст от 12.09.2022 [4] с 1 июля 2023 года:

- взамен ГОСТ ИЕС 60079-10-1-2013 [4] в качестве национального стандарта Российской Федерации вводится в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 31610.10-1-2022 (ИЕС 60079-10-1:2020) «Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды»;

- прекращено применение на территории РФ межгосударственных стандартов ГОСТ 30852.9-2002, ГОСТ 31610.10-2012 [6] и ГОСТ ИЕС 60079-10-1-2011 [7] в качестве национальных стандартов.

Как следствие, с 01.07.2023 при классификации взрывоопасных зон в отсеках ГПА необходимо руководствоваться новым ГОСТ 31610.10-1-2022, который будет включен в перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента Таможенного союза «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах» ТР ТС 012/2011 [8].

### Анализ особенностей нового стандарта по взрывоопасным средам

ГОСТ 31610.10-1-2022 концептуально отличается тем, что в нем вводится новое понятие «3.3.8 зона незначительной протяженности (zone NE): зона, имеющая такую незначительную протяженность, что при возникновении воспламенения его последствия будут незначительными».

Табл. 1.

#### Анализ требований СП 60.13330.2020 [9]

| Пункт документа  | Требования пункта   |
|--|---|
| подпункт 6.4.13 пункта 6.4 «Отопительные приборы и арматура» СП 60.13330.2020  | Газовые излучатели допускается применять при условии удаления продуктов сгорания, обеспечивая ПДК вредных веществ в воздухе рабочей или обслуживаемой зоны ниже допустимых величин, с учетом примечания 4 к таблице Б.1, а также при условии установки сигнализаторов загазованности по метану и оксиду углерода, срабатывающих при достижении загазованности помещения, равной 10 % нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПРП) или предельно допустимой концентрации (ПДК) природного газа. Сигнализаторы загазованности должны быть заблокированы с быстродействующими запорными клапанами, установленными на вводе газа в помещение и отключающими подачу газа по сигналу загазованности. |
| примечание 4 таблицы Б.1 «Требования к системам отопления и внутреннего теплоснабжения зданий различного назначения» СП 60.13330.2020  | Применение газоиспользующего оборудования (инфракрасных газовых излучателей, теплогенераторов и др.) в системах теплоснабжения зданий различного назначения должно соответствовать требованиям СП 62.13330 [5].   |
| Исходя из данных документов, можно сделать вывод:<br>- в качестве правил газовой промышленности для отсека блока АВГ необходимо выполнить СП 62.13330.2011;<br>- для контроля утечек в отсеке блока АВГ использовать газоанализаторы горючих газов, которые при 10 % НКПРП должны оперативно перекрыть подачу топливного газа в отсек. |   |

Табл. 2.

#### Анализ требований СП 62.13330.2011

| Пункт документа  | Требования пункта  |
|--|--|
| п. 9.4.18 СП 62.13330.2011   | Класс взрывоопасной зоны в помещениях и у наружных установок при выборе электрооборудования рекомендуется принимать по Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [6]. |
| Из этого следует вывод: Для отсека блока АВГ класс взрывоопасной зоны определяется по ПУЭ. |  |

Табл. 3.

#### Анализ требований ПУЭ

| Пункт документа   | Требования пункта   |
|---|---|
| п. 7.3.47 главы 7.3 «Электроустановки во взрывоопасных зонах» ПУЭ   | Зоны в помещениях и зоны наружных установок в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от аппарата, в котором присутствуют или могут возникнуть взрывоопасные смеси, но технологический процесс ведется с применением открытого огня, раскаленных частей либо технологические аппараты имеют поверхности, нагретые до температуры самовоспламенения горючих газов ..., не относятся в части их электрооборудования к взрывоопасным.   |
| п. 7.3.48 главы 7.3 «Электроустановки во взрывоопасных зонах» ПУЭ   | В помещениях отопительных котельных, встроенных в здания и предназначенных для работы на газообразном топливе ... требуется предусматривать необходимый минимум взрывозащищенных светильников, включаемых перед началом работы котельной установки. Выключатели для светильников устанавливаются вне помещения котельной. Электродвигатели вентиляторов, включаемых перед началом работы котельной установки, и их пускатели, выключатели и др., если они размещены внутри помещений котельных установок, должны быть взрывозащищенными и соответствовать категории и группе взрывоопасной смеси. Проводка к вентиляционному электрооборудованию и светильникам должна соответствовать классу взрывоопасной зоны. |
| Исходя из данных пунктов документов, можно сделать выводы:<br>- зоны в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от горелки АВГ, в котором технологический процесс ведется с применением открытого огня, не относятся в части их электрооборудования к взрывоопасным;<br>- электродвигатели вентиляторов, включаемых перед началом работы АВГ, и их пускатели, выключатели и др., если они размещены внутри помещения АВГ, должны быть взрывозащищенными и соответствовать категории и группе взрывоопасной смеси. |   |

Табл. 4

Граф рисков, связанных с образованием взрывоопасной газозвдушной смеси в отсеке ГТУ

| Последствия                 | Степень вероятности причинения вреда здоровью |   |                                       |                                 |  |
|-----------------------------|---|---|---------------------------------------|---------------------------------|--|
|                             | Почти достоверно                              | Вероятно                                  | Возможно                              | Маловероятно                    | Очень маловероятно                         |
|                             | 1/год   | 1x10 <sup>-1</sup> /год                   | 1x10 <sup>-2</sup> /год               | 1x10 <sup>-3</sup> /год         | 1x10 <sup>-4</sup> /год                    |
| Последствия для здоровья    | Происходило несколько раз в год на объекте    | Происходило неоднократно в год в компании | Происходило один раз в год в компании | Слышал о происшествии в отрасли | Никогда не слышал о происшествии в отрасли |
| Несколько летальных исходов | Неприемлемый риск                             | Неприемлемый риск                         | Высокий риск                          | Средний риск                    | Средний риск                               |
| Один летальный исход        | Неприемлемый риск                             | Высокий риск                              | Средний риск                          | Средний риск                    | Допустимый риск                            |
| Неизлечимая травма          | Высокий риск                                  | Средний риск                              | Средний риск                          | Допустимый риск                 | Допустимый риск                            |
| Оказание медицинской помощи | Средний риск                                  | Средний риск                              | Допустимый риск                       | Допустимый риск                 | Допустимый риск                            |
| Оказание первой помощи      | Средний риск                                  | Допустимый риск                           | Допустимый риск                       | Допустимый риск                 | Допустимый риск                            |

**Примечание.**

*Неприемлемый риск – для обеспечения безопасности необходимо пересмотреть концепцию проекта;*  
*высокий риск – требуются меры по снижению риска с применением противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ), классифицированной по уровню полноты безопасности (УПБ);*  
*средний риск – требуются меры по снижению риска без применения ПАЗ, классифицированной по УПБ;*  
*допустимый риск – не требуются меры по снижению риска.*

Согласно п. 4.2.2 данного ГОСТ, зону NE можно рассматривать как взрывобезопасную, позволяющую применять оборудование общепромышленного исполнения, взрывозащита которого не подтверждена сертификатами соответствия требованиям ТР ТС 012/2011.

При этом в ГОСТ 31610.10-1-2022 отсутствует требование не относить зоны вблизи открытого огня и раскаленных поверхностей технологического оборудования к взрывоопасным (которое было в п. Г.3 ГОСТ 30852.9-2002). Для ГПА можно рекомендовать обеспечить зону NE в отсеках ГТУ и блока воздухонагревательного газового агрегата (АВГ), используемого для обогрева ГПА. В указанных отсеках может применяться невзрывозащищенное газоиспользующее оборудование:

- газовая горелка в отсеке блока АВГ;
- ГТД в отсеке ГТУ.

В п. 4.4.2 ГОСТ 31610.10-1-2022 указано, что критериями классификации для зоны NE должны быть следующие факторы:

- I. При воспламенении не возникнет значительного давления, которое может нанести вред из-за ударной волны или повреждения, что может привести к возникновению летающих предметов или частиц, например разбитое оконное стекло;
- II. При воспламенении не выделяется значительного тепла, которое может нанести вред или вызвать горение окружающих веществ;
- III. Для газа, распространяющегося при значении давлений свыше 1000 кПа (10 бар), необходимо выполнять специальную оценку риска;
- IV. Зона NE не может применяться для газа, распространяющегося при значении давления свыше 2000 кПа (20 бар), если только в документально оформленной специальной оценке риска не указано иного.

Примером зоны NE может служить облако природного газа со средней концентрацией, равной 50 % по объему нижнего предела распространения пламени и занимающей менее 0,1 м<sup>3</sup> (или 1 %) рассматриваемого замкнутого пространства (в зависимости от того, какое значение меньше).

В п. 5.3.2 «Газовое оборудование низкого давления» дополнительно рекомендовано: «Для коммерческих и промышленных целей, где только газовое топливо низкого давления используется для бытовых приборов, например для приготовления пищи, нагрева воды и аналогичных целей, будут применяться национальные правила для газовой промышленности. В большинстве случаев соответствие необходимым правилам газовой промышленности не приведет к классификации взрывоопасных зон или зона будет классифицирована как зона незначительной протяженности». (За низкое давление обычно принимают значение давления ниже 200 кПа.)

На основании отмеченного, а также учитывая давление топливного газа (как правило, низкое для блока АВГ и выше 1000 кПа для ГТД), можно дать рекомендацию:

- для отсека блока АВГ с невзрывозащищенной газовой горелкой можно обеспечить зону NE за счет использования национальных правил для газовой промышленности (см. п. 5.3.2 ГОСТ 31610.10-1-2022);
- для отсека ГТУ с невзрывозащищенным ГТД можно обеспечить зону NE за счет снижения рисков до допустимого уровня (см. подпункты III и IV п. 4.4.2).

**Обеспечение зоны NE в отсеке блока АВГ с невзрывозащищенной газовой горелкой**

В табл. 1-3 рассмотрен пример того, как с учетом правил газовой промышленности можно обеспечить зону NE в отсеке блока АВГ, в котором применяются газовые рекуперативные воздухонагреватели с невзрывозащищенными (т.к. технологический процесс ведется с применением открытого огня) горелками.

**Рекомендации**

Можно обеспечить в отсеке блока АВГ с невзрывозащищенной горелкой зону NE по ГОСТ 31610.10-1-2022 за счет комплексного выполнения следующих требований:

- давление газа в отсеке не должно превышать 200 кПа;
- технологический процесс должен вестись с применением открытого огня;
- на вводе газа в отсек должны быть установлены быстродействующие запорные клапаны, отключающие подачу газа по сигналу загазованности;

- электродвигатели вентиляторов, включаемых перед началом работы АВГ, и их пускатели, выключатели и др., если они размещены внутри отсека, должны быть взрывозащищенными;
- для контроля утечек в отсеке использовать газоанализаторы горючих газов, которые при 10 % НКПРП должны подать сигнал на оперативное перекрытие подачи топливного газа в отсек.

*Примечание.* По мнению разработчиков АСКЗ, при низком давлении газа скорость поступления утечки в помещение с горелкой настолько незначительная, что не образуется взрывоопасное облако значительного объема, т.к. поступивший в помещение газ успевает выгорать на открытом пламени.

### Классификация зоны NE в помещении отсека ГТУ с невзрывозащищенным ГТД

В газотурбинном двигателе в качестве топлива используется взрывоопасный природный газ. Принудительная вентиляция в отсеке с ГТД как охлаждает двигатель, так и снижает вероятность образования взрывоопасной среды вокруг него, обеспечивая разбавление утечек топливного газа в отсеке ГТУ. Как следствие, необходимо обеспечить, чтобы вид взрывозащиты двигателя соответствовал классу взрывоопасной зоны в отсеке ГТУ. Например, зарубежные разработчики позиционируют эту зону как взрывоопасную (2-го класса при работающей вентиляции и 1-го класса в случае отказа вентиляции) и, как следствие, применяют взрывозащищенные двигатели. При этом в составе российских ГПА могут применяться невзрывозащищенные ГТД, для которых взрывобезопасность не подтверждена сертификатами соответствия требованиям ТР ТС 012/2011.

Давление топливного природного газа в ГТД более 1000 кПа обеспечивает высокую (сверхзвуковую) скорость утечки. Однако, согласно п. 4.4.2 ГОСТ 31610.10-1-2022, «зона незначительной протяженности предполагает наличие незначительной скорости утечки или пренебрежимо малое количество утечки». Как следствие, задачей разработчика ГПА на базе невзрывозащищенных ГТД является снижение риска до приемлемого уровня за счет ограничения количества утечки. При этом в подпункте 5.1 «Общие положения» п. 5 «Метод классификации взрывоопасных зон» ГОСТ 31610.10-1-2022 указано, что «контроль функциональной безопасности в соответствии с требованиями стандарта по функциональной безопасности можно учитывать при классификации взрывоопасных зон».

Табл. 5.

#### Анализ образования взрывоопасной газозавоздушной смеси в отсеке ГТУ

| Параметр   | Загазованность в отсеке ГТУ  |
|------------|--|
| Отклонение | Больше   |
| Причина    | В качестве потенциальных источников утечки выступают фланцевые соединения и гибкие металлические вставки (сильфоны в оболочке):<br>- для типовой утечки через уплотнительное кольцо фланцевого соединения (в приложении В.5 «Размеры проемов и радиус утечки» ГОСТ 31610.10-1 дано руководство по размерам отверстия утечки) можно расчетом обосновать, что вентиляция отсека ГТУ обеспечивает зону NE за счет разбавления газа воздухом до безопасных концентраций;<br>- расчетом не обосновать, что вентиляция отсека ГТУ обеспечивает зону NE для утечки через компенсирующие элементы (гибкие вставки) т.к. отсутствуют типовые данные по размерам утечки для таких сильфонов (при этом нельзя исключить расширение отверстия утечки до опасного размера). |
| Следствие  | Риск взрыва/пожара вызван тем, что из-за повышенного (более 10 бар) давления топливного газа может произойти расширение первоначально возникшего отверстия утечки в сильфоне. Отверстие утечки может быть от безопасного размера «булавочного укола» (вентиляция обеспечит разбавление газа до безопасных концентраций у потенциальных источников воспламенения) до опасного разрыва (вентиляция не обеспечит безопасных концентраций).<br>При этом в качестве потенциального источника воспламенения взрывоопасной газозавоздушной смеси может выступать невзрывозащищенное электрооборудование и раскаленные поверхности ГТД.  |
| Действие   | Перекрытие газа, обесточивание невзрывозащищенного технологического оборудования, оповещение об отказе взрывозащиты, противомарийный останов агрегата со стравливанием газа.   |

Зарубежные разработчики, использующие стандарты по функциональной безопасности для оценки рисков, могут применять метод графа рисков. Он направлен на снижение риска до приемлемого уровня для промышленных процессов, протекающих в объектах защиты, к которым можно отнести и компрессорные станции. Указанный метод основан на принципе, что риск пропорционален частоте появления опасного события и размеру его последствий, которые связаны с причинением вреда здоровью, оборудованию или окружающей среде.

При применении метода графа рисков необходимо учитывать, что заданный уровень безопасности специфичен для конкретного процесса, корпорации или отрасли.

#### Примечание.

*В графе рисков уже учтена вероятность возгорания (происойдет возгорание каждого облака взрывоопасных веществ).*

Табл. 6.

#### Оценка риска по графу рисков

| Комбинация параметров графа рисков | Значение риска | Рекомендации по снижению риска   |
|------------------------------------|----------------|--|
| Один летальный исход, маловероятно | Средний риск   | Необходимо обеспечить, чтобы при потенциально опасных утечках из гибких вставок трубопроводных коммуникаций в отсеке ГТУ не образовывалась концентрация газа более 50 % нижнего концентрационного предела воспламенения (НКПВ) вблизи потенциальных источников воспламенения (невзрывозащищенного оборудования и раскаленных поверхностей) |

➤ Фото.

Трубопровод с гибкими вставками (три гибкие вставки закрыты красными чехлами)

➤ Рис.

Защитное устройство трубопровода:

1 - защищаемый трубопровод подвода топливного газа в ГТД с давлением выше 10 бар;  
2 – гибкие вставки;  
3 – экран-отражатель вокруг защищаемого трубопровода 1 с гибкими вставками 2, который отражает и рассеивает газовую струю, истекающую из отверстия утечки;  
4 – зонд отбора газовой пробы из комплекта дистанционного отбора газовой пробы с газоанализаторами горючих газов



Он может быть установлен в ходе обсуждения и соглашения на базе национальных и международных стандартов и правил корпоративной политики, а также под влиянием заинтересованных сторон с необходимой технической подготовкой. Как следствие, применяемый граф рисков должен быть согласован со всеми заинтересованными организациями (в первую очередь с эксплуатирующей организацией, которая будет отвечать за безопасность объекта).

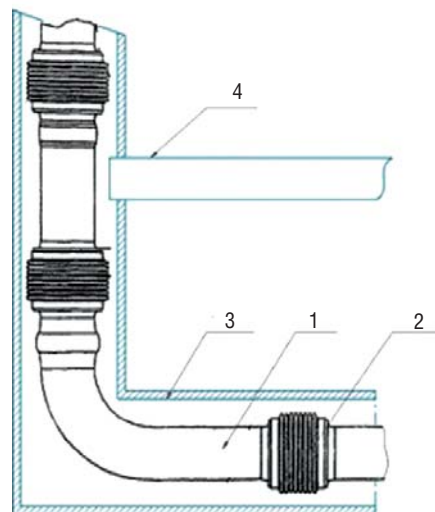
В качестве примера для решения поставленной выше задачи можно рассмотреть упрощенный граф (табл. 4), для которого риск определяется как комбинация вероятности причинения вреда здоровью и серьезности последствий этого вреда.

С точки зрения обеспечения безопасности людей, наиболее серьезные последствия (смерть одного или нескольких человек) связаны с риском образования значительного объема взрывоопасной газозвушной смеси при наличии потенциальных источников воспламенения. Это может быть как невзрывозащищенное электрооборудование, так и раскаленные поверхности технологического оборудования (если их температура превышает температуру самовоспламенения газа). При использовании графа для оценки риска, связанного с образованием взрывоопасной газозвушной смеси (взрыв которой может привести к смерти) в отсеке ГТУ, следует исходить из консервативной оценки, что произойдет возгорание каждого взрывоопасного облака.

В табл. 5 и 6 показан пример оценки риска, связанного с образованием взрывоопасной газозвушной смеси в отсеке ГТУ.

Дополнительный анализ нормативных документов показал:

- в п. 8.2.1 «Общие рекомендации к выбору места установки датчиков» ГОСТ Р 52350.29.2-2010 [11] рекомендовано разме-



щать газоанализаторы горючих газов «вблизи любого потенциального источника крупной утечки газа» и «во всех возможных местах, в которых могут скапливаться газы в опасных концентрациях»;

- в приложении F «Примеры использования концепции зон разбавления» ГОСТ ИЕС 60079-2-2013 [12] даны рекомендации по отделению перегородкой зоны разбавления («зона вблизи внутреннего источника утечки, в которой концентрация воспламеняющегося вещества не уменьшена до безопасного значения») от потенциального источника воспламенения (воспламеняющего устройства).  
С учетом требований нормативных документов может быть рекомендовано защитное устройство для снижения риска при возникновении потенциально опасной утечки из трубопровода с гибкими вставками (фото, где три гибкие вставки закрыты красными чехлами) для подвода топливного газа к ГТД (рис.).

Компрессор устройства дистанционного отбора газовой пробы обеспечивает принудительный отбор газозвушной смеси из контролируемой точки с помощью зонда отбора газовой пробы и подачу ее в газоанализаторы горючих газов (расположенные за пределами отсека ГТУ) после охлаждения. Последовательность действий при возникновении начальной стадии потенциально опасной утечки топливного газа из трубопровода 1 из гибкой вставки 2:

- экран-отражатель 3 отражает и рассеивает возникшую сверхзвуковую газовую струю утечки;
- введенный в зону, ограниченную экраном-отражателем, зонд отбора газовой пробы 4 обеспечивает забор образовавшейся газозвушной смеси устройством отбора газовой пробы с газоанализаторами горючих газов;
- устройство отбора газовой пробы с газоанализаторами горючих газов регистрирует

появление загазованности (например, 20 % НКПП) и выдает сигнал на управляющее устройство системы автоматического управления, которое автоматически формирует сигнал перекрытия топливного газа.

Благодаря съемному (для обеспечения визуального контроля гибкой вставки при техническом обслуживании) экрану-отражателю вокруг потенциального источника опасной утечки образуется застойная, хуже продуваемая вентиляцией, зона. При утечке концентрация газа в застойной зоне будет выше, чем за ее пределами, что позволит своевременно, до момента появления опасной концентрации (выше 50 % НКПВ) вблизи потенциальных источников воспламенения, обнаружить и перекрыть утечку.

#### **Рекомендация**

Использование защитного устройства для локализации взрывоопасной зоны разбавления в продуваемом вентиляцией отсеке ГТУ (например, взрывоопасная зона разбавления вокруг трубопровода с гибкими вставками ограничивается экраном-отражателем и контролируется газоанализатором, по сигналу которого перекрывается утечка) позволит позиционировать данную зону как зону NE и безопасно эксплуатировать невзрывозащищенный ГТД.

На рекомендованное выше техническое решение получен патент на изобретение № 2021130701 «Способ сохранения взрывозащиты невзрывозащищенного газотурбинного двигателя при утечках топливного газа в отсеке газотурбинной установки и защитное устройство для его реализации» [13].

#### **Заключение**

В п. 4.2 ГОСТ 3161010-1-2022 указано: «После классификации установки по зонам и оформления соответствующих документов замена входящего в эту установку оборудования или изменение реализуемого на ней технологического процесса без получения письменного согласия уполномоченного лица (организации), отвечающего за классификацию зон, не допускается. Классификация взрывоопасных зон должна поддерживаться в актуальном состоянии для любого агрегата или изменения режимов эксплуатации. Необходимо проводить анализ на протяжении всего срока службы агрегата».

Учитывая сказанное выше, можно сделать вывод, что при концептуальном изменении национального стандарта по классификации взрывоопасных зон необходимо актуализировать технические решения по взрывозащите ГПА не только при проектировании новых агрегатов, но и при эксплуатации старых. Например, замену импортных газоанализаторов на российское оборудование эксплуатирующей органи-

зации рекомендуется проводить с учетом необходимости обеспечить зону NE по ГОСТ 3161010-1-2022 в отсеках с невзрывозащищенным газоиспользующим оборудованием. При этом проект технического перевооружения взрывозащиты ГПА должен пройти экспертизу промышленной безопасности, в том числе на соответствие актуальным стандартам по взрывозащите. **D**

#### *Литература*

1. ГОСТ 31610.10-1-2022 (IEC 6007910-1:2020) «Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды».\*
2. ПУЭ Правила устройства электроустановок, Информационно-поисковая система NORMACS (система нормативов), версия 4.1.32.529.
3. ГОСТ 30852.9-2002 (МЭК 60079-10:1995) «Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон».\*
4. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии №908-ст от 12.09.2022.\*
5. ГОСТ IEC 60079-10-1-2013 «Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды».\*
6. ГОСТ 31610.10-2012 / IEC 60079-10:2002 «Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон».\*
7. ГОСТ IEC 60079-10-1-2011 «Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды».\*
8. ТР ТС 012/2011 «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах».\*
9. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».\*
10. СП 62.13330.2011 «Газораспределительные системы».\*
11. ГОСТ Р 52350.29.2-2010 «Требования к выбору, монтажу, применению и техническому обслуживанию газоанализаторов горючих газов и кислорода».\*
12. ГОСТ IEC 60079-2-2013 «Взрывоопасные среды. Часть 2. Оборудование с видом взрывозащиты» оболочки под избыточным давлением «р».\*
13. Патент на изобретение №2021130701 «Способ сохранения взрывозащиты невзрывозащищенного газотурбинного двигателя при утечках топливного газа в отсеке газотурбинной установки и защитное устройство для его реализации», приоритет с 20.10.2021, авторы и патентообладатели Карпов С. В. и Попов В. Л., <https://fips.ru/EGD/fca0614c-d7bc-4892-88e0-70d85b928e91>

\* Информационно-поисковая система NORMACS, версия 4.1.32.529



### Уральский турбинный завод изготовил вторую ПТУ для Краснодарской ТЭЦ.

Предприятие реализует контракт на изготовление оборудования для модернизации трех энергоблоков Краснодарской ТЭЦ. На заводе завершена сборка паровой турбины ПТ-150/160-12,8, выполнено опробование ПТУ на валоповоротном устройстве. Основные этапы приемки оборудования проводятся в присутствии представителя заказчика – ООО «Лукойл– Кубаньэнерго».

Три установки ПТ-150/160-12,8 заменят выработавшие свой ресурс агрегаты производства Харьковского турбогенераторного завода. Новые ПТУ будут установлены на существующий фундамент. Турбины такого типоразмера ранее не выпускались на УТЗ – это первые образцы.

Турбина ПТ-150/160-12,8 выполнена в двух цилиндрах. Подвод свежего пара и пара промперегревателя осуществляется в одну горячую зону цилиндра высокого давления. В цилиндре низкого давления выполнен регулируемый (с установкой регулирующей поворотной диафрагмы) отбор пара на теплофикационную установку.

Третья ПТУ будет изготовлена до конца текущего года. Ввод всех энергоблоков в эксплуатацию завершится в 2024 г. Проект реализуется в рамках ДПМ-2. Модернизация энергоблоков повысит надежность объединенной энергосистемы Юга России и позволит снизить энергодефицит Краснодарского края.

### ООО «ЭнергоТехСервис» изготовит энергоблоки для Пермской ТЭЦ.

Предприятие изготовит и поставит три модульные газопоршневые установки ЭТС-11870 для пермского филиала ПАО «Т Плюс». Новое оборудование предназначено для энергоснабжения Левобережной котельной, которая входит в состав ТЭЦ-6. Суммарная электрическая мощность энергоблоков – 4,5 МВт, тепловая – 3,87 Гкал/ч.

ГПЭС будут работать в режиме когенерации. Тепловая энергия выхлопных газов и контуров охлаждения газовых двигателей будет использоваться в тепловых сетях Левобережной котельной.

В проекте применены газопоршневые установки JMS 420 GS-N.L. (INNIO Jenbacher). Сейчас заканчивается изготовление энергоблоков на предприятии в Тюмени. Новое оборудование будет поставлено к месту эксплуатации весной этого года. Шефмонтажные и пусконаладочные работы проведут специалисты «ЭнергоТехСервис» совместно со специалистами ПАО «Т Плюс».

Расширение Левобережной котельной – второй проект ООО «ЭнергоТехСервис» для группы «Т Плюс». Первый агрегат для котельной «Гурзуфская» в Екатеринбурге поставлен филиалу «Свердловский» в 2022 г.

### Специалисты ООО «ИНГК» представили разработки и производственные возможности в ходе Международной деловой поездки в Мумбаи, Индия.

С 13 по 15 марта этого года Центр поддержки экспорта Пермского края организовал деловую поездку в Индию для отечественных экспортеров – промышленных предприятий края. Ее главная тема – «Целостное партнерство Индии и России в условиях нового мирового порядка».

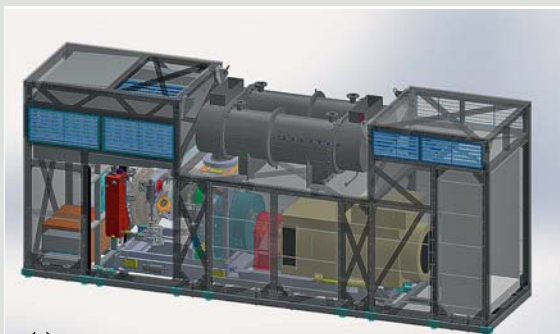
В рамках первого дня прошли встречи с потенциальными поставщиками технологического оборудования, проведены переговоры с компаниями Hind Offshore Private Ltd и Hind Deference Equipment RTV Ltd. Обсуждали вопросы о возможном участии ООО «ИНГК» в нефтегазовых проектах и поставке компрессорного оборудования на морские платформы, в том числе о модернизации компрессорного и энергетического оборудования на существующих объектах.

Во второй день, 14 марта, состоялась рабочая встреча с руководителем Benco Thermal Technologies (компания по производству и поставке широкого спектра теплотехнических систем), проведены переговоры с участием представителей индийских особых экономических зон – SEEPZ.

Участие «ИНГК» в поездке обусловлено тем, что в рамках расширения своего промышленного потенциала компания находится в активном поиске альтернативных партнеров по поставке приводного и компрессорного оборудования, ранее закупавшегося в европейских и американских странах, которые отказались от своих поставок в связи с санкционным давлением на РФ.

Кроме того, специалисты «ИНГК» изучают пути расширения экспортных поставок своей продукции: газоперекачивающих агрегатов, компрессорных установок, газотурбинных энергетических агрегатов, а также их компонентов – за счет взаимовыгодного партнерства с национальными компаниями.





**Производство новых ЭГТЭС КОРВЕТ-1,0 освоено в Саратове.**

МПП «Энерготехника» закончило подготовку серийного производства газотурбинной электростанции ЭГТЭС КОРВЕТ с российским газотурбинным приводом ГТЭА 800 разработки и изготовления ПАО «Калужский двигатель» и генератором ГС-1000 («Электроагрегат»).

Саратовское предприятие «Энерготехника» готово поставлять энергоблоки в диапазоне мощности 1...10 МВт для строительства многоагрегатных электростанций общей мощностью более 100 МВт.

В настоящее время на предприятии завершена сборка головного образца ЭГТЭС КОРВЕТ-1,0 контейнерного исполнения, который будет установлен на площадке особой экономической зоны Уральского федерального округа. Ввод ГТУ-ТЭС в опытно-промышленную эксплуатацию планируется в текущем году.

**Для мясоперерабатывающего комбината в Челябинской области построена ГПЭС.**

Компания «Независимые Энергосистемы» закончила строительство мини-ТЭС для электроснабжения мясоперерабатывающего комбината. Энергоблок создан на базе газового двигателя MAN E3262 LE202 и двухпорного генератора Leroy-Somer 49.3 S4.

Система управления всеми технологическими процессами энергоблока реализована на контроллерах компании Motortech. Режим работы оборудования – «параллель / остров / параллель».

Электрическая мощность мини-ТЭС составляет 530 кВт, тепловая – 630 кВт. Оборудование размещается в цельносварном металлическом утепленном контейнере. Агрегатирование мини-ТЭС и ее запуск в работу выполнили специалисты ООО «Независимые Энергосистемы».

**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

# Анализ и совершенствование конструкции

## основного и вспомогательного оборудования паротурбинных установок

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

В статье показано, что для совершенствования ЖЦ паротурбинного оборудования и достижения высокого уровня унификации турбинного оборудования номенклатурного ряда предприятия следует использовать модульный подход при его создании. Обозначено, что наиболее предпочтительным из модульных принципов для паровых турбин является «принцип LEGO». Рассмотрены приоритетные направления совершенствования ЖЦ паротурбинного оборудования.

### In brief

#### Potential for improving the design of the main and auxiliary equipment of steam turbine plants.

In addition to expert assessments of the technical level of equipment, its unification and standardization, including using special expert scales, it is possible to use enterprise standards or industry standards developed specifically for specific equipment.

There are no such standards in the domestic steam turbine industry, however, individual enterprises within the framework of transformation projects set their own evaluation indicators, their nominal and target levels.

At the same time, earlier domestic turbine plants did not take into account several key indicators when compiling the used nomenclature of indicators for assessing the technical level and efficiency of the equipment being developed and its life cycle. These include individual indicators of purpose, reliability, manufacturability, unification and efficiency.

### Сбор данных и анализ совершенствования конструкции оборудования ПТУ

Для решения задач анализа конструкции и потенциала совершенствования основного и вспомогательного оборудования паротурбинных установок требуется последовательно и циклически реализовывать следующие мероприятия:

1. Организовать обратную связь от собственных участников жизненного цикла (ЖЦ), то есть обеспечивать информирование сотрудников предприятия-изготовителя о протекании ЖЦ оборудования на системной основе. Для этого необходим ограниченный настроенный доступ к PDM- и PLM-системам, к другим служебным площадкам и ресурсам (библиотеки, архивы, файл-серверные площадки, чаты, платформы и др.), обеспечивающим как оперативное системное объединение и контактирование участников процессов сопровождения и совершенствования ЖЦ оборудования, так и связь с информационными ресурсами других цифровых систем. Важно отметить, что качество налаженных связей, информирования и использования ресурсов зависит от количества и квалификации, подготовки и инструктирования работы с ресурсами собственных участников на различных этапах ЖЦ (конструктор, технолог, шеф-инженер, наладчик, сервис-инженер, испытатель и т.д.), а также от доступности и уровня таких информационных ресурсов.

2. Разработать и внедрить механизм сбора информации по оборудованию от сторонних организаций-участников ЖЦ на этапах, где по объективным причинам не могут участвовать собственные сотрудники предприятия-изготовителя. Таким образом, организуется

системная работа по заочному участию предприятия-разработчика и производителя оборудования в сопровождении ЖЦ. Средствами сбора и анализа являются:

- периодические офлайн запросы данных различными специализированными отделами КБ (отделы надежности, эксплуатации, сопровождения сервиса и др.);
- онлайн автоматизированные и автоматические системы мониторинга, прогностики и диагностики оборудования с последующей разноуровневой обработкой;
- формирование профильными конструкторскими отделами КБ информационных бюллетеней и отчетов по эксплуатации и сервису, а также корректировке работы и конструкции оборудования с обязательными требованиями о заполнении эксплуатирующими и сервисными организациями опросных листов;
- проведение конференций и семинаров с эксплуатирующими и сервисными организациями;
- испытания, исследования и др.

Ранее предприятиями частично использовался ГОСТ 19490-74 «Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации», устанавливающий содержание форм учета эксплуатационной информации о надежности изделий: сводного перечня видов отказов изделий и оценок показателей надежности изделия и его составных частей.

3. Анализ информации и оценка потенциала совершенствования оборудования и его ЖЦ с учетом разрыва текущего и целевого состояния на основе знаний и требований современного развития турбинного предприятия.

4. Разработка, имитация, опробование и внедрение мероприятий по совершенствованию оборудования и его ЖЦ.



Помимо экспертных оценок технического уровня оборудования, его унификации и стандартизации, в т.ч. с использованием специальных экспертных шкал, можно использовать стандарты предприятия или отраслевые стандарты, разработанные специально для конкретного оборудования. В отечественном паротурбостроении такие стандарты отсутствуют, однако отдельные предприятия в рамках проектов трансформации устанавливают свои показатели оценки, их номинальные и целевые уровни.

При этом ранее отечественные турбинные заводы при составлении используемой номенклатуры показателей оценки технического уровня и эффективности разрабатываемого оборудования и его ЖЦ не учитывали несколько ключевых показателей. К ним относятся отдельные показатели назначения, надежности, технологичности, унификации и экономичности. Такие показатели обозначены в государственных методических указаниях по оценке технического уровня и качества промышленной продукции и определению уровня унификации и стандартизации [1, 2].

Важными показателями назначения применительно к турбинному оборудованию являются а) конструктивные; б) функциональные показатели.

Функциональные показатели характеризуют полезный эффект от эксплуатации и инновационность технических решений, реализованных в оборудовании, как правило, они являются эксплуатационными или технико-экономическими. К ним относятся удельная мощность, производительность оборудования, эксплуатационная надежность и различные другие выходные показатели, являющиеся результатом качества и свойств оборудования.

Конструктивные показатели характеризуют основные проектно-конструкторские решения: типоразмер, возможности монтажа, пусконаладки и установки оборудования, агрегатирование, взаимозаменяемость и другие. К ним относятся такие важные показатели, как коэффициент сборности (блочности), который можно интерпретировать в коэффициент модульности, характеризующий уровень модульности, если вместо доли элементов в специфицируемых блоках использовать долю элементов в стандартных библиотечных модулях), удельные и присоединительные размеры, многофункциональность, коэффициент эффективности взаимозаменяемости отдельных частей изделия, наличие дополнительных устройств и др.

В соответствии с [1]: «Коэффициент сборности (блочности) изделия характеризует про-

стоту и удобство его монтажа и представляет собой долю конструктивных элементов, входящих в специфицируемые блоки, в общем количестве элементов, входящих в состав изделия.

Коэффициент сборности (блочности) изделия определяют по формуле

$$K_{cb} = \frac{Q_c}{Q_{ob}} = 1 - \frac{Q_n}{Q_{ob}},$$

где  $Q_c$  – количество специфицируемых составных частей изделия;  $Q_n$  – количество неспецифицируемых составных частей изделия;  $Q_{ob}$  – общее количество составных частей изделия, рассчитываемое по формуле

$$Q_{ob} = Q_c + Q_n.$$

Под уровнем унификации и стандартизации изделий понимают насыщенность их, соответственно, унифицированными и стандартными библиотечными составляющими (детальями, модулями, подмодулями), а также уровень унификации с другим оборудованием номенклатурного ряда предприятия.

В соответствии с [1], унифицированными являются:

- составные части изделия, выпускаемые по стандартам данного предприятия, если они используются хотя бы в двух различных изделиях, изготавливаемых этим предприятием;
- составные части изделия, не изготавливаемые на данном предприятии, а получаемые им со стороны в готовом виде в порядке кооперирования;
- заимствованные составные части изделия, т. е. ранее спроектированные для конкретного изделия и примененные в двух или более других изделиях.

Допускается заимствование составных частей у изделий, снятых с производства, при условии, что эти части отвечают современным требованиям и техническая документация на изготовление сохранилась.

Стандарты [1, 2] используются для оценки уровня унификации и стандартизации нескольких основных коэффициентов.

1. Коэффициент применяемости:

$$K = \frac{n - n_0}{n} \cdot 100,$$

где  $n$  – общее число типоразмеров составных частей в изделии;  $n_0$  – число типоразмеров оригинальных деталей, то есть деталей, разработанных впервые для этого изделия.

Коэффициент применяемости может рассчитываться:

- по типоразмерам деталей в соответствии с представленной формулой;

- по сборочным единицам или стандартным библиотечным модульным элементам, тогда вместо  $p$  и  $p_0$  в формуле должно быть общее число и число оригинальных сборочных единиц или модулей в изделии/оборудовании;
- по трудоемкости, массе, стоимости, числу деталей, тогда вместо  $p$  и  $p_0$  в формуле должны быть соответствующие параметры.

2. Коэффициент межпроектной (взаимной) для групп оборудования: серий, семейств, классов) унификации, %:

$$K_{\text{му}} = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \cdot Q}{\sum_{i=1}^N p_i \cdot p_{\text{max}}} \cdot 100,$$

где  $N$  – количество рассматриваемых изделий/оборудования/проектов;  $p_i$  – количество типоразмеров составных частей в  $i$ -м изделии;  $Q$  – общее количество типоразмеров составных частей, из которых состоит группа из  $N$  изделий;  $p_{\text{max}}$  – максимальное количество типоразмеров сборочных единиц одного изделия/проекта.

3. Коэффициент повторяемости составных частей в общем числе составных частей изделия, %:

$$K_n = \frac{N-p}{N-1} \cdot 100,$$

где  $N$  – общее количество всех составных частей изделия;  $p$  – общее количество типоразмеров оригинальных составных частей.

При расчете приведенных коэффициентов крепежные детали, детали соединений, шпонки, прокладки и другие подобные детали не учитываются. Оптимальные уровни унификации и стандартизации оборудования определяются по сравнительной себестоимости различных вариантов производства.

Как следует из приведенных выше формул, для повышения показателей следует закладывать и выполнять высокие требования к конструкции основного оборудования, к принципиальным схемам, компоновкам, характеристикам вспомогательного оборудования. Необходимо максимально эффективно, с мини-

мальными затратами обеспечивать это на этапе КПП, устранять недостатки на этапах ТПП, производства, испытаний, монтажа, пусконаладки с дополнительными затратами на возможную корректировку КПП с последующей доработкой оборудования и всей вспомогательной обвязки. Зачастую это ведет к дублированию затрат на всех последующих этапах до ввода в эксплуатацию, но приведет к серьезному снижению затрат на этапах эксплуатации и сервиса.

На *рис. 1* представлена зависимость влияния участников ЖЦ оборудования на повышение эффективности его сопровождения и затраты на такое совершенствование от начальных этапов жизненного цикла до конечных.

Итак, анализ ЖЦ паротурбинного оборудования показывает, что затраты на реализацию мероприятий по его совершенствованию с аналогичным эффектом на поздних этапах значительно превосходят затраты начальных этапов ЖЦ – соответственно, и влияние участников ЖЦ на совершенствование сопровождения оборудования уменьшается, как собственно и уменьшается количество участников сопровождения ЖЦ, влияющих на эффект.

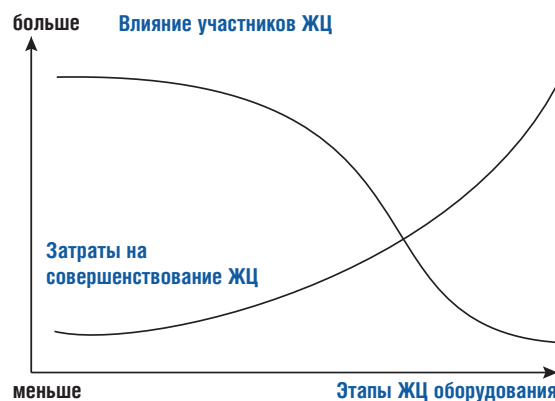
Задачи по внедрению новых решений разделяются на группы в соответствии с местом приложения результатов их решения, то есть этапом ЖЦ оборудования. На *рис. 2* представлено разделение ЖЦ на группы.

Далее обозначены приоритетные группы мероприятий и решений по совершенствованию ЖЦ паротурбинного оборудования.

### Приоритетные направления совершенствования ЖЦ паротурбинного оборудования

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

Таким образом, именно внедренное конструктором «ноу-хау» позволяет достичь максимальных эффектов: от надежности до экономики, что объяснимо, так как именно конструктор (или конструктор вместе с технологом) прорабатывает потенциальное влияние закладываемого решения на весь ЖЦ. А в наукоемком турбинном оборудовании, разработка которого зависит от глубоко проработанных научно-технических решений, такое «явление» максимально выражено.



➤ *Рис. 1.*  
Зависимость влияния участников ЖЦ оборудования на повышение эффективности его сопровождения и затраты на такое совершенствование от начальных до конечных этапов ЖЦ

Для эффективного сопровождения и управления ЖЦ оборудования необходимо на всех этапах без исключения и устраивать «принцип домино», возвращая решение задач максимально на начальные этапы. Максимально эффективным для дальнейшего развития предприятий, участвующих в ЖЦ, будет 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.

Качественное и своевременное выявление приоритетных направлений совершенствования ЖЦ наукоемкого паротурбинного оборудования на всех этапах возможно только с учетом хорошо налаженной обратной связи в адрес начальных этапов цикла, то есть в адрес конструкторов, имеющих возможность решить выявленную проблему с максимальным эффектом. Поэтому уже описанное выше «обратное явление» показывает, что любые технические решения, относящиеся к поздним этапам ЖЦ оборудования и выявленные и реализованные уже только на этих этапах, дают повышенный эффект от внедрения решения, если оно затронет изменение конструкции оборудования при его глубокой модернизации, т. е. «частичный возврат» ЖЦ оборудования и объекта в целом на этапы КТПП и производства, где можно добиться максимум эффекта от внедрения при минимальных затратах.

Необходимо внедрять положительную практику «блиц обратной связи», реализованную на Уральском турбинном заводе: шеф-инженеры являются сотрудниками отдела внешнего монтажа конструкторского бюро, пусконаладкой и сдачей заказчику турбоустановки в составе энергоблока занимаются сотрудники отделов систем управления и исследования турбин в эксплуатации конструкторского бюро. Сопровождением сервиса и производства тоже занимаются специальные отделы КБ с функциональным подчинением отдельному заместителю главного конструктора по сервису, в том числе курирующему проекты модернизаций, и заместителю главного конструктора по производству, курирующему монтаж нового оборудования на объекте.

Концепция модульного создания паротурбинного оборудования в обязательном порядке должна учитывать полноценное участие конструкторского подразделения на всех этапах ЖЦ турбинного оборудования, при этом на



Рис. 2. Разделение жизненного цикла изделия на группы приложения решений

всех этапах подразделениями по принадлежности разрабатываются, внедряются и анализируются на последующих стадиях инженерные и научно-технические решения, что позволяет максимально эффективно автоматизировать процесс и управлять ЖЦ оборудования.

Необходимо отметить, что изначально процессы концептуального проектирования, все стадии КТПП были разработаны для выпуска документации на бумажных носителях. Дальнейшее использование на следующих этапах ЖЦ документации на бумажных носителях вносило существенные ограничения для эффективного обращения информации в производстве, эксплуатации и сервисе оборудования, а цифровые инструменты, модульные подходы к конструированию позволили параллельно участникам ЖЦ в едином информационном поле сопровождать и совершенствовать ЖЦ оборудования, поэтому выведение их на новый уровень является приоритетным направлением.

### Новая концепция: единый системный подход к созданию и производству энергетического оборудования

В общепромышленном значении модуль – это самостоятельное изделие, имеющее автономную документацию на изготовление, полностью собранное, прошедшее испытания и готовое к сборке оборудования. В турбиностроении такое понимание модуля и входящих в него подмодулей / блоков / элементов неприемлемо по отношению ко всем модулям конструкции, так как турбина является динамическим оборудованием, состоящим из статорной и роторной частей. Поэтому к такому пониманию модульной конструкции можно отнести только часть статорной конструкции, собранной из готовых библиотечных стандартных модулей, в которые не входит облопачивание статора.

Облопачивание статора вместе с облопачиванием ротора, а точнее «ротором в сборе», целесообразно разрабатывать от расчета до конструирования совместно, единым «условным параметрическим модулем», который, по сути, является параметрической проточной частью конкретного цилиндра паровой турбины. При этом условность такого модуля заключается в отсутствии необходимости или даже целесообразности по нему формировать конструкторскую структуру, т.е. спецификацию. Нужно сразу разбить на следующий низлежащий уровень – блоки/подмодули: облопачивание статора группы ступеней (отсека/обоймы или цилиндра), диафрагмы и ротора в сборе, каждый из блоков может включать блоки нижнего уровня (входящие сборочные единицы) или элементы (детали).

Основной тезис модульной концепции формирования ряда паровых турбин на предприятии звучит так: при разработке и производстве должен быть обеспечен единый системный подход. Цель модульной концепции – сокращение сроков конструкторско-технологической подготовки производства, обеспечение материалами и компонентами, а также собственно производство оборудования с улучшением его эксплуатационных свойств, позволяющих получить положительный экономический эффект при эксплуатации и обслуживании. Соответственно, концепция должна обеспечивать ограничение библиотеки стандартных модулей при полноценном формировании номенклатурного ряда паротурбинного оборудования для удовлетворения всей потребности заказчиков в выпускаемом предприятии оборудовании.

При разделении паровой турбины на части фактически решается задача образования

структурной схемы изделия, которая используется при построении базовой структуры. При этом необходим системный подход к такому действию по созданию паровой турбины. Необходимо проанализировать все внешние связи изделия, то есть нужна формализация всех граничных условий в виде описания функциональных и геометрических параметров и показателей как оборудования в целом, так и отдельных ее потенциальных составляющих, модулей, подмодулей и других стандартных библиотечных элементов. Затем уточняются функции и геометрия составных частей с возможной переразбивкой, учитывая их взаимодействие внутри конструкции турбины.

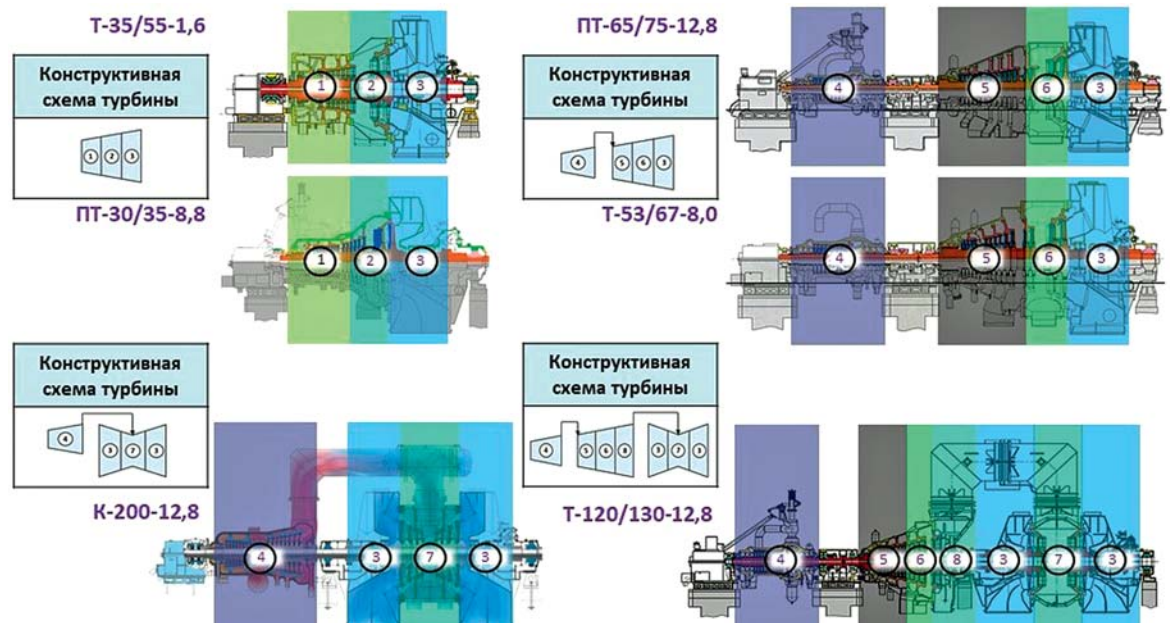
Первым подготовительным этапом для внедрения модульной конструкции в паротурбостроении является разделение паровых турбин на конструктивные части, такое разделение описано в [3, 4]. На рис. 3 представлены примеры разделения паровых турбин разных типов производства АО «УТЗ».

Укрупненное разделение турбин всего номенклатурного ряда предприятия на конструктивные части выполняется для того, чтобы концептуально разделить каждую паровую турбину на части и прийти к единообразному разделению турбин совершенно различных конструкций, типов, схем ПТУ и мощностей. Практически такое действие является предварительным разделением турбин, как крупных, сложных и наукоемких изделий, которые сами состоят из больших наукоемких систем и узлов разного назначения – это затем упростит разделение на модули и их составные части и позволит избежать итерационного уточнения их разделения на всех уровнях и описания составных частей.

Рис. 3.

Разбивка паровых турбин производства АО «УТЗ» на конструктивные части:

- ① Паровпускная часть
- ② Средняя часть
- ③ Выхлопная часть – несколько опций под разные ЧНД
- ④ ЦВД
- ⑤ Паровпускная часть однопоточного ЦСД/ЦНД
- ⑥ Средняя часть ЦСД
- ⑦ Паровпускная часть двухпоточного ЦНД
- ⑧ Выхлопная часть ЦСД трехцилиндровой трубы



Вторым этапом внедрения модульного принципа создания паровых турбин следует считать выбор и принятие типа модульного конструирования. Факторами выбора, как было отмечено, являются качество и глубина ранее обозначенных ключевых базовых принципов, используемых при внедрении унификации и модульных подходов: правильность определения границ унификации, разделения базовой турбины на модули и подмодули и качество обеспечения взаимозаменяемости/применимости модулей и подмодулей.

Также независимо от типа модульного проектирования отмечено важное положение об одновременности формирования профиля каждого семейства/серии/класса с использованием или без использования единой базовой платформы такой конструктивной группы, то есть формирование перечня библиотечных стандартных модулей/подмодулей и разработка таких составляющих, которые бы взаимозаменяемо заполняли облики паровых турбин такой группы.

При этом следует заметить, что следующим этапом внедрения модульной концепции на предприятии с соответствующей школой и историей турбиностроения должно быть переосмысление разделения номенклатурного ряда на группы (семейства/серии/классы) с учетом новых подходов не только к конструкторско-технологической подготовке производства, но и сопровождение всего ЖЦ всей выпускаемой продукции предприятия.

Источник Р 50-54-103-88 [5] указывает на то, что в зависимости от характера задач, решаемых при модульном проектировании, различают конструирование при создании новой техники: а) при отсутствии базового изделия (прототипа, аналога); б) на основе базового изделия (прототипа, аналога).

Такое различие практически полностью соответствует разнице подходов при модульном проектировании паровых турбин: базовая платформа; модульный принцип (без базового изделия или платформы); индивидуальное проектирование.

Автор проводил сравнительный анализ таких подходов и показал, что каждый подход имеет свои преимущества и недостатки, с возможностью достижения максимальных показателей паровых турбин, но при различных затратах на создание образца турбины, модельного ряда, номенклатурного ряда предприятия и на сопровождение ЖЦ такого оборудования, опять же различные для отдельного образца и средневзвешенные для конкретного ряда.

Основной вывод: модульный принцип проектирования, а точнее использование модуль-

ной концепции создания и совершенствования номенклатурного ряда паровых турбин, в которую заложен «принцип LEGO» и единая библиотека стандартных модулей/подмодулей, позволяет добиться большей эффективности ЖЦ всего оборудования турбинного предприятия и более высоких средневзвешенных показателей оборудования, чем использование «базовой платформы», применяемой компанией Siemens, т. е. преимущественно отдельных библиотек для каждой из платформ, создаваемых для серии, семейства с большей оптимизацией составных частей для данного ограниченного модельного ряда.

Такой вывод объясняется фактами, указывающими на создание оптимизированной «скорлупы» с ограниченными возможностями опционной замены частей и систем, что вполне доказывается ограниченностью затрат ресурсов на развитие опций и самой платформы, которые, как правило, развиваются дискретно по отдельному проекту. Это является несколько схожим определением с индивидуальным проектированием за одним лишь исключением: проектируется «базовая платформа», то есть «серия», а не индивидуальный проект. Такая «серия» со своими функциональными ограничениями библиотеки «базовой платформы» предлагается и продается заказчику, который вынужден адаптировать проект к турбине.

Такой вывод дополнительно обосновывается анализом критериев выбора базового изделия. В соответствии с Рекомендациями Р 50-54-103-88 [5], «Критерием выбора базового изделия по всей номенклатуре и значениям его главных и основных параметров является их максимальное соответствие установленным для изделий данного вида базовым показателям качества». Выбрать базовое изделие на всю номенклатуру предприятия невозможно – это представляется возможным только на отдельный модельный ряд. Однако разделение паровых турбин УТЗ или ЛМЗ на конструктивные части показало общие признаки описания совершенно различных образцов/типоразмеров номенклатурного ряда паровых турбин одного предприятия, а это значит, что можно использовать одни и те же модули или даже группу смежных модулей в кардинально различных конструкциях паровых турбин различной мощности и типа.

В соответствии с [5], «Критерием по доминирующим признакам является количественная оценка установленных для изделий данного вида признаков общности (наличие металлоемких, дорогостоящих, быстро- или малоизнашивающихся деталей и т.д.)»,

что указывает на практическую невозможность подобрать базовое изделие для всего номенклатурного ряда. Тогда базовое изделие будет ограничиваться также модельным рядом, для каждого из которых потребуется разрабатывать свое базовое изделие, что также указывает на модульный принцип без базового изделия или платформы.

В соответствии с тем же источником, признаки общности при определении базового изделия устанавливаются в отраслевых стандартах или другой нормативно-технической документации. Это также затрудняет использование базового изделия или платформы и усложняет нормализацию библиотечных стандартных элементов предприятия, увеличивая ряды и усложняя унификацию с возможностью достижения заданного уровня унификации (если не считать унификацию в пределах модельного ряда, т. е. по конкретному классу, семейству или серии).

Исходя из представленных выше аргументов, на турбинном предприятии в паротурбостроении целесообразно внедрять классический модульный принцип без базового изделия номенклатурного ряда и даже модельного ряда, то есть как ранее он был обозначен – «принцип LEGO». Именно такой принцип внедрялся на УТЗ и использовался для разработки оборудования, сначала с паровых турбин для ряда ПГУ, а в дальнейшем и для ПСУ [6–13].

#### Литература

1. РД 50-149-79. Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции.
2. РД 50-33-80. Методические указания. Определение уровня унификации и стандартизации.
3. Валамин А. Е. Опыт разработки проектов паровых турбин с использованием унифицируемых модулей / А. Е. Валамин, А. Ю. Култышев, Ю. А. Сахнин, М. Ю. Степанов, // Теплоэнергетика. 2014, № 12. С. 3-15.
4. Култышев А. Ю. Проектирование паровых турбин ЗАО «УТЗ» для реконструкции, модернизации и нового строительства электростанций с применением современных технологий / А. Ю. Култышев, Т. Л. Шибяев, Ю. А. Сахнин, М. Ю. Степанов, О. А. Самойлов // Сборник докладов 8 Всероссийской конференции «Реконструкция энергетики-2016» (7-8 июня, г. Москва). Москва. – 2016. – С. 28-31.
5. Рекомендации Р 50-54-103-88. Модульные и базовые конструкции изделий. Основные положения. Утверждены и введе-

ны приказом ВНИИНМАШ № 199 от 22.07.1988 в части базовых конструкций взамен ГОСТ 23945.1-80, отменен с 01.07.86. – М.: Ротапринт ВНИИНМАШ, 1989. – 28 с.

6. Валамин А. Е. Теплофикационная паровая турбина Т-125/150-12,8 / А. Е. Валамин, А. Ю. Култышев, А. А. Гольдберг, Ю. А. Сахнин, В. Н. Билан, М. Ю. Степанов, Е. Н. Поляева, М. В. Шехтер, Т. Л. Шибяев // Теплоэнергетика. 2014, № 12. С. 3-11.

7. Valamin A. E., Kultyshev A. Y., Gol'dberg A. A., Sakhnin Y. A., Bilan V. N., Stepanov M. Y., Polyayeva E. N., Shekhter M. V., Shibaev T. L. The T-125/150-12.8 cogeneration steam turbine / Thermal Engineering. – 2014. – vol. 61. – № 12, pp. 849-856.

8. Валамин А. Е. Теплофикационная паровая турбина Т-63/76-8,8 для серии ПГУ-230 / А. Е. Валамин, А. Ю. Култышев, В. Н. Билан, А. А. Гольдберг, Ю. А. Сахнин, М. В. Шехтер, Х. К. Панэке Агилера, М. Ю. Степанов, Т. Л. Шибяев, Е. Н. Поляева // Теплоэнергетика. 2012, № 12. С. 3-12.

9. Valamin A. Y., Kultyshev A. Y., Bilan V. N., Gol'dberg A. A., Sakhnin Y. A., Shekhter M. V., Paneque Aguilera H. C., Stepanov M. Y., Shibaev T. L., Polyayeva, Y. N. The cogeneration steam turbine of the T-63/76-8.8 type for a series of PGU-230 combined cycle power plants / Thermal Engineering. – 2012. – vol. 59. – № 12, pp. 883-892.

10. Валамин А. Е. Теплофикационная паровая турбина Т-40/50-8,8 для ПГУ-115 / А. Е. Валамин, А. Ю. Култышев, В. Н. Билан, А. А. Гольдберг, Ю. А. Сахнин, М. В. Шехтер, Х. К. Панэке Агилера, М. Ю. Степанов, Т. Л. Шибяев, Е. Н. Поляева // Теплоэнергетика. 2012, № 12. С. 13-19.

11. Valamin A. Y., Kultyshev A. Y., Bilan V. N., Gol'dberg A. A., Sakhnin, Y. A., Shekhter, M. V. Paneque Aguilera H. C., Stepanov M. Y., Shibaev T. L., Polyayeva Y. N. The cogeneration steam turbine of the T-40/50-8.8 type for the combined cycle power plant PGU-115 / Thermal Engineering. – 2012. – vol. 59. – № 12, pp. 893-899.

12. Валамин, А. Е. Конденсационная паровая турбина К-65-12,8 / А. Е. Валамин, А. Ю. Култышев, А. А. Гольдберг, Ю. А. Сахнин, В. Н. Билан, М. Ю. Степанов, Е. Н. Поляева, М. В. Шехтер, Т. Л. Шибяев // Теплоэнергетика. 2016. – № 11. – С. 21-26.

13. Valamin A. E., Kultyshev A. Y., Gol'dberg A. A., Sakhnin Y. A., Bilan V. N., Stepanov M. Y., Polyayeva E. N., Shekhter M. V., Shibaev T. L. K-65-12.8 condensing steam turbine / Thermal Engineering. – 2016. – vol. 63. – № 11, pp. 771-776.

## ООО «ДВС Ресурс» построило электростанцию в Ленинградской области.

Предприятие «ДВС Ресурс» изготовило и ввело ГПУ-ТЭС, выполненную на базе двух энергоблоков E3262 LE 202 мощностью по 500 кВт. Станция имеет модульное исполнение и оснащена системой утилизации тепла. Оборудование работает в островном режиме. ТЭС предназначена для энергоснабжения промышленного предприятия. «ДВС Ресурс» осуществляет обслуживание станции и поставку запасных частей.



## Mitsubishi Heavy Industries представила на рынок новую установку когенерационного цикла.

Установка когенерационного цикла SGP M2000 мощностью 2 МВт создана на базе 16-цилиндрового газопоршневого двигателя G16NB, электрический КПД 44,3 %. При разработке конструкции большое внимание было уделено компактности. В результате необходимая площадь для монтажа оборудования на площадке заказчика была сокращена на 40 % по сравнению с предыдущими моделями.

Общая наработка трех пилотных установок на различных объектах в процессе опытно-промышленной эксплуатации на настоящий момент составляет более 50 тыс. часов. За этот период были подтверждены все заявленные параметры, высокая надежность и КПД на различных режимах работы. Поставки установок SGP M2000 заказчиком начнутся в середине текущего года.

Газопоршневой двигатель G16NB был разработан в рамках проекта, реализованного в сотрудничестве с Организацией по развитию новых энергетических и промышленных технологий (NEDO), Япония. Для обеспечения высокого КПД двигателя был предпринят ряд шагов по оптимизации его конструкции. В частности, были использованы стальные поршни с целью повышения максимального давления в цилиндрах, усовершенствованы процессы горения по циклу Миллера за счет двухступенчатой системы наддува, оптимизирована система регулирования момента зажигания для каждого цилиндра.

Благодаря быстрому пуску двигателя и выходу энергоблока на номинальную мощность планируется использовать его для поддержания баланса в энергосети с большим количеством ЭЭС и ВЭС, а также для покрытия потребностей в электроэнергии в периоды пиковых нагрузок. При работе в базовом режиме установка SGP M2000 будет производить электроэнергию, пар или горячую воду для технологических нужд, отопления и кондиционирования.

## АО «Интертехэлектро» и CNPC Jichai заключили соглашение о стратегическом сотрудничестве.

Группа компаний «Интертехэлектро» и крупнейший китайский производитель поршневых двигателей CNPC Jichai Power Company Ltd заключили соглашение о стратегическом сотрудничестве.

Соглашение определяет основные направления и принципы сотрудничества в сфере использования и продвижения продукции Jichai в России. Предполагается, что оборудование Jichai станет приоритетным выбором АО «Интертехэлектро» при реализации проектов в области малой и промышленной энергетики. Китайская компания, в свою очередь, окажет необходимую техническую поддержку, обучит персонал для проведения пусконаладки и ремонта, обеспечит поставку запасных частей. Кроме того, стороны изучат возможность локализации оборудования Jichai в России.

Со стороны АО «Интертехэлектро» соглашение подписал заместитель генерального директора Я. Ю. Сигидов, со стороны Jichai – директор завода Мяо Юн в присутствии председателя правления Чжоу Цзе.

CNPC Jichai Power Company Ltd входит в число крупнейших промышленных предприятий Китая. Основное направление деятельности – производство двигателей внутреннего сгорания мощностью от 200 до 6300 кВт и компрессорного оборудования. Продукция Jichai широко используется в энергетике, нефтегазовой и химической промышленности, судостроении. Поставляется более чем в 60 стран мира.

Группа «Интертехэлектро» с 2001 года участвует в реконструкции энергетики в России. За время работы введены энергообъекты суммарной мощностью более 4000 МВт. В числе заказчиков – крупнейшие энергетические и промышленные компании России: «Роснефть», «ИнтерРАО», «Русгидро», «Т Плюс», «Фортум», «ТГК-2», «ФСК ЕЭС» и другие. В состав ГК «Интертехэлектро» входят головная инженеринговая компания, проектные центры, предприятия по производству энергетического оборудования, монтажу и пусконаладке и др.



# На Курильском острове Парамушир увеличат мощность ДЭС

Е. С. Касьянова – ООО «ВладМодуль»

## In brief

**The capacity of the diesel power station on the Kuril Island of Paramushir has been increased.**

*VladModul Company acted as a contractor for the supply and commissioning of a stand-by diesel generator set to provide small, partial electrical loads of the operating power plant. Thanks to the use of the new diesel power plant, fuel and engine life savings of higher-capacity installations installed at the North Kuril diesel power station on Paramushir Island will be achieved. Cat 3412 diesel power plant with a capacity of 650 kW developed by Caterpillar will be put into operation. The financing of the project is provided by the Ministry of Energy of the Sakhalin region.*

**К**омпания «ВладМодуль» выступила подрядчиком по поставке и наладке резервной дизель-генераторной установки малой мощности для обеспечения малых, частичных электрических нагрузок действующей электростанции. Благодаря применению новой ДГУ будет достигнута экономия топлива и моторесурса установок большей мощности, установленных на Северо-Курильской ДЭС на острове Парамушир.

В эксплуатацию будет введена ДГУ 3412 мощностью 650 кВт производства Caterpillar. Финансирование проекта обеспечено министерством энергетики Сахалинской области. ДГУ будет включена через повышающий трансформатор в единую энергосистему с четырьмя уже работающими ДГУ модели 3516В мощностью по 1600 кВт, напряжением 6,3 кВ.

Дизель-генераторная установка Caterpillar 3412С изготовлена на базе двигателя 3412С ТА с непосредственным впрыском топлива, параллельным турбонаддувом, последовательным охлаждением и электронным управлением. Установка оснащена синхронным генератором CAT SR4В. Использование надежного и экономичного дизельного двигателя 3412С ТА в суровых условиях эксплуатации является оптимальным решением для резервного электроснабжения потребителей. Максимальная

продолжительность автономной работы энергоблока при нагрузке 70 % – без ограничений по времени.

Суммарная мощность дизельной электростанции составит 7 МВт, все ДГУ на станции находятся в рабочем состоянии, плановые капитальные ремонты выполняются согласно рекомендациям завода-изготовителя. Энергоблоки оборудованы системами утилизации тепла с управляемым перепуском выхлопных газов. Модернизированная ТЭС является основным источником электроэнергии и обогревает микрорайон города с центральной районной больницей.

Синхронизация и параллельная работа генераторов обеспечивается установленными ранее контроллерами управления eТЭС ДГУ компании Terberg и контроллером Sumar ECG компании Stucke с функцией работы «параллельно с сетью». Контроллеры Sumar BC обеспечивают функции релейных защит и автоматики РЗА. Резерв установленного при модернизации в 2020–21 гг. оборудования ВРУ и систем управления РЗА позволяет увеличить мощность электростанции без дополнительных затрат.

ТЭС может работать локально и параллельно с энергосистемой, с сохранением характеристик локальной сети. В ближайшее время запланировано увеличение мощности станции в связи с вводом дополнительных электрических нагрузок от рыбопромышленных предприятий о. Парамушир.

Дополнительно компания «ВладМодуль» организовала ремонт и техническое обслуживание контроллеров управления производства компаний Terberg, Sumar, ComAp, Deif, Woodward на базе совместной с Морским университетом им. Г. И. Невельского учебно-производственной лаборатории в г. Владивостоке.

Разработанные инженерами планы и методы диагностики и ремонта для своевременной замены комплектующих шкафов управления позволяют контролировать состояние установленного оборудования и поддерживать его в рабочем состоянии для действующих электростанций Курильских островов, Хабаровского края, Камчатки и Чукотки. **Д**





SAVE THE DATE!

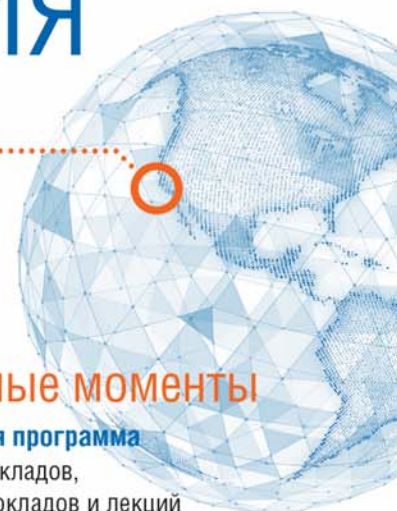
**CIMAC**  
CONGRESS **23**

Бусан, Ю. Корея. 13-17 июня 2023 г.

# БУДУЩЕЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

## 30-й конгресс CIMAC

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



### 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)

## КМПО изготовит оборудование для ДКС на Северо-Русском месторождении (ЯНО).

Предприятие выиграло конкурс на поставку оборудования для ООО «Новатэк–Таркосаленефтегаз». Предприятие изготовит и поставит три газоперекачивающих агрегата ГПА-16 «Волга» мощностью по 16 МВт для дожимной компрессорной станции, строящейся на Северо-Русском месторождении.

Агрегаты будут укомплектованы газотурбинными двигателями НК-16-18СТ, серийное производство которых осуществляется на казанском предприятии. Помимо изготовления оборудования, специалисты КМПО выполняют шефмонтажные и пусконаладочные работы на ДКС.

## В АО «Коломенский завод» разработан энергоблок 1-9ГМГ мощностью 900 кВт.

Энергоблоки предназначены для применения на газопоршневых электростанциях. В сотрудничестве с партнерами предприятие создает установки в контейнерном исполнении.

Энергоблок 1-9ГМГ разработан инжиниринговым центром двигателестроения «ТМХ» на базе газопоршневого двигатель-генератора 9ГМГ газотеплового. Он предназначен для стационарных и передвижных электростанций, которые могут использоваться в качестве основных и резервных источников энергии.

Первые две установки БКЭМ Норд-ГП-900/6,3(10,5)-УХЛ1 смонтированы на Коломенском заводе для обеспечения предприятия электричеством и теплом. Их использование позволит снизить потребление электроэнергии из внешней сети, а также сократить расходы на нее. Создание новых отечественных газопоршневых электростанций способно внести существенный вклад в развитие независимого российского рынка распределенной генерации.

Газопоршневые двигатель-генераторы Коломенского завода имеют, по сравнению с зарубежными установками, ряд преимуществ. Унификация деталей и узлов 1-9ГМГ (до 80 %) с дизельными двигателями Д49 обеспечивает высокую ремонтпригодность, низкую стоимость обслуживания и запасных частей. Применяется распределенная система подачи топливного газа, которая имеет более высокие показатели приемистости по сравнению с двигателями, оснащенными внешней системой топливоподачи.



## RWE завершила установку турбины на морской ветроэлектростанции Kaskasi.

Последняя турбина ветропарка мощностью 342 МВт установлена в Северном море, в 35 км к северу от острова Гельголанд. Планируется полностью ввести ВЭС в эксплуатацию к концу года, она будет обеспечивать электроэнергией более 400 тыс. домохозяйств.

По данным RWE, из 38 ветротурбин SG 8.0-167 DD, установленных на станции, более половины поставляют экологически чистую электроэнергию в сеть.

Ветроэлектростанция базируется на территории общей площадью 17,4 км<sup>2</sup> с глубиной вод от 18 до 25 метров. Предполагаемый срок эксплуатации составит не менее 25 лет. В составе установок используются лопасти производства Siemens Gamesa из переработанного материала.

Благодаря четырем дополнительным ВЭС, строящимися у побережья Германии, компания намерена увеличить мощность своих морских ветроэлектростанций с 3 до 8 ГВт к 2030 году.

## Для Окской судовой верфи в Нижегородской области построят ГПЭС.

Компания «Сервис Юнит» поставит основное оборудование электростанции для АО «Окская судовой верфь» в г. Навашино, а также выполнит пусконаладочные работы.

Мини-ТЭС создается на базе двух газопоршневых блоков JMS 420 GS в контейнерном исполнении. Суммарная электрическая мощность ГПЭС составит 3 МВт, напряжение генератора 6,3 кВ.

Окская судовой верфь специализируется на строительстве нефтеналивных и сухогрузных среднетоннажных судов смешанного плавания, контейнеровозов и барж.

## Для строительства туркомплекса в Мурманской области установлена ДЭС.

Компания «Дизель» поставила на строительную площадку туристического комплекса «Валла Тунтури» в Мурманской области две дизель-генераторные установки АД-320-Т400.

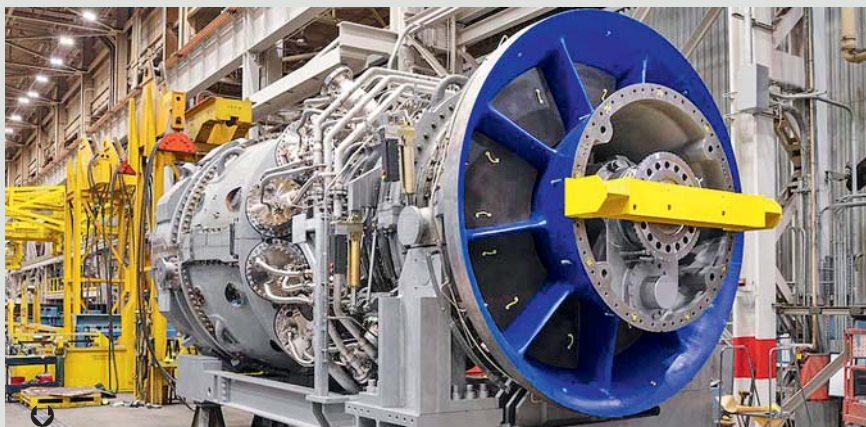
ДГУ созданы на базе двигателей DC13 072A производства Scania (Швеция) и установлены в контейнеры. Энергоблоки изготовлены на заводе компании «Дизель» и доставлены к месту эксплуатации. Специалисты сервисного центра провели шефмонтажные и пусконаладочные работы.

ДЭС обеспечит электроэнергией поселок строителей туристического комплекса. Строительство планируется начать в текущем году. По проекту для «Валла Тунтури» будут оборудованы две взлетно-посадочные полосы, создана инженерная инфраструктура.

## На Красноярской ТЭЦ-3 начался монтаж турбины нового энергоблока мощностью 185 МВт.

Паротурбинная установка изготовлена на Уральском турбинном заводе. Турбина Т-185/220-12,8-NG относится к новому поколению трехцилиндровых теплофикационных турбин. Ее технологической особенностью является реактивное облопачивание, благодаря чему повышается эффективность турбины. Из цилиндра низкого давления перегретый пар поступает в подогреватели сетевой воды.

Ввод энергоблока электрической мощностью 185 МВт, тепловой — 270 Гкал/ч намечен на конец 2024 года. Это повысит качество и надежность энергоснабжения г. Красноярск, создаст новые возможности для развития активно застраиваемого Советского района и микрорайона Покровка. Также с вводом нового энергоблока на ТЭЦ-3 у энергетиков появится возможность перераспределить мощности в городе и разгрузить Красноярскую ТЭЦ-1.



## GE Power заключила контракт на поставку оборудования для электростанции комбинированного цикла в Греции.

Контракт на поставку оборудования заключен с греческой компанией Damco Energy S.A., генеральным подрядчиком строительства электростанции комбинированного цикла мощностью 840 МВт в г. Александруполисе. Одновальная ПГУ спроектирована на базе газотурбинной установки 9HA.02, паровой турбины STF-D650, электрогенератора W88 и котла-утилизатора тройного давления с дожигом. Электростанцию оснастят системой управления Mark VIe стационарного уровня. Основным топливом станции будет природный газ.

Ввод оборудования в эксплуатацию запланирован на 2026 г. Вся производимая электроэнергия будет продаваться в национальную энергосеть. Контрактом предусмотрено техническое обслуживание, ремонт и поставка запасных частей в процессе эксплуатации в течение 14 лет.

Проект реализуется в рамках госпрограммы по реформированию энергетического сектора страны и строительству экологически чистых генерирующих мощностей, работающих на газе, а также СЭС и ВЭС. Быстрые темпы строительства СЭС и ВЭС в регионе ставят перед операторами задачи по поддержанию баланса в энергосистеме и надежному энергоснабжению потребителей.

## Solar Turbines провела испытания ГТЭС на топливной смеси природного газа и водорода.

Компании GRT gaz Deutschland, Open Grid Europe и Solar Turbines провели испытания газовой турбины Titan 130, оснащенной низкоэмиссионной камерой сгорания SoLoNO<sub>x</sub>. КС работает в составе газоперекачивающего агрегата на смеси природного газа и водорода (до 25 %) на компрессорной станции газопроводной системы MEGAL в Вайдхаусе (Бавария). ГПА традиционно используют природный газ, отбираемый из трубопроводной системы, по которой газ транспортируется от чешско-германской границы до германо-французской.

Подготовка к испытаниям началась два года назад, когда на КС была доставлена мобильная установка для подготовки топливной смеси и оборудование для получения водорода. Испытания проводились на топливных смесях с различным содержанием водорода. Была подтверждена возможность работы ГТУ с низкими уровнями выбросов и оптимальным КПД при различных нагрузках и уровнях содержания водорода. Испытания проводились в течение 6 недель, общая наработка ГТУ составила более 200 часов. Были подтверждены надежные пуски установки на топливной смеси.

# Смазочное масло для стационарных газопоршневых двигателей

Гари Гарлинг, Вирджиния Каррик, Аль Хаас, Пауль Мардула, Марк Брайтли –  
The Lubrizol Corporation

## In brief

### A universal stationary gas engine oil.

*A universal stationary gas lubricant could significantly simplify logistics and operators for key players in the industry value chain, specifically oil companies, operating companies and end-users.*

*The simplification of products translates to reduced storage issues and reduced incidences of blending errors by the oil company and reduced instances of charging the wrong oil by the end user.*

*Cost savings, through economies of scale, could be realized by the oil company, operating company and the end-user, as these parties could purchase only one product at higher volumes. The authors have demonstrated it is possible to lubricate different*

*OEM stationary gas engines powered by different gas types running in power-gen applications with a specifically formulated universal oil.*

**П**риродный газ является основным и самым востребованным источником энергии в мире. По прогнозам, мировое потребление природного газа вырастет на 48 % в период до 2040 года, темпы роста его потребления прогнозируются на уровне 1,9 % в год.

Одной из проблем, с которыми сталкиваются операторы стационарных газопоршневых двигателей, является использование различных видов газообразного топлива, включая трубопроводный газ, биогаз, получаемый в результате переработки органических отходов, свалочный газ и пропан. Разные виды топлива оказывают различное воздействие на масла, используемые для смазки двигателей. Более того, газопоршневые двигатели имеют различные варианты применения, включая механический привод и производство электроэнергии в составе электростанций простого и когенерационного цикла.

Условия эксплуатации различных типов двигателей, предлагаемых производителями, также различаются. Соответственно, компании-производители смазочных материалов должны предлагать широкий ассортимент масел для удовлетворения всех специфических запросов заказчиков.

Однако если бы один универсальный продукт мог обеспечить требуемые характеристики для всех вариантов применения, типов газа и моделей двигателей, то производители смазочных материалов могли бы использовать

универсальный комплект присадок и значительно упростить свою задачу. Ключевые участники производственно-сбытовой цепочки отрасли могли бы добиться экономии затрат за счет эффекта масштаба. Закупка только одного продукта в больших объемах заметно снижает затраты. В статье представлены результаты испытаний специально разработанного универсального масла для различных стационарных газопоршневых двигателей, работающих на разных типах газа в составе энергоблоков.

## Варианты применения двигателей

Рынок компримирования газа является крупнейшим потребителем масел для газопоршневых двигателей. Газомотокомпрессоры широко применяются для закачки газа в подземные хранилища, на компрессорных станциях линейной части газопроводов, на нефте- и газоперерабатывающих заводах. Условия работы двигателей в составе компрессорных установок не оказывают существенного воздействия на смазочные материалы.

В отличие от компрессорных установок, требования к смазочным материалам, применяемым для двигателей, работающих в составе энергоблоков, существенно выше. Это связано с более высокими нагрузками и рабочими температурами, оказывающими большее влияние на смазочные масла.



➔ Фото 1.  
Газопоршневой двигатель  
Caterpillar G3516A

➔ Табл. 1.  
Параметры двигателя  
Caterpillar G3516A

| Тип двигателя                       | Caterpillar G3516A |
|-------------------------------------|--------------------|
| Количество и расположение цилиндров | V16                |
| Объем двигателя, л                  | 69                 |
| Диаметр и ход поршня, мм            | 170/190            |
| Мощность, кВт                       | 824                |
| Частота вращения, об/мин            | 1200               |
| Емкость поддона картера, л          | 424                |
| Топливо                             | биогаз             |

Фото 2. Головка поршня



Фото 3. Палец поршня



Фото 4. Боковая крышка цилиндра



Фото 5. Головка блока цилиндров



Фото 6. Клапанная коробка



## Виды топливного газа

Стационарные газопоршневые двигатели работают на различных видах газа. В трубопроводном (или сжиженном) газе обычно содержится 80...99 % метана, без присутствия серы, и небольшое количество диоксида углерода. Для двигателей, работающих на данном типе газа, используется низкотемпературное масло с кислотным числом 4...6 мг КОН/г.

Биогаз обычно содержит 60 % метана, 30 % диоксида углерода и значительное количество серы в виде дисульфида водорода ( $H_2S$ ). В этом случае для обеспечения надежности работы двигателя и установленных интервалов замены масла необходимы смазочные материалы с более высоким щелочным числом, т.е. с большим содержанием гидроксида калия, необходимого для нейтрализации серной кислоты, которая образуется при сжигании кислого газа.

Свалочный газ содержит 40...60 % метана, 30...40 % углекислого газа, а также силоксаны, которые при сгорании в двигателе образуют отложения оксида кремния. При этом увеличивается время, необходимое для технического обслуживания двигателя. Для снижения негативного воздействия силоксанов необходимо использовать специальные смазочные материалы.

## Двигатели различных производителей

Различные типы двигателей по-разному воздействуют на масло в зависимости от конкретных условий эксплуатации. Основными производителями стационарных газовых двигателей являются компании Caterpillar, Waukesha, Jenbacher, Cummins, MWM,

Wartsila, MAN, MTU и Bergen. Каждый производитель предлагает широкий ассортимент двигателей, различающихся по размерам и выходной мощности. И в каждом двигателе срок службы масла различен – в зависимости от размера поддона, расхода масла, рабочего цикла, частоты вращения, нагрузки и температуры.

## Полевые испытания масла Lubrizol SG9L60

Корпорация Lubrizol представила на рынок новую, не содержащую цинка присадку Lubrizol SG9L60 к маслам для стационарных газопоршневых двигателей. При смешивании SG9L60 с базовым маслом в объеме 11,2 % от массы конечный продукт будет иметь следующие свойства: общее кислотное число – 6,1 мг КОН/г, зола – 0,5 % мас.



Фото 7.

Коромысло цилиндра

☞ Фото 8.  
Газопоршневой двигатель  
Guascor SFGM 240



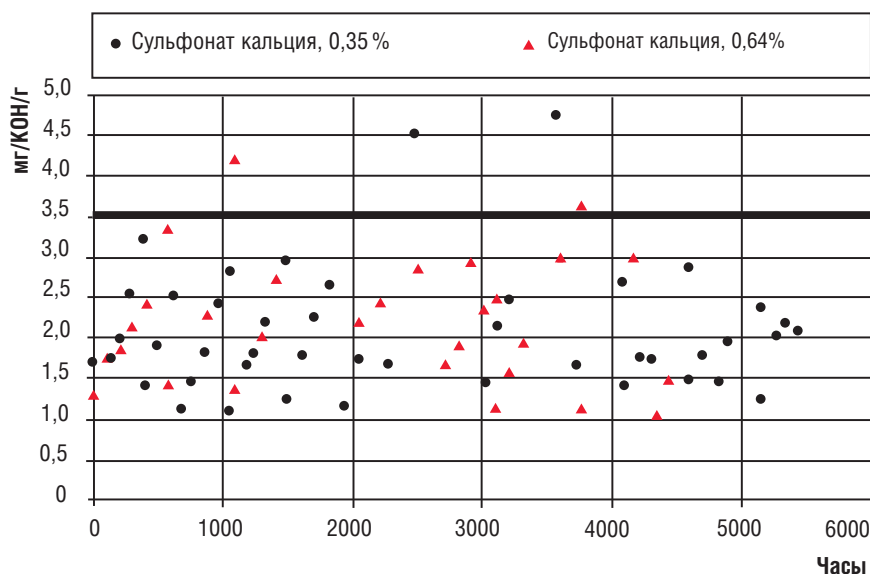
☞ Табл. 2.  
Параметры двигателя  
Guascor SFGM 240

| Тип двигателя                       | Guascor SFGM 240 |
|-------------------------------------|------------------|
| Количество и расположение цилиндров | V18              |
| Объем двигателя, л                  | 24               |
| Диаметр и ход поршня, мм            | 152/163          |
| Мощность, кВт                       | 435              |
| Частота вращения, об/мин            | 1800             |
| Емкость поддона картера, л          | 94,6             |
| Топливо                             | пропан           |

Присадка SG9L60 была разработана специально для двигателей, работающих на свалочном газе, который отличается повышенным содержанием силиконов. При сжигании силиконов вместе со свалочным газом образуется кристаллический диоксид кремния, накопление которого в двигателе может вызвать целый ряд проблем: преждевременное воспламенение, абразивный износ, высокий расход масла, что в конечном итоге приводит к сокращению межремонтных интервалов.

Смазочное масло, содержащее присадку SG9L60, было испытано в полевых условиях на двигателе Caterpillar G3516A, работающем на свалочном газе (фото 1, табл. 1). Нароботка двигателя составила 7 800 часов. При этом не потребовалось никакой механической очистки от отложений оксида кремния. Ранее при работе с использованием другого типа масла, на том же топливе, очистка требовалась после каждых 1 500...1 700 часов эксплуатации. Интервалы замены масла поддерживались на уровне 1 250 часов, расход масла для SG9L60 был вдвое меньше. По расчетам оператора двигателя ежегодная экономия составила \$62 500 на двигатель за счет сокращения расхода масла, про-

☞ Рис. 1.  
Динамика изменения  
показателей кислотного числа



дления межремонтных интервалов, снижения трудозатрат на техническое обслуживание и повышения доходов от производства электроэнергии за счет увеличения времени безотказной работы оборудования.

Компоненты присадки SG9L60 препятствуют скоплению мелких частиц оксида кремния, удерживают их во взвешенном состоянии в масле, не давая оседать на горячих деталях двигателя. После успешного завершения испытаний была поставлена задача выяснить, может ли данная присадка использоваться для смазочных материалов двигателей, работающих на других видах газообразного топлива, а также на двигателях других производителей.

Были проведены испытания масла с присадкой Lubrizol SG9L60 на двигателе Guascor SFGM 240, работающем на пропане в составе энергоблока на заводе по производству смазочных материалов в Пуэрто-Рико (фото 8, табл. 2).

Теплотворная способность пропана составляет 28,095 кВт·ч/м<sup>3</sup>, а природного газа – 10,02 кВт·ч/м<sup>3</sup>. В связи с этим температура горения газообразного топлива в камере сгорания выше. Испытания проходили в течение 10463 часов, интервал замены масла – 850 часов. После каждой замены проводились инспекции состояния масла. Показатели по вязкости, окислению, азотированию, общее кислотное и общее щелочное число оставались в пределах расчетных значений. Фото компонентов цилиндра в течение последней инспекции приведены на фото 2–7.

#### Испытания масла с присадкой SG9L60 на двигателе Caterpillar G3516A, работающем на биогазе

Биогаз образуется в результате бактериального разложения органических веществ. Источниками сырья для производства биогаза являются предприятия пищевой и перерабатывающей промышленности, сельхозпредприятия, мусорные полигоны, предприятия по очистке сточных вод. Исходное сырье поме-

щают в ферментатор, где в процессе анаэробного сбраживания образуется метан. Кроме метана в состав биогаза входят двуокись углерода, а также галогены, такие как фтор и хлор.

Как правило, биогаз имеет низкую теплотворную способность, что обусловлено малым содержанием горючих газов. Чаще всего в состав биогаза входит большое количество сероводорода ( $H_2S$ ), при сгорании которого образуются оксиды серы  $SO_2$  и  $SO_3$ . При соединении  $SO_3$  с водой образуется серная кислота, которая может вызвать сильную коррозию, если ее не нейтрализовать щелочью.

Для подтверждения эффективности применения присадки SG9L60 для смазочного масла были проведены испытания на двигателе Caterpillar G3516A, работающем на биогазе на молочной ферме в США в составе энергоблока, обеспечивающего производство энергии для нужд фермы. Исходным сырьем для получения биогаза служил коровий навоз. Содержание  $H_2S$  в биогазе варьировалось от 200 до 2500 ppm.

До заливки смазочного масла с присадкой SG9L60 в двигателе использовалось судовое масло с содержанием сульфатной золы 1,7 % мас., интервал замены масла составлял 400 часов. После 4000 часов эксплуатации возникли проблемы, связанные с выходом из строя клапанов, стоимость замены которых составила \$200 000. Это было обусловлено высоким уровнем зольности судового смазочного масла.

В связи с этим было принято решение использовать масло с присадкой SG9L60 с повышенным общим щелочным числом для устранения негативных последствий сгорания  $H_2S$ . Содержание сульфоната кальция составило 0,35 % мас. для обеспечения уровня содержания золы до 0,64 % мас. Двигатель отработал 5400 часов, интервалы замены масла – 500 часов. Для увеличения этих интервалов до 600 часов общее щелочное число было увеличено до 0,7 %. После этого двигатель



© Фото 9.  
Отложения на головке блока цилиндров двигателя Caterpillar, работающего на биогазе

отработал еще 4400 часов. Изменение показателей кислотного числа показано на рис. 1.

Испытания двигателя проводились в течение 9800 часов – в результате не было выявлено никаких механических повреждений. По завершении испытаний была проведена комплексная инспекция состояния компонентов двигателя, в частности, головки блока цилиндров (фото 9). «Паразитные» отложения на головках цилиндров практически отсутствовали, изменение цвета отложений могло быть вызвано повышенным содержанием воды в топливе. После технического обслуживания владелец двигателя начал использовать газомоторное масло, содержащее присадку Lubrizol SG9L60.

#### **Испытания масла на двигателе Jenbacher 420C, работающем на свалочном газе**

Испытания масла с присадками Lubrizol SG9L60 проводились на двух двигателях Jenbacher 420C (фото 10) в течение 6000 часов и на двигателе MWM в течение 10000 часов.

| Тип двигателя                       | Jenbacher 420C |
|-------------------------------------|----------------|
| Количество и расположение цилиндров | V20            |
| Объем двигателя, л                  | 61,1           |
| Диаметр и ход поршня, мм            | 145/185        |
| Мощность, кВт                       | 1415           |
| Частота вращения, об/мин            | 1500           |
| Емкость поддона картера, л          | 457            |
| Топливо                             | свалочный газ  |



© Фото 10.  
Газопоршневой двигатель Jenbacher 420C

© Табл. 3.  
Параметры двигателя Jenbacher 420C

В качестве топлива использовался свалочный газ. Один из двигателей Jenbacher 420С работает на полигоне ТБО во Франции. В табл. 3 приведены его рабочие параметры.


При проведении испытаний двигатель был оснащен угольным фильтром для снижения содержания силоксана и  $H_2S$  в свалочном газе. Несмотря на это, уровень  $H_2S$  часто повышался до 1300 ppm, а уровень хлора колебался в пределах 130...330 ppm. Поэтому интервалы замены масла составляли 350 часов. Анализ отработанного масла двигателя Jenbacher, работающего на свалочном газе, проводился через 4000 часов эксплуатации. Азотирования масла обнаружено не было.

Бороскопическая инспекция состояния двигателя проводилась через 3500 часов – все компоненты находились в хорошем рабочем состоянии. На головках цилиндров и головках поршней были видны небольшие отложения, на гильзах некоторых цилиндров наблюдались небольшие лаковые отложения, но отмечены следы хонингования. На фото 4 и 11 показаны головки блока цилиндров, коронки поршня и отверстия гильзы двигателя, работающего на свалочном газе, сделанные во время бороскопической инспекции.


На основании результатов испытаний, бороскопической инспекции двигателя, а также анализа отработанного масла было получено одобрение компании Jenbacher на использование присадок SG9L60 для двигателей.

### Заключение

Присадка Lubrizol SG9L60 была испытана на двигателе Guasco, работающем на пропане, двигателе Caterpillar, работающем на биогазе и двигателе Jenbacher, работающем на свалочном газе. Результаты испытаний показали, что смазочные материалы с универсальной присадкой SG9L60 могут использоваться в различных стационарных газопоршневых двигателях, работающих на различных типах газа в составе электростанций.

Продолжаются полевые испытания смазочных материалов с присадкой Lubrizol SG9L60 для двигателей, работающих в составе электростанций когенерационного цикла и в качестве механического привода компрессорных установок, в которых топливом является трубопроводный газ. 



 Фото 11.  
Отложения на головке блока цилиндров двигателя Jenbacher 420С

### Новый ГПА производства ООО «ОДК Инжиниринг» доставлен на ГЭС «Сахалин».

Компрессорная станция работает в составе газопровода Сахалин – Хабаровск – Владивосток. Агрегат ГПА-16 мощностью 16 МВт для головной компрессорной станции создан на базе газотурбинной установки ГТУ-16П с двигателем ПС-90П-2 производства АО «ОДК-ПМ» (разработчик «ОДК-Авиадвигатель»).

В ГПА будет установлен новый компрессор (СГДУ, подшипники масляные), изготовление которого завершается в НПО «Искра». В настоящее время на КС работают два газоперекачивающих агрегата, укомплектованных компрессорами производства НПО «Искра» и приводами ГТУ-16П.

Первый пусковой комплекс газотранспортной системы протяженностью 1350 км и производительностью более 6 млрд м<sup>3</sup> был введен в 2011 г. Система сможет обеспечить транспортировку около 47,2 млрд м<sup>3</sup> газа, в том числе около 30 млрд м<sup>3</sup> с КС «Сахалин».

*Магистральный газопровод предназначен для обеспечения предприятий и домохозяйств Хабаровского и Приморского краев, Еврейской АО и Сахалинской области. С этой целью будут построены головная компрессорная станция и 13 линейных КС.*

### В г. Верхний Уфалей Челябинской области строится ГПЭС.

Предприятие СМУ-2 ведет строительство ГПЭС мощностью 55,9 МВт по договору генерального подряда. В состав станции войдут 13 энергоблоков TCG 2032V16 (MWM) мощностью по 4300 кВт. Заказчик – Уральская инвестиционная промышленная компания.

В ходе выполнения работ СМУ возведет здание газопоршневой станции, складские помещения, эстакаду турбопровода, радиаторы охлаждения наружного расположения и административный корпус, а также установит дымовые трубы станции высотой 30 метров.

Электростанция обеспечит энергией потребителей прилегающей производственной площадки. Ввод запланирован на текущий год.

### *Gas engine power station is under construction in Verkhny Ufaley, Chelyabinsk Region.*

*SMU-2 is building a 55.9 MW gas engine power station under a general contractor agreement. The station will include 13 power units based on TCG 2032V16 (MWM) engines with a capacity of 4,300 kW each.*





**На предприятии «Тюменские моторостроители» работает новое технологическое оборудование.**

На заводе «Тюменские моторостроители» (входит в группу «Газпром энергохолдинг индустриальные активы») в рамках комплексной программы модернизации введена в эксплуатацию установка гидроабразивной очистки. Она предназначена для очистки поверхности изделий, снижения шероховатости и подготовки поверхностей перед нанесением гальванических покрытий.

Установка представляет собой закрытую герметичную камеру из абразивостойкого полимера, где осуществляется кругооборот гидроабразивной суспензии и ее непрерывная фильтрация. Установка отличается низким уровнем шума и соответствует всем экологическим нормам.

Оборудование будет использоваться при выполнении ремонтных работ для очистки спрямляющих аппаратов и конусов жаровых труб газотурбинных двигателей различного типа. Оснащение механического цеха данной установкой позволит сократить время очистки деталей, снизить трудоемкость и себестоимость выполняемых работ.

**Введен в эксплуатацию после ремонта энергоблок «Навои-2» в Узбекистане.**

На электростанции завершился ремонт второй парогазовой установки – ПГУ начала работать на номинальном режиме. В ремонтных работах приняли участие 150 работников станции и 13 специалистов компании Mitsubishi – изготовителя основного оборудования энергоблока. В результате проведенных работ обеспечивается стабильность производства энергии.

Контракт на поставку оборудования и строительство под ключ энергоблока комбинированного цикла мощностью 450 МВт был реализован консорциумом в составе Mitsubishi Power и Mitsubishi Corporation совместно с турецкой компанией Calik Energi. Заказчик – ГАК «Узбекэнерго».

Mitsubishi Power изготовила и поставила на станцию газотурбинную установку M701F4 мощностью 312 МВт и паровую турбину. Электрогенератор для энергоблока поставлен компанией Mitsubishi Electric Corporation. Разработку проекта, монтаж оборудования, а также все строительные и пусконаладочные работы выполнила Mitsubishi Corporation.

Японские компании также будут выполнять обслуживание и поставку запасных частей для действующих парогазовых установок тепловых электростанций в Узбекистане в рамках программы «Развитие потенциала сектора электроэнергетики».

Ежегодная производительность ПГУ составит 3454 млн кВт·ч электрической и тепловой энергии. За счет снижения расхода топлива будет достигнута экономия до 500 млн м<sup>3</sup> газа. Одной из особенностей проекта является то, что на конденсаторе паровой турбины впервые в Узбекистане применено воздушное охлаждение вместе водяного, что важно в условиях орошаемого земледелия и дефицита воды в республике.

***The Navoi-2 gas turbine power unit has been put into commercial operation in Uzbekistan.***

*The repair of the second combined-cycle gas plant has been completed at the power plant – the CCGT has started operating at nominal mode. 150 employees of the plant and 13 specialists of Mitsubishi Power, the manufacturer of the main equipment of the power station, took part in the repair work. As a result of the work carried out, the stability of energy production is ensured. The contract for the supply of equipment and turnkey construction of a 450 MW combined cycle power station was implemented by a consortium consisting of Mitsubishi Power and Mitsubishi Corporation together with the Turkish company Calik Energi.*

**КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ГАЗОВЫХ И ПАРОВЫХ ТУРБИН**

Siemens  
General  
Electric  
Dresser Rand  
Pratt & Whitney  
Rolls Royce

Максимальная эффективность очистки

**TURBO-K 1:4**

Масла: Aeroshell, Eastman, Total, Shell, Mobil.

Alstom  
Kawasaki  
Ansaldo Energia  
Solar Turbines  
Mitsubishi  
Centrax

ЗАО «Росма» - поставщик оригинальной продукции в РФ и странах СНГ.

www.rosma.ru, тел. +7 (831) 277-38-77

РЕКЛАМА

## Энергоснабжение ТК «Елецкие овощи» обеспечивает ГПЭС на базе энергоблоков JMS 624 GS.

Тепличный комплекс располагается неподалеку от города Ельца в Липецкой области. Предприятие обеспечивает овощной продукцией крупные сетевые магазины.

Чтобы снизить себестоимость продукции и обеспечить надежное автономное энергоснабжение, группа «Рост» построила для тепличного комплекса собственную когенерационную электростанцию на базе шести газопоршневых установок JMS 624 GS электрической и тепловой мощностью по 4,4 МВт. Поставщик оборудования – ООО «Сервис Юнит».

ТЭС мощностью 26,4 МВт работает в рамках локальной сети (островной режим), без синхронизации с энергосистемой города. Тепловая энергия, получаемая при работе двигателей, полностью используется для собственных нужд теплиц (отопление, горячее водоснабжение). Оборудование станции размещается в легкосборном здании вблизи тепличного комплекса.

*В ТК «Елецкие овощи» выращиваются салаты и огурцы. В современных теплицах пятого поколения контролируется весь процесс выращивания растений. Воздушный поток необходимой температуры регулирует влажность и доставляет CO<sub>2</sub> индивидуально каждому растению. Технология позволяет снизить затраты на тепловую энергию на 25% за счет повторного использования тепла.*

### **The power supply of Yeletsky Vegetables greenhouse complex is provided by the gas engine power plant.**

*The greenhouse complex is located near the city of Yelets in the Lipetsk region. The company provides vegetables to large chain stores. In order to reduce the cost of production and ensure reliable autonomous power supply, the Rost Group has built its own cogeneration power plant for the greenhouse complex based on six JMS 624 GS gas engine power plants with an electric and thermal capacity of 4.4 MW each.*



## ГПЭС на базе двигателей КАМАЗ запущена в Нижнем Новгороде.

Сервисные инженеры компании «Кама-Энергосервис» завершили пусконаладочные работы по вводу газопоршневой электростанции общей мощностью 400 кВт.

ГПУ-ТЭС на базе энергоблоков KG-200S производства компании «Кама-Энергетика» состоит из двух газопоршневых установок, установленных в контейнеры «Север». Энергоблоки будут основным источником электроэнергии промышленного предприятия.

Газопоршневые установки созданы на базе двигателей КАМАЗ и эксплуатируются параллельно с сетью, без экспорта электроэнергии. Топливом является природный газ.

## Hyundai Heavy Industries заключила контракт на поставку газопоршневых энергоблоков в Аргентину.

Контракт на поставку трех энергоблоков 16H35GV заключен с компанией POSCO Argentina, которая строит когенерационную электростанцию для завода по производству лития в г. Солт-Лейк-Майн. Строительно-монтажные работы будут завершены в декабре текущего года. Ввод ТЭС в коммерческую эксплуатацию запланирован на второй квартал 2024 г. Завод по производству лития расположен в горах на высоте 4000 метров над уровнем моря, поэтому его энергоснабжение возможно только в островном режиме.

Данный контракт является первым на поставку газопоршневых энергоблоков Hyundai Heavy Industries в Аргентину, и компания рассчитывает получить дополнительные заказы в рамках расширения производственных мощностей завода по производству лития, а также других проектов по добыче полезных ископаемых в Аргентине и соседних странах Латинской Америки.

# ОБЗОРЫ РЫНКА энергетического оборудования

РЕКЛАМА

**Самый полный массив данных по России, СНГ**

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

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

# Энергокомплексы от 1,0 до 10,0 МВт из российских комплектующих



## ЭГТЭС КОРВЕТ-1,0

Выработка электроэнергии, горячей воды  
и технологического пара



- ▶ Полный цикл изготовления и ремонта газотурбинного двигателя на территории РФ
- ▶ Минимально возможные эксплуатационные затраты
- ▶ Надёжный запуск в любых условиях без предварительного прогрева.
- ▶ Низкий расход масла - не более 0,09 кг/ч
- ▶ Оптимальные массогабаритные характеристики
- ▶ Высокая экологичность - уровень вредных выбросов менее 50 мг/м<sup>3</sup>



РЕКЛАМА



ООО «МПП «Энерготехника»  
410040, г. Саратов,  
Деловой проезд, д. 7

Тел. (8452) 55-56-33  
Факс (8452) 63-15-15  
Газсвязь  
Тел./факс (750) 3-10-19, 3-10-59

e-mail: [eng@en-tech.ru](mailto:eng@en-tech.ru)  
[www.en-tech.ru](http://www.en-tech.ru)



ОБЪЕДИНЯЯ  
СИЛЬНЕЙШИХ

## ТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ВЕДУЩИХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ПРОИЗВОДСТВО И КОМПЛЕКСНЫЕ  
ПОСТАВКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ  
ЗАПАСНЫХ  
ЧАСТЕЙ

РЕМОНТ И СЕРВИСНОЕ  
ОБСЛУЖИВАНИЕ  
АГРЕГАТОВ

ГРУППА ПРОМЫШЛЕННЫХ, НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И СЕРВИСНЫХ КОМПАНИЙ.  
КЛЮЧЕВОЙ ИГРОК НА РЫНКЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ОКАЗАНИЯ  
СЕРВИСНЫХ УСЛУГ.

- Производство и комплексные поставки газотурбинного и компрессорного оборудования
- Ремонтно-сервисное обслуживание и инженерно-техническое сопровождение ГТД авиационного и судового типа
- Заводской ремонт и производство запасных частей для газоперекачивающих агрегатов, газотурбинных установок и двигателей
- Инженерно-конструкторское сопровождение
- Производство теплоизоляционных материалов для предприятий энергетического комплекса
- Модернизация и восстановительный ремонт
- Сервисное обслуживание и ремонт оборудования электростанций
- Экспертиза технического состояния оборудования с целью продления ресурса
- Удаленный мониторинг и диагностика энергетического оборудования

ПРОМЫШЛЕННЫЕ АКТИВЫ ГРУППЫ — КРУПНЫЕ РОССИЙСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ:

АО «Невский Завод»

ПАО «Тюменские моторостроители»

АО «Газэнергосервис»

ОАО «Уралтурбо»

ООО «ЦРМЗ»

ООО «ИТЦ»

ООО «ГЭХ Сервис газовых турбин»

РЕКЛАМА

