

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КОМИССИЯ РАН ПО ГАЗОВЫМ ТУРБИНАМ
ОАО «ВСЕРОССИЙСКИЙ ДВАЖДЫ ОРДЕНА
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ»
АССОЦИАЦИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

LX

**Научно-техническая сессия по проблемам газовых турбин
и парогазовых установок**

**«Научно-технические проблемы
проектирования и эксплуатации наземных объектов
с газотурбинными и парогазовыми установками»**

24–26 сентября 2013 г.

Тезисы докладов

Казань 2013

Подписано в печать 27.08.2013. Печать офсетная.
Формат 60×90^{1/16}. Печ. л. 13,25. Тираж 150 экз. Заказ № 33 .
ПМБ ВТИ. 115280, Москва, ул. Автозаводская, 14.

УДК 621 438

Издание подготовлено к печати ОАО «ВТИ» и Ассоциацией газотурбинных технологий.

LX научно-техническая сессия по проблемам газовых турбин и парогазовых установок «Научно-технические проблемы проектирования и эксплуатации наземных объектов с газотурбинными и парогазовыми установками»: тезисы докладов, г. Казань, 24–26 сентября 2013 г., ОАО «ВТИ», 2013 г.

В тезисах отражено краткое содержание докладов, представленных на LX научно-технической сессии по проблемам газовых турбин и на V конкурс молодых конструкторов и научных работников. Тематика докладов охватывает широкий круг вопросов проектирования и эксплуатации наземных объектов с газотурбинными и парогазовыми установками, а также широкий круг научно-технических проблем развития газотурбинных и парогазовых технологий.

Редакционная коллегия:
Член-кор. РАН *Ольховский Г.Г.*
к.т.н. *Гончаров В.В.*

С о д е р ж а н и е

<i>Тимошадченко Д.Н., Пономарева С.В., Рублевский Е.Ю., Письменный В.И.</i> Газодинамический проект проточной части центробежного компрессора для ГПА со степенью сжатия 1,35 и мощностью 32 МВт	7
<i>Смирнов А.В., Костюк В.Е., Кирилай Е.И., Ткаченко Д.А.</i> Трёхмерное моделирование воздушно-газового и теплового режимов укрытий газотурбинных установок	12
<i>Скоробогатых В.Н., Лубенец В.П., Кац Э.Л., Яковлев Е.И.</i> Перспективные материалы и технологические процессы в газотурбинных и парогазовых установках	16
<i>Черёмин А.В., Синицын Ю.Н., Трофимов С.А., Черникова Е.А.</i> Результаты приемочных испытаний газотурбинных газоперекачи- вающих агрегатов в 2012–13 гг.	19
<i>Сальников С.Ю., Щуровский В.А.</i> Унификация технико-технологи- ческих решений компрессорных станций	23
<i>Щербаков Г.Д., Подлозный А.О., Савенков П.В.</i> О назначении и исчислении гарантийных сроков приводных ГТД авиационного и судового типов, применяемых в ГПА ОАО «Газпром»	27
<i>Ромахова Г.А.</i> Анализ влияния эффективности системы охлаждения на показатели газотурбинных установок	33
<i>Боровик С.Ю., Данильченко В.П., Секисов Ю.Н.</i> Диагностика усталостного состояния рабочих лопаток компрессора ГТД	43
<i>Зарянкин А.Е., Рогалев А.Н., Магер А.С.</i> Расчетно-аналитическое исследование возможностей повышения мощности парогазовых установок, работающих на базе одной ГТУ	45
<i>Ведешкин Г.К., Дубовицкий А.Н., Свердлов Е.Д., Белопотанов О.Ф., Сипатов А.М., Хайруллин М.Ф.</i> Разработка и доводка малоэмис- сионной камеры сгорания для ГТУ ОАО «Авиадвигатель» с высокими термодинамическими параметрами	51

<i>Ведешкин Г.К., Дубовицкий А.Н., Свердлов Е.Д., Гасуль М.Р., Кириченко Р.Е., Иевлев Д.Г.</i> Разработка малоэмиссионной камеры сгорания для ГТЭ110М НПО «Сатурн»	54
<i>Панкрушина Т.Г., Хорошев А.А., Ерохина И.В.</i> Подход к оценке потенциальных масштабов развития теплофикации с использованием парогазового и газотурбинного оборудования	56
<i>Грибин В.Г., Дмитриев С.С., Васильев К.Е.</i> Выбор размеров силовых стоек диффузорного выхлопного патрубка ГТУ	61
<i>Парафейник В.П., Шевчук В.В.</i> Некоторые вопросы совершенствования газотурбинного привода турбокомпрессорных агрегатов газовой и нефтяной промышленности	66
<i>Галанцев Н.К.</i> Конструкции КВОУ для газотурбинных установок на примере разработок компаний «AAF» и «Мультифильтр»	72
<i>Блинов В.Л., Комаров О.В., Седунин В.А., Скороходов А.В.</i> Результаты испытаний осевого компрессора с изменённым лопаточным аппаратом	78
<i>Осинов Б.М., Хамматов А.Р., Титов А.В.</i> Программная среда исследования ГТУ в автоматизированной системе газодинамических расчетов энергетических турбомашин (АС ГРЭТ)	80
<i>Гуреев В.М., Кац Э.Б., Мальшикин Д.А.</i> Повышение эффективности газотурбинной энергоустановки за счёт использования энергии выхлопных газов	85
<i>Щуровский В.А.</i> Современная газоконпрессорная техника для Северо-Европейского газопровода	86
<i>Сулимов Д.Д.</i> Итоги эксплуатации ГТУ и ГТЭС разработки ОАО «АВИАДВИГАТЕЛЬ»	88
<i>Иноземцев А.А.</i> Перспективные газотурбинные установки для механического и электрического привода на базе авиационного двигателя пятого поколения ПД-14	91
<i>Васильев В.Д., Булысова Л.А.</i> Исследования неустойчивости процесса горения в малоэмиссионных камерах сгорания ГТУ	95

<i>Ольховский Г.Г., Трушечкин В.П., Радин Ю.А., Маркова В.Н., Глухих И.И.</i> Повышение эффективности ПГУ	104
<i>Радин Ю.А.</i> Особенности переменных режимов ПГУ	109
<i>Зорченко Н.В.</i> Технические требования к обеспечению надежной и эффективной работы ГТУ и ПГУ в энергосистеме России	118
<i>Пикин М.А., Добрый Е.Н.</i> Влияние схемных и компоновочных решений на структуру управления парогазовых установок	124

V Конкурс молодых конструкторов и научных работников

<i>Крундаева А.Н., Маралев А.Ю.</i> Разработка программного комплекса многокритериальной оптимизации корпусов компрессора и турбины	132
<i>Веремеенко Р.В.</i> Возможные варианты модернизации пылеугольных ТЭЦ с установкой оборудования газификации твердого топлива в составе ПГУ	139
<i>Киселев В.А.</i> Расчетные исследования и оптимизация параметров тепловых схем ПГУ с котлом-утилизатором на основе энергетической установки ГТ-32 «Ладога»	145
<i>Цветков М.С.</i> Выделение электростанции с парогазовым энергоблоком на нагрузку собственных нужд по сигналам частотной делительной автоматики энергосистемы	152
<i>Виноградов К.А., Диденко Р.А.</i> Разработка комплексной модели расчета теплогидравлических характеристик ступени турбины наземного ГТД	158
<i>Дробыш М.В., Попова Т.В.</i> Исследование пластинчатого теплообменного аппарата с волновой поверхностью	163
<i>Лобковский Д.С.</i> Эластичные подвижные соединения	167

<i>Гуськов А.А.</i> Расчёт критических скоростей вращения сборного валопровода	174
<i>Ковалева Н.А.</i> Оценка влияния расположения лемнискаты входного устройства ГТУ на изменение гидравлического сопротивления воздухозаборного тракта газоперекачивающего агрегата ГПА-16	181
<i>Дробыш М.В., Киямов Р.Т., Спиридонов К.И.</i> Расчетные исследования характеристик МЭКС в сопровождение разработки ГТУ-25П и ГТД-110	187
<i>Огоньков К.Ю.</i> Анализ влияния режимов горения на эмиссионные характеристики ГТЭ-160 при переходе с диффузионного на кинетическое сжигание природного газа	188
<i>Якимов В.В.</i> Численный анализ кинематических характеристик «гибкого» ротора центробежного компрессора на магнитном подвесе при «падении» и выбеге на страховочных подшипниках	194
<i>Румянцев В.М.</i> Новые энергетические системы со ступенчатым подводом и отводом тепла.....	198
<i>Блинов В.Л.</i> Оптимизация направляющего аппарата осевого компрессора	200

С.В. Епифанов, П.Д. Жеманюк, В.П. Парафейник, И.И. Петухов // Вестник двигателестроения. – 2007. – № 3. – С. 70–76.

3. Парафейник В. П. К вопросу оптимизации геометрии проточной части центробежных компрессоров природного газа / В.П. Парафейник, В.Е. Евдокимов, И.Н. Тertyшный, А.Н. Нефедов // Компрессорная техника и пневматика, № 2. – 2012. – С. 10–17.

КОНСТРУКЦИИ КВОУ ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТОК КОМПАНИЙ «ААГ» И «МУЛЬТИФИЛЬТР»

Галанцев Н.К.

(ЗАО «Мультифильтр», г. Санкт-Петербург, Россия)

Конструктивное исполнение комплексных воздухоочистительных устройств (КВОУ) для газотурбинных установок определяется условиями эксплуатации. КВОУ могут быть статические и импульсные: статические – более дешевые и их используют наиболее часто, импульсные – более дорогие и применяют при экстремальных почвенно-климатических условиях. Срок эксплуатации статических фильтров определяется их пылеемкостью, срок службы импульсных – наработкой до потери свойств (разрыв фильтровальной ткани или критическое повышение сопротивления).

Статическое КВОУ (рис. 1) содержит: 1. Воздухозаборные козырьки; 2. Антиобледенительную систему; 3. Влагоотделители; 4. Ступень предварительной фильтрации; 5. Ступень фильтров тонкой очистки; 6. Ступень (высоко)эффективных (Н)ЕРА фильтров.

Ступень предварительной фильтрации состоит из фильтров класса G4 (EN 779:2002) и применяется для уменьшения пылевой нагрузки на фильтры тонкой очистки F7-F9 (EN 779:2002). Ступень (высоко)эффективных (Н)ЕРА фильтров класса E10, E12, H14 (EN1822:2009) создает более благоприятные условия



Рис. 1. Статическое КВОУ, «AAF»

работы компрессора. Это решение имеет технико-экономические преимущества для работы всего газотурбинного агрегата.

Стандарты для контроля фильтров EN779 и EN1822 не оговаривают воздействия брызг воды и/или нефтепродуктов, которые в обязательном порядке следует учитывать для работающих в морских условиях фильтров. Поэтому изготовители фильтров для КВОУ морского применения создают специальные испытательные стенды для имитации морских условий эксплуатации. Конструкция КВОУ морского применения выполняется по низкоскоростной или высокоскоростной схемам фильтрации.

Импульсные КВОУ могут быть созданы либо на основе круглых картриджей (вертикальных или горизонтальных), либо плоских панелей.

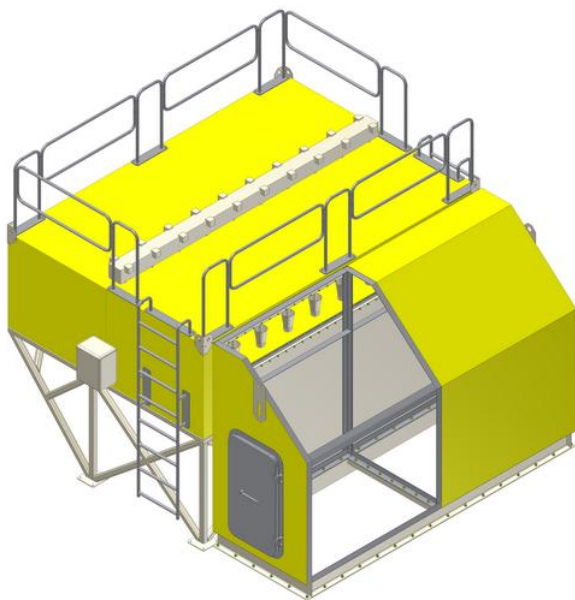


Рис. 2. КВОУ с вертикальными картриджами, «Мультифильтр»

КВОУ с вертикальными картриджами (рис. 2) занимают большие площади, но условия импульсной очистки фильтров являются наилучшими.

Конструкция отличается простотой, уловленная пыль при импульсной очистке вертикальных картриджей сбрасывается непосредственно вниз.

Горизонтальное расположение картриджей (рис. 3) позволяет создавать более компактные КВОУ, но условия по очистке картриджей хуже: пыль с верхних рядов картриджей стряхивается на нижние ряды.

Атмосферный воздух поступает через всепогодные воздухозаборные козырьки, служащие для защиты фильтрующих элементов от воздействия дождя и снега. Пары фильтрующих элементов конусообразной и цилиндрической формы установлены горизонтальными рядами. Конусообразная форма картриджа

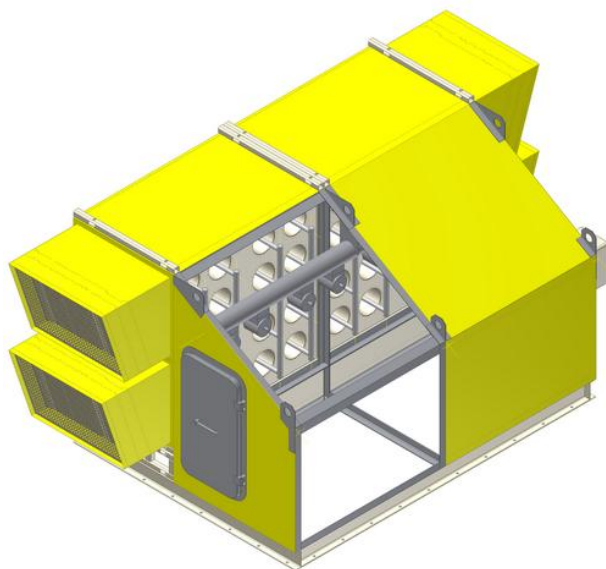


Рис. 3. КБОУ с горизонтальными картриджами, «Мультифильтр»

позволяет увеличить площадь фильтрации и более рационально использовать внутренний объем корпуса устройства. Когда перепад давления на фильтре достигает определенного установленного значения, датчики приводят в действие механизм очистки и через форсунки подается мощный импульс сжатого воздуха, который «стряхивает» с поверхности фильтроэлементов большую часть скопившейся там пыли.

Импульсная очистка осуществляется в автоматическом режиме либо по перепаду давления на фильтре, либо по установленному интервалу времени, а также может проводиться оператором в ручном режиме. Система управления обеспечивает подачу аварийного сигнала при большом перепаде давления на фильтре и при малом давлении в магистрали сжатого воздуха.

Импульсные КБОУ с плоскими панельными фильтрами (рис. 4) производит ААФ.

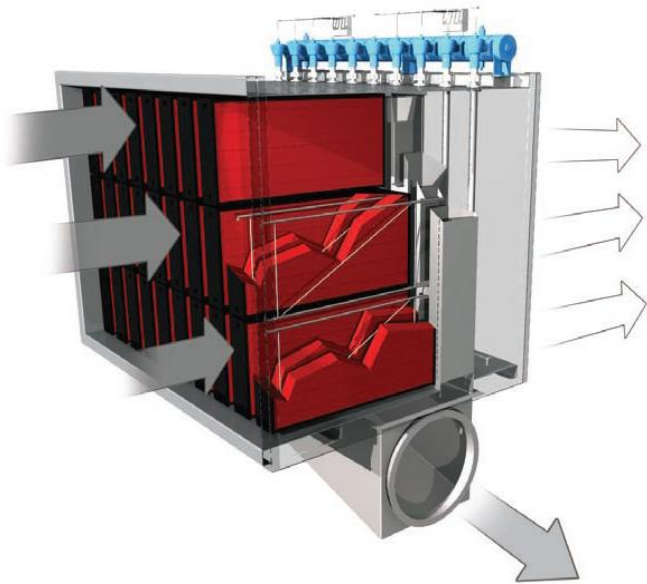


Рис. 4. Импульсное КВОУ с плоскими панельными фильтрами, «ААФ»

В конструкции сочетаются принципы инерционной сепарации и сухой фильтрации. Атмосферный воздух проходит через панельные фильтры и очищается от пыли. Наиболее крупные частицы пыли за счет инерции пролетают мимо фильтрующих панелей и попадают в расположенные за фильтрами вертикальные каналы, этим снижается пылевая нагрузка на фильтрующий материал (до 90 и более процентов по массе во время песчаных бурь). Часть забираемого воздуха (обычно 8–10 % от общего объема) не проходит через панели, а вместе с пылью попадает непосредственно в вертикальные каналы и с помощью вентиляторной системы пылеудаления возвращается обратно в атмосферу вдали от зоны воздухозабора. При импульсной продувке панели пыль удаляется с поверхности фильтра и уносится проходящим потоком воздуха.

КВОУ с плоскими панелями получается более компактным (примерно на 25 %) по сравнению с системами на основе круглых картриджей. Конструкция не требует применения байпасного клапана и противообледенительной системы.

Многие компании, связанные с созданием газотурбинных установок, состоят в European Turbine Network (ETN), сайт <http://www.etn-gasturbine.eu/> и обмениваются опытом для унификации требований к газотурбинным установкам. Компания «AAF International» является членом этой организации.

Выводы и рекомендации

1. При классификации по конструктивному исполнению фильтрующих элементов КВОУ можно разделить на статические и импульсные. Наиболее распространены статические КВОУ, они имеют более высокие технико-экономические показатели для большинства условий эксплуатации. Более дорогостоящие импульсные системы применяются:

- в регионах с высокой пылевой нагрузкой;
- в регионах с низкой температурой, когда возможно забивание поверхности фильтров снегом и инеем.

2. По экономической эффективности можно выделить КВОУ включающие ступень высокоэффективной фильтрации (ступень (Н)ЕРА-фильтры, классы фильтрации E10, E12, H14 по стандарту EN-1822:2009), которая позволяет значительно увеличить срок эксплуатации ГТУ до плановой остановки на техническое обслуживание.

3. КВОУ для морского применения в силу существенных конструктивных особенностей образуют отдельный класс.

4. Инжиниринговая компания «Мультифильтр», опираясь на собственный опыт и в тесном сотрудничестве с компанией «AAF International», имеет возможность выполнить разработку, производство и/или поставку КВОУ для эксплуатации в любых

природно-климатических зонах Российской Федерации и ближнего зарубежья с использованием современных технологий в области фильтрации воздуха:

статические КВОУ;

импульсные КВОУ;

статические и импульсные КВОУ со ступенью НЕРА-фильтров;

КВОУ морского применения;

решения по модернизации существующих КВОУ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА С ИЗМЕНЁННЫМ ЛОПАТОЧНЫМ АППАРАТОМ

Блинов В.Л., Комаров О.В., Седунин В.А., Скороходов А.В.

(Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г Екатеринбург, Россия)

В настоящее время при модернизации и восстановлении технического состояния газотурбинного оборудования неотъемлемой частью является проведение расчётного исследования прочностных характеристик элементов, а также газодинамического расчёта течения в проточной части. При этом в некоторых случаях удаётся выяснить причины нестабильной работы оборудования, необеспечения заявленных характеристик, а также разрушения отдельных элементов.

В ходе расчётного исследования течения в осевом компрессоре установки ГТК-10-4 обнаружено рассогласование отсеков первых и последних ступеней вследствие чего, например, направляющие лопатки четвёртой ступени работают со значительным отрицательным углом атаки (в спинку) в области от корня до 0,8 относительного радиуса.

После перепрофилирования направляющего аппарата четвёртой ступени по результатам расчётного исследования удалось увеличить устойчивость работы компрессора (о чём можно судить