

# Современные конструкции КВОУ для газотурбинных установок

Н. К. Галанцев – ЗАО «Мультифильтр»

## In brief

### Up-to-date designs of inlet air filter units.

*Inlet air filter unit is the component of air inlet path of gas turbine plant. It provides purification of atmospheric air from dust, protection from birds and insects, heating of inlet air in winter and cooling in summer and sound-proofing. Multifilter JSC has great experience in development and manufacturing of inlet air filter unit of various types and designs. The company was created in 2008 on the base of VNIITransmash JSC.*

*Inlet air filter units are developed according to up-to-date design with multi-stage of atmospheric air. First stage of the unit is primary purification stage on the base of multicyclones.*

*The second stage is the stage of fine purification on the base of replaceable pocket filters.*

**К**омплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ) входит в состав воздухозаборного тракта газотурбинного двигателя. Оно обеспечивает очистку атмосферного воздуха от пыли; защиту от птиц и насекомых; подогрев воздуха зимой; охлаждение воздуха летом; шумоглушение [1].

ЗАО «Мультифильтр» имеет большой опыт разработки и производства КВОУ различных компоновочных схем и конструктивного исполнения. Компания создана в 2008 г. на территории ОАО «ВНИИТрансмаш», основанного в 1949 г. и являющегося в настоящее время ведущим научно-исследовательским, конструкторским, испытательным и производственным центром транспортного машиностроения. В 1990-е годы инженерно-технические специалисты предприятия участвовали в создании КВОУ для газоперекачивающего агрегата ГПА-16 Нева (головной разработчик ГПА – Кировский завод, разработчик КВОУ – ВНИИТрансмаш).

КВОУ выполнено по прогрессивной для своего времени схеме с многоступенчатой очисткой воздуха: первая ступень грубой очистки – мультициклоны с системой отсоса уловленной пыли вентиляторами, вторая ступень тонкой очистки – сменные карманные (рукавные) фильтры. Мультициклон разработан на основе прямоточного осевого циклона собст-

венной конструкции (ПКЦ-250 – прямоточный комбинированный циклон диаметром 250 мм), прошедшего этапы расчетного моделирования и экспериментальной обработки.

При разработке КВОУ на специальном пылевом стенде для натурного моделирования выполнен большой объем испытаний и исследований элементов и систем пылеуловителей на расходах воздуха до 20 000 м<sup>3</sup>/ч. Это позволяет методом инструментальных измерений заранее достоверно оценивать эффективность создаваемого КВОУ любой производительности.

В настоящее время применять циклоны в конструкции КВОУ по своим техническим характеристикам не рекомендуется для новых разработок, так как в последние десятилетия появились более совершенные технологии очистки воздуха. Современные КВОУ создаются на базе статических и импульсных круглых (цилиндрических и/или конических) фильтрующих элементов тонкой очистки. Самыми же прогрессивными, с точки зрения технико-экономических характеристик, являются конструкции с плоскими панельными (компактными) фильтрующими элементами [2].

Выбор рационального конструктивного исполнения КВОУ во многом определяется условиями эксплуатации. Они могут быть статическими, при этом фильтрующие элементы не очищаются от уловленной пыли, или импульсными, где фильтры самоочищаются от пыли кратковременными обратными импульсами сжатого воздуха. Статические КВОУ – более дешевые и используются наиболее часто, импульсные – более дорогие, они применяются при эксплуатации в сложных природно-климатических условиях:

- в регионах с высокой пылевой нагрузкой;
- в регионах с низкими температурами при опасности забивания поверхности фильтров снегом и инеем.

Отдельно стоит отметить КВОУ морского применения. Стандарты для контроля фильтрующих элементов EN779 и EN1822 не предусматривают воздействие брызг соленой морской воды и/или продуктов неполного сгорания углеводородов (сажа/копоть), кото-



Рис. 1. Статическое КВОУ компании ААФ

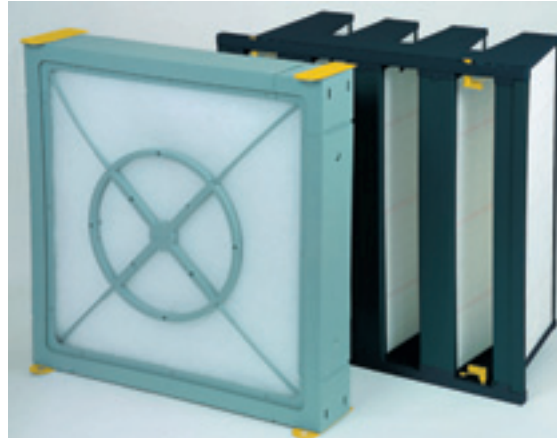


Рис. 2. Картриджные фильтры компании AAF

Рис. 3. Панельный фильтр (ступень предварительной фильтрации) и компактный фильтр (ступень тонкой фильтрации) компании AAF

рое в обязательном порядке следует учитывать для работающих в морских условиях фильтров. Поэтому изготовители фильтров для таких КВОУ создают специальные испытательные стенды для имитации морских условий эксплуатации. Фильтрующие элементы морского применения имеют оригинальную конструкцию, а компоновка КВОУ может быть выполнена по низко- или высокоскоростной схемам фильтрации [

Статическое КВОУ (рис. 1) включает:

- воздухозаборные козырьки;
- влагоотделители;
- ступень предварительной фильтрации;
- ступень фильтров тонкой очистки;
- 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). Фильтры тонкой очистки конструктивно могут выполняться в виде круглых картриджей (рис. 2) или компактных элементов (рис. 3). Они могут быть статическими или импульсными.

Ступень высокоэффективных (Н)ЕРА фильтров класса E10, E12, H14 (EN1822:2009) создает более благоприятные условия для работы турбины, кроме того, увеличивается срок службы между остановами ГТУ, уменьшаются затраты на единицу мощности газотурбинного агрегата. Решение о необходимости применения (Н)ЕРА фильтров принимает изготовитель газовых турбин. В последние годы многие зарубежные производители ГТУ предлагают фильтрацию (Н)ЕРА как опцию для всех новых проектов, а также для модернизации существующих КВОУ. В России КВОУ со ступенью высокоэффективных фильтров пока не нашли широкого применения.

В 2009–2014 гг. ЗАО «Мультифильтр» разработало ряд воздухоочистительных установок

на основе круглых картриджных фильтрующих элементов компании Donaldson, которая на протяжении многих лет лидирует в объеме мировых поставок фильтровальных систем и комплектующих. Опираясь на обширный научно-исследовательский потенциал и развитую производственную базу, Donaldson разрабатывает новые технологии и системы фильтрации.

КВОУ с вертикальными круглыми картриджами занимают большие площади, но условия импульсной очистки фильтрующих элементов в таких конструкциях являются наилучшими. На рис. 4 показано КВОУ, разработанное ЗАО «Мультифильтр», на расход воздуха 80 000 м<sup>3</sup>/ч с фильтрующими элементами Donaldson TTD.

Фильтрующие модули Donaldson TTD имеют вертикальные картриджи. Замена картриджей производится снизу. Пылесборник отсутствует, уловленная пыль сбрасывается вниз. Блок управления выполнен на основе контроллера и позволяет вручную устанавливать режимы работы. Конструкции с вертикальными картриджами отличаются простотой, так как специального пылесборника не требуется.

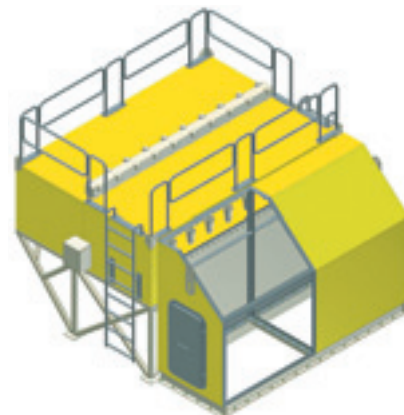


Рис. 4. Импульсное КВОУ компании «Мультифильтр», применены вертикальные картриджи Donaldson TTD

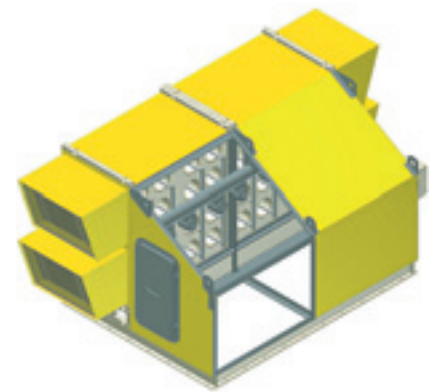


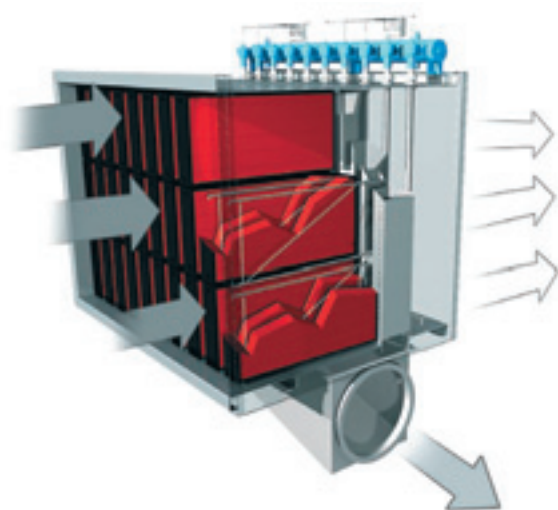
Рис. 5. Импульсное КВОУ компании «Мультифильтр», применены горизонтальные картриджи Donaldson GDХ

Уловленная пыль при самоочистке фильтро-элемента сбрасывается непосредственно вниз, откуда большей частью уносится ветром и атмосферными осадками. Недостатком конструкции являются относительно большие габариты и занимаемые площади. Более компактные решения удается получить при использовании горизонтальных картриджей.

Горизонтальное расположение круглых картриджей позволяет создавать более компактные КВОУ, но условия по очистке картриджей хуже: пыль с верхних рядов стряхивается на нижние ряды. На *рис. 5* показано КВОУ («Мультифильтр») на расход воздуха 80 000 м<sup>3</sup>/ч с фильтрующими элементами Donaldson GDX с горизонтальными картриджами.

Импульсное КВОУ выполнено по схеме одноступенчатой фильтрации. 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 хотя и является менее технологичной, но, по сравнению с цилиндрической, позволяет несколько увеличить площадь фильтрации в заданном внутреннем объеме корпуса КВОУ и получить более благоприятную аэродинамическую схему взаимодействия фильтра с очищаемым воздухом.

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 фильтров большую часть скопившейся там пыли. Оператор может вручную установить значение срабатывания этого механизма в зависимости от конкретных условий. Предлагаемый класс очистки – F7-F9.



➤ *Рис. 6.* Импульсное КВОУ с фильтрующими панельными элементами AAF ASC

Уловленная пыль сбрасывается в пылесборник и удаляется вентиляторной системой отсоса.

Фильтрующие элементы для систем с импульсной продувкой конструктивно могут выполняться не только в виде круглых картриджей, но также и в форме плоских панелей. Компания AAF International (American Air Filter), которая производит широкую гамму фильтров для очистки воздуха, выпускает КВОУ с импульсной системой очистки на основе самоочищающихся плоских панельных фильтрующих элементов.

На *рис. 6* показан общий вид КВОУ с импульсной системой очистки на основе плоских панельных фильтрующих элементов AAF ASC. Фильтрующие элементы могут быть выполнены по классам очистки F7-F9. Атмосферный воздух проходит через панельные фильтры и очищается от пыли. В конструкции сочетаются принципы инерционной сепарации и сухой фильтрации.

Наиболее крупные частицы пыли за счет инерции пролетают мимо фильтрующих панелей и попадают в расположенные за фильтрами вертикальные каналы, в результате снижается пылевая нагрузка на фильтрующий материал (до 90 % и более по массе во время песчаных бурь). Часть забираемого воздуха (обычно 6-10 % 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. Общее количество пыли в атмосферном воздухе не увеличивается, наблюдается лишь незначительное повышение ее концентрации в зоне выброса. Дополнительной очистки воздуха, удаляемого вентилятором отсоса, не требуется.

КВОУ с плоскими панелями, по сравнению с системами на основе круглых картриджей, получается более компактным (примерно на 25 %). 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.

Импульсное КВОУ на основе самоочищающихся плоских фильтрующих панелей типа ASC компании AAF не требует применения антиобледенительной системы для защиты





**С** Фото. Импульсное КВОУ с самоочищающимися фильтрами AAF ASC для ГТУ Trent 60 мощностью 50 МВт (Rolls-Royce). Компрессорная станция «Портовая» магистрального газопровода «Северный поток»

фильтров от обмерзания, а также предохранительного перепускного (байпасного) клапана для защиты от недопустимо большого перепада давления на фильтре. За счет использования данных фильтров КВОУ отличается большей надежностью и простой обслуживания. С учетом более длительного срока эксплуатации фильтров, импульсные ASC в условиях России могут быть рациональной заменой обычным статическим системам (фото).

Такие современные конструкции КВОУ могут применяться для газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций, высокотехнологичных энергетических установок, для компрессорных станций металлургических предприятий, систем промышленной вентиляции.

### Выводы и рекомендации

1. Выбор рационального конструктивного исполнения КВОУ определяется природно-климатическими условиями на месте установки. Фильтрующие элементы 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 и в регионах с низкими температурами.

2. Современные технологии фильтрации компании AAF с использованием импульсных плоских фильтров типа ASC позволяют создавать КВОУ более простой конструкции: без антиобледенительной системы и байпасного клапана. Они имеют повышенную надежность и отличаются простотой обслуживания, являясь рациональной альтернативой КВОУ со статическими фильтрами в большинстве регионов РФ.

3. Инжиниринговая компания «Мультифильтр» имеет опыт разработки и создания

КВОУ различных компоновочных схем и конструктивного исполнения. Опираясь на собственный опыт и в тесном сотрудничестве со своими зарубежными партнерами, компания предлагает заказчикам разработку, производство и/или поставку КВОУ для эксплуатации в любых природно-климатических зонах РФ и ближнего зарубежья с использованием современных высокоэффективных технологий в области фильтрации воздуха:

- статические, импульсные КВОУ;
- статические и импульсные КВОУ со ступенью (Н)ЕРА-фильтров;
- КВОУ морского применения;
- решения по модернизации существующих воздухоочистительных устройств. **Т**

### Использованная литература:

1. Галанцев Н.К. Комплексные воздухоочистительные устройства (КВОУ) для газоперекачивающих агрегатов / Сборник докладов и каталог 5-й Нефтегазовой конференции «Экобезопасность - 2014». 22 апреля 2014 г., Москва. - С. 11-15.

2. Галанцев Н.К. Конструкции КВОУ для газотурбинных установок на примере разработок компаний AAF и «Мультифильтр» / Тезисы докладов LX научно-технической сессии по проблемам газовых турбин и парогазовых установок. 24-26 сентября 2013 г., Казань. - С. 72-78.

3. Галанцев Н.К. Разработка комплексных воздухоочистительных устройств для морского применения на основе воздушных фильтров и технологий AAF International / Труды 11-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO / CIS Offshore 2013). 10-13 сентября 2013 г., С.-Петербург. - С. 172-175.