

**Фрэнк Маскрофт – Engineer of Turbine Air Consultants Pty. Ltd.**

Общее количество возместимых потерь, связанных с системой фильтрации газовых турбин, составляет 80-90 % – все эти потери можно контролировать. Для предприятий, осуществляющих строительство и эксплуатацию электростанций, будет полезно узнать, каким образом можно осуществлять контроль над этими потерями, повышая тем самым КПД турбины и снижая ее эксплуатационные затраты.

## Воздушные фильтры для ГТУ: оптимальный выбор

### IN BRIEF

**Air filter selection to maintain minimum gas turbine operating costs.**

*The total percentage of recoverable losses caused by the combustion air filter system comes to the order of 80 to 90%. Loss mechanisms are controllable and a discussion of how they can be controlled is one objective of this article.*

*Filter differential pressure is a critical aspect of the cost of operating a gas turbine air inlet system.*

*For a base load power plant operating on base load for more than 40% of the year, the filter should be changed at every annual maintenance outage irrespective of their apparent condition. This is because differential pressure caused by extending the life of the filters will cost an additional amount of losses.*

**А**вторы статей, посвященных вопросам фильтрации воздуха в ГТУ, часто некорректно используют данные, взятые из других источников. В результате делаются ошибочные выводы. В частности, в одной из статей утверждается, что опытные специалисты, представляющие производителя фильтров, всегда могут решить проблемы, возникающие при применении системы фильтрации. Автор данной статьи считает, что такое утверждение далеко от действительности, поскольку специалисты, работающие на данную компанию, «продвигают» прежде всего свою продукцию. Следовательно, объективных рекомендаций по выбору оптимальной системы фильтрации они дать заказчику не могут.

### Загрязнение компрессора

Автор настоящей статьи уже более 30 лет осуществляет анализ работы систем фильтрации для газовых турбин, проводя независимые экспертизы для электростанций с целью минимизации их эксплуатационных расходов за счет улучшения качества воздухоподготовки. Полученный опыт позволяет утверждать, что загрязнение компрессора газовой турбины является причиной 70-85 % всех потерь в процессе эксплуатации, которых можно избежать [1]. Если отсутствуют утечки в уплотнениях и воздуховодах, то потери вызваны неэффективной работой фильтров очистки воздуха, поступающего в камеру сгорания.

Кроме того, система фильтрации создает перепад давления на входе газовой турбины, что также приводит к возместимым потерям, которые составляют 5-20 % от всех потерь за период службы системы фильтрации. В итоге, общее количество возместимых потерь, связанных с системой фильтрации, составит 80-90 %. Все эти потери поддаются контролю – каким

образом он должен осуществляться, рассматривается в данной статье.

Компрессор потребляет 50-60 % энергии, вырабатываемой газовой турбиной, – следовательно, все, что оказывает влияние на эксплуатационные параметры компрессора, влияет и на работу двигателя в целом. Загрязнение компрессора – это комплексное явление, однако необходимо отметить, что в современных газовых турбинах, оснащенных передовыми системами фильтрации, размер частиц, вызывающих загрязнение, составляет меньше микрона, а негоревших или частично сгоревших углеводородов – менее 0,2 мкм. Таким образом, можно сделать вывод, что только фильтр тонкой очистки является наиболее важным для предотвращения загрязнения компрессора. И именно к выбору данного фильтра нужно подходить наиболее ответственно. Наибольшая эффективность очистки может быть достигнута при использовании фильтров класса H12 или H13, которые не только обеспечивают оптимальный перепад давления, но и позволяют осуществлять его контроль.

### Перепад давления

В одной из недавно опубликованных в российском журнале статей, посвященных вопросам газовых турбин, утверждается, что «как и загрязнение компрессора, перепад давления в воздухозаборной системе является одной из основных причин снижения КПД и мощности газовых турбин. Однако это не является объектом исследования, так как операторы не могут контролировать данный параметр». Вывод по поводу невозможности контроля перепада давления абсолютно неверен и наводит на мысль, что автор рекламирует (продвигает) фильтры, которые не обеспечивают низкого перепада давления.

*Операторы имеют возможность контролировать перепад давления путем подбора фильтров с большой площадью фильтрации и низким перепадом давления.*

Большинство проектов по строительству электростанций в России (реализуемых в настоящее время и планируемых ТГК и ОГК) основаны на газотурбинных установках V94.2 компании Siemens и их лицензионных версиях (ГТЭ-160), поэтому все расчеты и выводы будут относиться к данному оборудованию.

Потери КПД и мощности в двигателе V94.2 составляют 0,05 и 0,15 % соответственно на каждые 100 Па перепада давления в фильтре. Тепловая мощность газовой турбины V94.2 в стационарных условиях составляет 12000 кДж/кВт·ч. При работе в базовом режиме на номинальной нагрузке она потребляет 16500 кДж/кВт·ч энергии топлива, при этом потери от перепада давления в фильтре составят 0,05 %, или 8,25 ТДж на каждые 100 Па. В стоимостном выражении это составит 53 552 рубля за 1 ТДж на каждые 100 Па, или в целом 441,8 тыс. р. только по топливу. В системе КВОУ газотурбинной установки V94.2 используется 370 фильтров – соответственно, годовые потери только по топливу на каждый фильтр составят 1194 р. на 100 Па перепада давления, что, конечно, является очень значительной цифрой.

Эта же газотурбинная установка при базовой нагрузке вырабатывает 1 375 320 МВт·ч электроэнергии в год. Следовательно, потери мощности 0,15 % соответствуют 2063 МВт·ч, – это 632,16 р./МВт·ч, или 1,304 млн рублей на каждые 100 Па перепада давления. Общие потери по топливу и электроэнергии составят 1,746 млн рублей на каждые 100 Па перепада давления, или по 4718 р. на каждый фильтр. Разумеется, эта сумма намного больше, чем стоимость замены фильтра. Отсюда можно сделать вывод, что рекомендации игнорировать такой показатель, как перепад давления в системе фильтрации, являются в корне неверными.

## **Выбор фильтров**

Назначение КВОУ – защита двигателя от повреждения инородными частицами, а также предотвращение загрязнения компрессора и каналов охлаждения. Последнее требование относится исключительно к фильтру тонкой очистки и касается его эффективности, поскольку все остальные фильтры практически не оказывают влияния на количество загрязняющих веществ, попадающих в двигатель. Их основным назначением является защита фильтра тонкой очистки от повреждения и продление срока его службы.

## **Требования к механическим свойствам фильтров**

Требования к механическим свойствам фильтров, которые используются для очистки воздуха в ГТУ, значительно отличаются от тех, которые применяются для фильтров, используемых в составе систем кондиционирования помещений. Некомпетентность покупателей в данном вопросе часто приводит к ошибочному выбору фильтров для газотурбинных установок. В связи с этим необходимо тщательно изучать требования к фильтрам, которые определены производителями газовых турбин.

Большинство производителей ГТУ указывают в спецификации, чтобы при достижении перепада давления в фильтре более 1,5 кПа поступал сигнал тревоги на пульт оператора, сообщающий о наличии каких-либо проблем или неисправностей в КВОУ. При перепаде давления, достигшем 2,0 кПа, должен быть осуществлен аварийный останов газовой турбины. Кроме того, КВОУ и воздухопроводы должны быть спроектированы таким образом, чтобы выдерживать внешний перепад давления до 2,5 кПа без ощутимых повреждений. Отсюда следует, что максимальный проектный перепад давления для фильтров газовых турбин должен составлять 2,5 кПа во влажных или сухих условиях. Важным фактором является также устойчивость самой системы воздухоподготовки к загрязнению, поскольку оператор ГТУ должен быть уверен в цельности и надежности системы фильтрации.

*Стекловолоконный материал мокрой укладки обеспечивает наивысшую эффективность очистки воздуха в фильтре, поэтому он используется для изготовления фильтров тонкой очистки (в частности, классов F и H) для большинства газовых турбин.* Однако надо учитывать, что практически все виды стекловолоконных материалов отличаются низкой прочностью материала во влажном состоянии. Это означает, что материал фильтра, находясь во влажном состоянии, не выдерживает внешнего перепада давления 2,5 кПа без дополнительных мер по повышению прочности фильтра. Причем, это относится ко всем типам фильтров – и с глубокими складками, и с микроскладками.

Многие заказчики, не подозревая о существовании данной проблемы, приобретают фильтры, применяющиеся в системах кондиционирования, по причине их более низкой стоимости. В результате материал фильтра при высоком перепаде давления во влажных условиях попросту рвется, и это уже является проблемой заказчиков, которые предпочли приобрести фильтры по более низкой цене. *При замене фильтров необходимо убедиться в том, что*

приобретаемые фильтры подходят для использования в составе ГТУ – в их маркировке присутствует аббревиатура «ГТ». Кроме того, нужно обращать внимание на то, чтобы минимальный предел разрыва материала фильтра соответствовал перепаду давления 2,5 кПа независимо от типа фильтра.

### Требования по КПД при замене фильтров

В данной статье нет возможности развернуть глубокую дискуссию по вопросу эффективности фильтров, однако читатели могут обратиться к работам автора по данной теме (копии статей могут быть предоставлены по запросу). Как показывает опыт, в обычных условиях эксплуатации установки V94.2 в базовом режиме и при общей наработке более 40 % может быть достигнута ежегодная экономия более 37 млн рублей за счет использования фильтров класса Н.

На рис. 1 представлен график изменения эксплуатационных расходов в зависимости от количества фильтров и их эффективности [2]. Следует заметить, что существует определенный минимум (нижняя точка графика) с точки

зрения эффективности фильтров: при повышении их эффективности повышается и перепад давления, в результате чего преимущества от дальнейшего увеличения КПД фильтра минимизируются в связи с повышением в данный момент перепада давления.

Для модернизации воздухоочистительных устройств, находящихся в эксплуатации, достаточно эффективными являются фильтры класса Н12. Для новых КВОУ необходимо использовать фильтры Н13, поскольку преимущества от дальнейшего повышения КПД фильтров будут минимизироваться в связи с дополнительными расходами по замене оборудования, а также капитальными затратами.

### Требования по перепаду давления

Как было отмечено, ежегодные потери по топливу и электроэнергии для установки V94.2 в зависимости от перепада давления в системе КВОУ могут составлять 1,746 млн р. на каждые 100 Па. Следовательно, при такой эффективности фильтров перепад давления должен быть максимально снижен, поскольку эксплуатационные расходы на каждые 100 Па будут значительно выше стоимости нового фильтра.

Существуют два важных момента в отношении оптимального перепада давления для каждого конкретного типа фильтров: первый – начальный перепад давления фильтра, второй – динамика повышения перепада давления при его загрязнении пылью. Начальный перепад давления каждого фильтра достаточно легко установить, изучив сертификаты по его испытаниям, которые можно получить у производителя. Необходимо заметить, что покупатели должны всегда требовать сертификаты испытаний, проводимых независимыми лабораториями, и не рассматривать рекламные проспекты как неопровержимое подтверждение эксплуатационных параметров фильтров.

Динамику повышения перепада давления установить гораздо сложнее, поскольку для этого необходимо приобрести набор фильтров для получения данной информации при эксплуатации в условиях конкретной площадки. Автором собраны и проанализированы данные по динамике изменения перепада давления для различных моделей фильтров разных производителей и в различных условиях эксплуатации, с учетом параметров самой ГТУ.

В традиционных стекловолоконных фильтрах, применяемых в КВОУ газовых турбин, и начальный перепад давления, и динамика повышения перепада давления зависят от харак-

Рис. 1. Изменение годовых эксплуатационных затрат в зависимости от количества фильтров и их эффективности

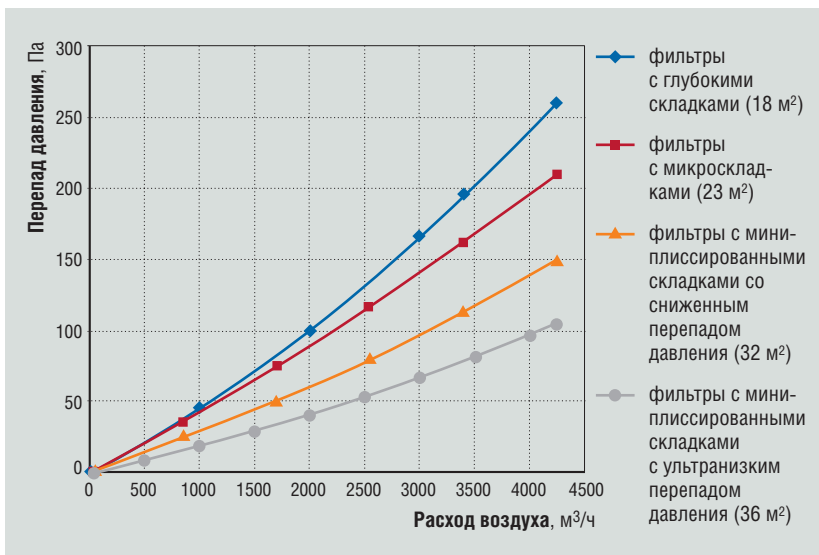
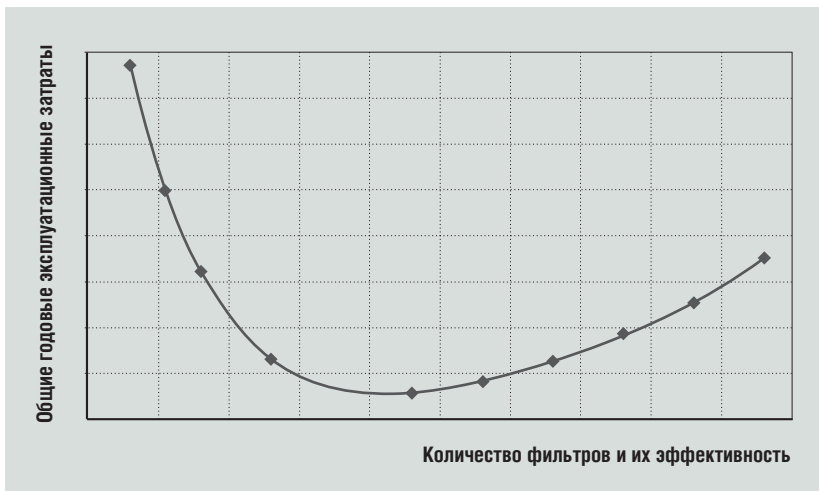


Рис. 2. Сравнение показателей перепада давления для фильтров Н10 с различной площадью фильтрации



теристик материала. В обычных фильтрах с увеличением площади фильтрующего материала снижается оба показателя. Таким образом, фильтры с большей площадью фильтрующего материала имеют более низкую скорость прохождения потока (общий поток, разделенный фильтрующим материалом) и, следовательно, более низкий начальный перепад давления. Также логично предположить, что если взять номинальное количество находящейся в воздухе пыли и распределить ее по поверхности стекловолоконного фильтра, то на фильтре с большей площадью фильтрации количество пыли, осевшей на 1 м<sup>2</sup>, будет меньше. Соответственно, и процесс повышения перепада давления будет более медленным.

На рис. 2 показано сравнение перепада давления стекловолоконных фильтров класса Н10 с различной площадью фильтрации. Видно, что разница в начальном перепаде давления у фильтров с глубокими складками (площадь фильтрации 18 м<sup>2</sup>) и микроскладками (36 м<sup>2</sup>) составляет 150 Па. Учитывая, что ежегодные потери для газовой турбины V94.2 при работе с базовой нагрузкой составляют 1,746 млн р. на 100 Па перепада давления, использование фильтра с микроскладками обеспечит ежегодную экономию в сумме 2,619 млн р., или по 7 078 р. на каждый фильтр. Это значительно большая сумма, чем разница в стоимости данных типов фильтров. Проблема использования фильтров с глубокими складками заключается в том, что это очень старая технология, и количество материала в фильтре ограничено: 18 м<sup>2</sup> – это практически предел для фильтра стандартного размера.

## Заключение

Таким образом, приведенные расчеты и аргументы свидетельствуют о том, что перепад давления в фильтре является одним из важнейших показателей с точки зрения эксплуатационных расходов КВОУ газовых турбин, хотя заинтересованные авторы и игнорируют в последнее время данный аспект. В следующих статьях будут освещены вопросы, связанные с особенностями выбора фильтров предварительной очистки.

В добавление к изложенному, стоит заметить, что для энергоустановки, эксплуатирующейся в базовом режиме в течение 4,5 месяцев в году, замена фильтров должна производиться при каждом останове ГТУ для техобслуживания – независимо от внешнего состояния фильтров. Это обусловлено тем, что любое повышение перепада давления в фильтре вызывает увеличение издержек, как было отмечено ранее.

В данном случае совершенно справедливо утверждение Ихора Дьякунчака (Westinghouse Canada, департамент энергетических технологий) о том, что «расходы на приобретение даже самой дорогой системы очистки воздуха на входе в газовую турбину будут компенсированы путем повышения эксплуатационных параметров ГТУ в процессе работы». ■

### Использованная литература

1. Ihor S Diakunchak. Westinghouse Inc., Gas and Steam Turbine Engineering, Power Generation Technology Division. Performance Deterioration in Industrial Gas Turbines / ASME 91-GT-228.

2. F.W. Muscroft. Combustion air treatment for gas turbines. 1995.

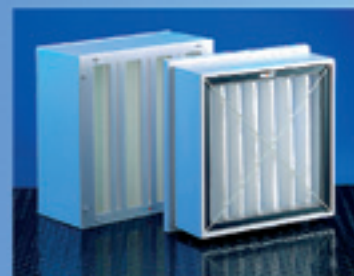
## Длительный срок службы

Сделано в Германии **Высокое качество**

Мы предлагаем информационную и техническую поддержку проектов по КВОУ, а также продукцию для очистки воздуха:

- Влагоотделители
- Карманные фильтры
- Кассетные фильтры
- Комбинированные системы фильтрации
- Подбор оптимальных вариантов для решения специфических проблем заказчика
- Любые типоразмеры и исполнение

Применение:  
газовые турбины, компрессоры, лаборатории, химические производства, системы вентиляции, медицинские и другие учреждения



**EMW**  
filtertechnik 

реклама

Эксклюзивный представитель в России: ООО «EMW Трейд Фильтр»  
111141, Россия, Москва, ул. Электродная, д. 2, стр. 13, подъезд 9, оф. 707  
Тел. (495) 789-40-35, 518-64-70, факс (495) 789-40-35 E-mail: info@emw-filter.ru www.emw-filter.ru