

Стандарт Eurovent: к вопросу о его применении при выборе фильтров для ГТУ

Детлеф Маркс – независимый эксперт

В статье рассмотрены современные стандарты испытания воздушных фильтров для ГТУ, их отличие, а также особенности стандарта Eurovent при проведении технико-экономической оценки при выборе систем воздушной фильтрации.

In brief

Eurovent standard: on the question of its use for the choice of filtration systems for gas turbine plants.

High-quality air filtration is very important for modern gas turbine plants with high efficiency and being very sensitive to dust contamination.

Emergency shut-down of gas turbine plants because of poor filtration systems results in significant penalties to the operator for undelivered electric power to the market. That is why it is very important

to use that particular equipment and replaceable components which give the opportunity to get the maximum economic effect and to maintain operational parameters at a desired level. Up to the present moment air filters standards for gas turbines have not been approved in

Russia. That is why it is necessary to use the international standards during the operation of foreign gas turbines and recommendations of GT manufacturers taking into account the conditions of certain site of operation.

The choice of air filters for gas turbine plants and evaluation of their tests results should be carried out individually.

Качественная очистка циклового воздуха имеет большое значение для современных газовых турбин, обладающих высоким КПД и очень чувствительных к загрязнению. Аварийный останов ГТУ по причине загрязнения проточной части приводит к значительным штрафам оператора за недопоставленную на рынок мощность. Поэтому важно применять именно то оборудование и сменные элементы к нему, которые позволяют получить максимальный экономический эффект и сохранить показатели в процессе эксплуатации.

Международный опыт показывает, 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. Компрессор потребляет 50–60 % энергии, вырабатываемой ГТУ, следовательно, всё, что влияет на эксплуатационные параметры компрессора, влияет и на работу двигателя в целом и его технико-экономические показатели.

Оптимальный выбор и качественная оценка системы фильтрации является достаточно сложной задачей, так как при ее подборе необходимо учитывать большое количество как технических, так и экономических аспектов.

При подборе системы фильтрации и составлении технического задания на проведение конкурсного отбора поставщиков, специалистам важно не только выбрать наиболее эффективный продукт, но и получить документальное подтверждение соответствия заявленным международным стандартам и критериям завода-изготовителя ГТУ.

В связи с растущими требованиями к качеству систем фильтрации КВОУ ГТУ, появились новые критерии для проведения испытаний воздушных фильтров, при которых лабораторные условия испытаний все больше приближаются к реальным.

Какие же стандарты действуют в настоящее время для проведения испытаний воздушных систем фильтрации, применяющихся на газотурбинных установках? Отвечая на этот вопрос, следует разграничить системы фильтрации, используемые в системах кондиционирования и вентиляции, от фильтров, которые применяются в КВОУ газовых турбин. Последние, помимо соответствия международным стандартам качества, должны также соответствовать требованиям завода-изготовителя газовой турбины по обеспечению требуемого межремонтного ресурса, перепада давления на разрыв, защите турбины от проникаемой влаги и растворенных в ней солей и кислот. У таких фильтров обязательно присутствие маркировки «GT» на этикетке с наименованием фильтра. Поэтому каждый производитель ГТУ проводит процедуру аттестации своих поставщиков, в ходе которой необходимо пройти десятки дополнительных лабораторных и натуральных испытаний.

Действующие общие стандарты для испытания воздушных фильтров для большинства сфер применения – EN 779-2012 (для фильтров G, M и F классов) и EN 1822-2011 (для E, H, U классов). Данная сертификация является обязательной для всех производителей фильтрующих элементов в Европе. Для сведения: в странах Северной Америки для испытаний фильтрующих элементов применяется стандарт Ashare 52.2, а классы очистки измеряются по шкале от MERV1 до MERV16. В России в настоящее время для проведения испытаний на определение эффективности фильтров очистки воздуха общего назначения применяются стандарты ГОСТ Р EN 779-2007 и ГОСТ Р EN 18122-1-2010.

Следует также отметить, что существует международный стандарт применения воздушных фильтров для ГТУ – ISO 29461 «Системы фильтрации КВОУ для вращающегося оборудования. Методы испытаний». Стандарт вступил в силу в 2013 г.

ISO 29461 содержит методику определения производительности фильтрующих элементов, применяемых в системах воздухозабора вращающегося оборудования, такого как стационарные газовые турбины, компрессоры, а также другие стационарные двигатели внутреннего сгорания. Данный стандарт используется для воздушных фильтров с эффективностью до 99,9 % на частицы размером 0,4 мкм. Описанная методика применяется для фильтров, работающих в диапазоне расхода воздуха от 0,25 м³/с (900 м³/ч) до 1,67 м³/с (6000 м³/ч).

Следует обратить внимание, что согласно ISO 29461 результаты оценки производительности фильтров не могут быть количественно применены для определения эффективности и ресурса фильтрующих элементов в реальных условиях эксплуатации.

ISO 29461 состоит из следующих частей:

1. Методика испытаний статических фильтрующих элементов.
2. Методика испытаний и классификации импульсных фильтрующих элементов.
3. Методика испытаний фильтрующих элементов на разрыв.
4. Методика проведения полевых испытаний фильтрующих элементов.
5. Методика проведения испытаний фильтрующих элементов для применения в морских условиях.
6. Методика испытаний импульсных фильтрующих элементов.

В статье «Новые европейские стандарты фильтрации воздуха и соответствие им продукции, поставляемой западными производителями фильтров на отечественные ТЭС», опубликованной в журнале «Газотурбинные технологии» (январь-февраль 2015 г.), автор ссылается на версию директивы Eurovent 4/11 «Метод калькуляции использования энергии для воздушных фильтров в системах общей вентиляции» как на один из определяющих критериев при выборе фильтров очистки воздуха КВОУ ГТУ. (Действующая версия Eurovent 4/21-2014. Данную версию можно найти на сайте <http://www.eurovent-certification.com>).

Обратившись к веб-сайту данной организации, можно получить исчерпывающие сведения о ее деятельности, целях и программах. Eurovent – независимая организация, занимающаяся проверкой подлинности сертификации оборудования для систем вентиляции, отопления, охлаждения путем сравнения технических характеристик изделий разных марок и их преимуществ. Этот вид сертификации является добровольным и выполняется на коммерческой основе.

Сертификационный знак «Eurovent» подтверждает, что продукция прошла независимую проверку и классифицирована в соответствии с установленными нормами. Данный знак дает заказчикам и конечным пользователям гарантию того, что продукция, реализованная участником программы сертификации, соответствует установленным нормам [3].

Целью сертификационных программ Eurovent является создание общего набора критериев для классификации продукции. В процессе сертификации работа инженеров упрощается, поскольку отсутствует необходимость в проведении детального сравнения и анализа эксплуатационных показателей. Консультанты и заказчики могут выбирать продукцию с полной уверенностью, что характеристики, приведенные в каталоге, являются точными. Сертификация Eurovent осуществляет проверку программ испытаний для следующего оборудования:

- пластинчатые теплообменники «воздух–воздух»;
- регенеративные теплообменники;
- прецизионные кондиционеры;
- приточно-вытяжные системы вентиляции;
- градирни;
- контроллеры вентиляторов;
- теплообменники для холодильных установок;
- воздушные фильтры класса M5-F9;
- жидкостные охладители и тепловые насосы;
- охлаждаемые шкафы управления;
- системы с регулируемым расходом хладагента [3].

Eurovent 4/21 – это методика калькуляции, использующая измерительные данные стандарта EN 779-2012. Формула расчета содержит объем воздуха, составляющий 3400 м³/ч, время работы 6000 часов, КПД вентилятора – 0,5. Согласно данному источнику информации рассчитывается использование энергии воздушно-го фильтра в общих системах вентиляции.

Данная формула не имеет ничего общего с эксплуатацией газотурбинной установки. Расчет потерь выработки ГТУ не просто вводит в заблуждение, но и может нанести непоправимый ущерб газовой турбине в случае неудачного подбора системы воздушной фильтрации.

Для воздушных фильтров ЕРА/НЕРА, оцениваемых согласно стандарту EN 1822-2011, Eurovent 4/21 не может быть применен в связи с особенностями испытаний данных фильтров.

Автор указанной статьи прав, что с повышением перепада давления системы фильтрации снижается и выработка электроэнергии. Но он не говорит о том, что при повышении эффек-

тивности системы фильтрации (несмотря на более высокий перепад давления) потери при снижении выработки могут быть, вне всяких сомнений, минимизированы. Это «перевесит» потери от высокого перепада давления. Рекомендации автора для рынка генерации электроэнергии по выбору фильтрэлемента путем сравнения перепада давления являются ошибочными и не помогут электростанциям увеличить выработку и, соответственно, снизить потери при производстве энергии по причине деградации.

Требования к механическим свойствам фильтров

Требования к механическим свойствам фильтров, используемым для очистки воздуха в ГТУ, значительно отличаются от тех, которые применяются для фильтров в составе систем кондиционирования помещений. Данные требования не регламентируются стандартом Eurovent. Некомпетентность покупателей в этом вопросе часто приводит к ошибочному выбору фильтров для ГТУ. В связи с этим необходимо тщательно изучать требования к фильтрам, которые определены производителями газовых турбин.

Большинство производителей ГТУ в спецификации на оборудование указывают, что при достижении перепада давления в КВОУ более 1,5 кПа на пульт оператора поступает сигнал тревоги, сообщающий о наличии каких-либо проблем или неисправностей в КВОУ. При перепаде давления, достигшем 2,0 кПа, должен быть произведен аварийный останов газовой турбины. Кроме того, КВОУ и воздухопроводы должны быть спроектированы таким образом, чтобы выдерживать внешний перепад давления или разряжение не менее 3,5 кПа. Отсюда следует, что минимальные требования к системе фильтрации на разрыв должны составлять 3,5 кПа, как в сухих, так и во влажных условиях. Важным фактором является также устойчивость самой системы воздухоподготовки к загрязнению, поскольку оператор ГТУ должен быть уверен в целостности 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 во влажном состоянии. Это означает, что материал фильтра, находясь во влажном состоянии, не выдерживает внешнего перепада давления 3,5 кПа без дополнительных мер по повышению прочности фильтра. Причем, это относит-

ся ко всем типам фильтров – и с глубокими складками, и с микроскладками.

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, что приобретаемые фильтры подходят для использования в составе ГТУ – в их названии присутствует маркировка «ГТ». Кроме того, нужно обращать внимание на то, чтобы минимальный предел разрыва материала фильтра соответствовал перепаду давления 3,5 кПа независимо от типа фильтра.

Сравнительная оценка эксплуатационных потерь, рассчитанных в соответствии с методикой Eurovent, и аналитических характеристик ГТУ

Проведем сравнение оценки эксплуатационных потерь, рассчитанных по различным методикам. Сравнение выполнялось для системы фильтрации газотурбинной установки V94.2 мощностью 160 МВт производства компании Siemens, одной из самых распространенных на российском рынке.

Критерием оценки №1 является стандарт Eurovent, критерий оценки №2 – кривая приемочных испытаний ГТУ (КПИ ГТУ). Анализ выполнен для наиболее часто применяемых фильтров грубой очистки G4 – 592 x 592 x 360/6 мм и тонкой очистки F9 – 592 x 592 x 400 мм.

Условия критерия оценки №1 (согласно стандарту Eurovent):

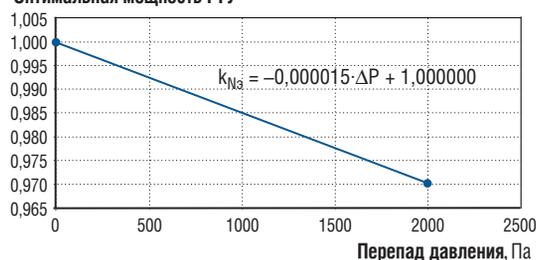
- эффективность работы вентилятора (η) – 0,5;
- производительность вентилятора (q_V), м³/с – 0,944 (3400 м³/ч);
- продолжительность оценки эксплуатационных потерь (t), ч – 6000.

Расчетная пылевая нагрузка M_x ASHRAE для фильтров класса G, M и F:

- класса G (M_G) – 350 г;
- класса M (M_M) – 250 г;
- класса F (M_F) – 100 г.

Условия критерия оценки 2:

Оптимальная мощность ГТУ



Коэффициенты характеристического уравнения, определяющего зависимость относительной мощности ГТУ от перепада давления на входе: $K_{N_3} = -0,000015$, $b = 1$.

Характеристики системы фильтрации КВОУ ГТУ в соответствии с EN 779-2012 приведены ниже.

Характеристики ФГО

Пылевая нагрузка, г	Перепад давления, Па
0	60
255	150
318	200
373	250

Коэффициенты уравнения, определяющего зависимость перепада давления от пылевой нагрузки

a	0,0000000000
b	-0,0000010927
c	0,0020119905
d	-0,0890642479
Δp_i	60,0000000000

Характеристики ФТО

Пылевая нагрузка, г	Перепад давления, Па
0	78
305	250
447	350
575	450

Коэффициенты уравнения, определяющего зависимость перепада давления от пылевой нагрузки

a	0,0000000000
b	-0,0000000497
c	0,0003512191
d	0,4614352981
Δp_i	78,0000000000

Расчет годового потребления приводом вентилятора через систему фильтрации согласно методике Eurovent:

– среднеинтегральный (среднегодовой) перепад давления:

$$\bar{\Delta p} = \frac{1}{M_{x0}} \int_0^M \Delta p(m) \cdot dm = \frac{1}{5} a \cdot M_x^4 + \frac{1}{4} b \cdot M_x^3 + \frac{1}{3} c \cdot M_x^2 + \frac{1}{2} d \cdot M_x + \Delta p_i$$

– годовое потребление приводом вентилятора через систему фильтрации:

$$W = \frac{q_v \cdot \bar{\Delta p} \cdot t}{\eta \cdot 1000};$$

$$\Sigma W_1 = \frac{q_v \cdot \bar{\Delta p} \cdot t}{\eta \cdot 1000} \cdot N_{\text{фильтров}}$$

Результаты расчета для одного фильтра

Показатель	Предфильтр	ФГО	ФТО
$\bar{\Delta p}$, Па	–	114,86	102,23
W, кВт·ч	–	1301	1158

Результаты расчета для системы фильтрации: 420 шт.

Показатель	Предфильтр	ФГО	ФТО	Σ
$\bar{\Delta p}$, Па	-	114,86	102,23	–
ΣW_1 , кВт·ч	1158	546 465	486 386	1 034 009

Расчет годовых потерь электроэнергии на ГТУ, связанных с перепадом давления в системе фильтрации КВОУ согласно кривой приемочных испытаний ГТУ:

Среднеинтегральный перепад давления на ступени очистки

Показатель	Предфильтр	ФГО	ФТО
$\bar{\Delta p}$, Па	–	114,86	102,23

Годовые потери электроэнергии на ГТУ, связанные с перепадом давления в системе фильтрации КВОУ согласно кривой приемочных испытаний:

$$\Sigma W_2 = N_{Э} \cdot (1 - K_{N_3}) \cdot t \cdot N_{\text{фильтров}}$$

Результаты расчета для системы фильтрации: 420 шт.

Показатель	Предфильтр	ФГО	ФТО	Σ
ΣW_2 , кВт·ч	1158	1 653 950	1 472 113	3 126 063

Выводы

1. До настоящего времени стандарты испытаний воздушных фильтров для ГТУ не ратифицированы в России. Поэтому нужно опираться на требования международных стандартов при эксплуатации импортных газовых турбин, а также на рекомендации заводов-изготовителей ГТУ с учетом особенностей местоположения и эксплуатации энергообъекта.

2. Эксплуатационные годовые потери ГТУ, рассчитанные в соответствии со стандартом Eurovent, составили 1 034 009 кВт·ч. При этом потери, рассчитанные согласно кривой приемочных испытаний ГТУ, – 3 126 063 кВт·ч.

Учитывая трехкратную разницу годовых потерь, рассчитанную по различным методикам, следует отметить, что стандарт Eurovent не может являться определяющим для выбора системы фильтрации КВОУ газотурбинных установок.

3. Подбор фильтров для ГТУ и оценка их испытаний должны проводиться индивидуально, с учетом местоположения электростанции, уровня запыленности, требований к межремонтному ресурсу и с учетом минимизации годовых потерь.

Использованная литература

1. F.W. Muscroft. *Combustion air treatment for gas turbines*. 1995.
2. ISO 29461 «Системы фильтрации КВОУ для вращающегося оборудования. – Методика испытаний. – Часть 1: Статические фильтры-элементы».
3. Eurovent 4/21-2014 «Метод калькуляции использования энергии для воздушных фильтров в системах общей вентиляции».