

Белинский Александр,
начальник отдела
валидации ООО
«ЛабПромИнжиниринг»,
www.lpi.by

ЦЕЛОСТНОСТЬ УСТАНОВЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ. РАЗВИТИЕ ДЕТЕКТИВНОЙ ИСТОРИИ

Данный материал написан в развитие сразу нескольких статей, уже ранее публиковавшихся в журнале [1, 2]. Тема не сохраняет свою актуальность сразу по нескольким причинам. Во-первых, стандарт [4], как уже отмечалось ранее, находится на этапе пересмотра и уже доступен его проект [5], во-вторых, в рамках обсуждения этого проекта получены некоторые существенные разъяснения от участников TC 209 WG 3. И, наконец, в-третьих, автору данного материала удалось накопить много практического материала с момента прошлых публикаций, что, конечно же, позволяет добавить конкретики. Ключевая мотивация, почему это самой конкретике так остро не хватает – полуанекдотична. При существующем описании процедуры (да и при описании, предложенном в проекте стандарта), по существу, есть достаточно широкий люфт для принятия решений, и одну и ту же систему фильтрации различные аккредитованные лаборатории будут определять как соответствующую или не соответствующую критериям приемлемости.

Первый существенный момент заключается в том, что даже имеющийся проект ISO/DIS (доступный на официальном сайте www.iso.org; перевод наиболее существенных частей этого проекта стандарта напечатан в журнале «Чистые помещения и технологические среды» – №№ 1 и 2 за 2017 г.) уже является устаревшим и в настоящее время по информации от Mr. Stephen Ward (участника TC 209 WG 3) готовится вторая редакция DIS. Пока эта редакция недоступна, тем не менее, автору статьи удалось выяснить, что во второй редакции, в частности, будет упразднена процедура измерения целостности установленной системы фильтрации по методу В.6.4 для финишных (терминальных) фильтров, она останется только для канальных фильтров. Напомню, что этот пункт именуется в стандарте «Испытание интегральной целостности фильтров, установленных в воздуховоды или кондиционеры». С одной стороны, это оправданный шаг, поскольку метод а) описан

очень поверхностно; б) чувствительность его действительно ниже. Но, с другой стороны, лично мне доводилось сталкиваться с решениями, когда воздухораспределители финишных фильтров являлись жестко соединенными с конструкцией потолков; тогда метод В.6.4 – это чуть ли не единственная возможность осуществить проверку такой системы на целостность. Такой случай был зафиксирован, в частности, на производстве изделий медицинского назначения, причем, предприятие строилось и функционирует под эгидой BSI (*British Standards Institution* – Британский институт стандартов) – т.е. вести речь о какой-то преднамеренной ошибке проекта/монтажа нельзя. Просто монтаж или замена HEPA-фильтров предусмотрены из запотолочного пространства. В действующей редакции стандарта есть фраза «Его [метод – прим. авт.] можно использовать и для контроля финишных фильтров, установленных в чистых помещениях с неоднаправленным потоком воздуха». Если из п. В.6.4 такую оговорку убрать, то в описанной ситуации альтернативой будет только полное отсутствие проверки установленной системы фильтрации на целостность. Вряд ли это вариант, в пользу которого можно сделать выбор.

Наряду с этим, несмотря на присутствие ссылки на новейшую рекомендуемую практику IEST RP по испытанию целостности HEPA и ULPA-фильтров [7], причем сразу же в первом подпункте метода 7.1.1 [5], никак не отражен момент возможного ложного счета, который может возникать по периметру HEPA-фильтров, установленных в чистых помещениях классов D или C. На этот счет Mr. Stephen Ward ответил, что, согласно его мнению, Технический комитет не должен предлагать варианты барьеров, оставляя право каждому самому решать, какой способ использовать и что будет эффективным в той или иной ситуации. Возможно, он прав. Но тогда мы снова приходим к ситуации, что в зависимости от принятого решения результат испытания может оказаться различным для одного и того же фильтра.

В предыдущей статье [1] была дана критическая оценка чрезмерной «затеоретизированности» метода, а также предложен более простой вариант, основанный на непосредственном измерении счетной концентрации частиц при сканировании. Так очень многие на практике и поступают, мужественно игнорируя расчеты, приведенные в стандарте. Между тем, у автора появилось очень много практической информации, которая позволяет выделить плюсы и минусы обоих подходов. Так, согласно описанию в п. В.6.3 действительно следует выполнить ряд предварительных расчетов. На практике, отчасти повторяюсь, удобнее, конечно, не исходя из выбранных значений C_a и N_p рассчитывать начальную нагрузку C_c , а, напротив, исходя из созданной нагрузки C_c последовательно рассчитать сначала N_p :

$$N_p = \frac{C_c \times (q_{vs} \times D_p \times P_L)}{S_r}$$

Ну а затем и соответствующую величину C_a :

$$C_a = N_p - 2\sqrt{N_p}$$

Это и есть наш критерий, выраженный в единицах абсолютного счета частиц при сканировании. Mr. Stephen Ward пишет, что это и происходит в действительности.

В принципе это несложно. Чуть интереснее при таких расчетах другой момент. Величина стандартной утечки для испытуемого фильтра P_L . Мы видим, что эта величина присутствует в числителе первой формулы – т.е. в зависимости от этой величины многое зависит, кроме того, по тексту стандарта значится (см. рис.1).

Мощнейшая точка бифуркации и источник различных манипуляций. Вот почему результаты могут отличаться на порядки! Первое, что бросается в глаза, что P_L попросту может быть выбрано по соглашению между заказчиком и исполнителем. Супер! Я не хочу, чтобы у меня была продемонстрирована утечка и выбираю P_L исходя из полученных результатов. Этот экзотический (но исходя из текста стандарта – полностью легитимный!) вариант развивать далее не будем. Второй аспект – расчет. P_L рассчитывается исходя из величины P_s которая в принципе содержит намек на EN 1822-1 (вот только непонятно, почему бы не сослаться на этот стандарт прямо – см. таблицу 1). Что же касается выделенного красной рамкой абзаца на рис. 1 – честно говоря, видимо, это вообще мистификация; впрочем, я встречал её неоднократно на практике, но ни разу не получил ответ на вопрос, каким образом для фильтров, чья эффективность отличается на порядок (!), (до-

P_L выбирается по соглашению между заказчиком и исполнителем или рассчитывается с помощью таблицы В.1 по формуле:

$$P_L = K \times P_s \quad (\text{В.3})$$

Таблица В.1 – Зависимость K от P_s

Максимально допустимый коэффициент проскока P_s	$\leq 5 \times 10^{-4}$	$\leq 5 \times 10^{-5}$	$\leq 5 \times 10^{-6}$	$\leq 5 \times 10^{-7}$	$\leq 5 \times 10^{-8}$
Коэффициент K	10	10	30	100	300

P_s определяется как максимально допустимое значение коэффициента проскока в точке MPPS для контролируемого фильтра согласно данным производителя.

Примечание – P_L включает проскок сквозь фильтровальную среду и утечки.

В некоторых местах локальное значение коэффициента проскока может быть более интегрального значения. C_a может быть заменено на N_p . Рекомендуется, чтобы величина N_p была не менее 2, при этом выполнение условия В.6.3.6.3 не требуется.

Для обеспечения сравнения результатов испытания для метода с использованием фотометров (см. В.6.2) можно принять максимально допустимое значение проскока, равным 0,01%, для фильтров с интегральным значением коэффициента проскока от 0,05% до 0,005%. В этом случае средний размер частиц аэрозоля должен быть примерно $(0,8 \pm 0,2)$ мкм.

Рис. 1. Определение величины стандартной утечки для испытуемого фильтра P_L

Таблица 1

Интегральная и локальная эффективность HEPA и ULPA-фильтров согласно EN 1822-1 [8, 9]

Класс фильтра	Интегральное значение, %		Локальное значение, %	
	Эффективность	Проскок	Эффективность	Проскок
E10	85	15	–	–
E11	95	5	–	–
E12	99,5	0,5	–	–
H13	99,95	0,05	99,75	0,25
H14	99,995	0,005	99,975	0,025
U15	9,9995	0,0005	99,9975	0,0025
U16	9,99995	0,00005	99,99975	0,00025
U17	9,999995	0,000005	99,9999	0,0001

пустим, для H13 и H14), может быть задан один и тот же критерий? Мы однозначно ужесточаем требования для H13-го и ослабляем требования к H14-му, если следовать буквально приведенному описанию.

Впрочем, ещё одним жирным штрихом, после того, как мы разобрались с таблицей согласно EN 1822-1, является тот факт, что мы выбранную величину P_s (внимание – в EN 1822 эффективность и проскок указаны в процентах, а в ISO 14644-3 – в долях единицы) умножаем на коэффициент K , который для случая H13 и H14 равен 10.

Вот тут уже приведу прямо комментарий Mr. Stephen Ward. Он согласен, что это дискуссионный момент, вместе с тем испытание на целостность системы фильтрации не должно, по его мнению и мнению его коллег по Техническому комитету, давать ответ на вопрос, соответствует ли скажем фильтр U16 эффективности, определенной для U16. Должен быть получен ответ на вопрос, целостной ли является система фильтрации или нет. Тут, пожалуй, можно согласиться. Тем более, что, строго говоря, эффективность фильтров указана для MPPS, а это часто частицы размеров в диапазоне 0,1–0,2 мкм. Впрочем, это даже «отягчающее обстоятельство», т.к. при проведении испытаний с использованием полидисперсного аэрозоля проект стандарта предлагает учитывать канал 0,3 мкм и более, т.е. действительная эффективность по таким частицам должна оказаться даже выше заявленной. Правда, немного забегаю наперёд, можно отметить, что если проблем нет, то будет подтверждена и эффективность согласно EN 1822, причем прямой пропорцией, без всяких сложных предварительных вычислений. Проблемы появляются в ситуации, когда утечка всё-таки фиксируется. И вот тут уже «прямая пропорция встретит ожесточенное

сопротивление «обвиняемой стороны». Поэтому вернёмся к процедуре, изложенной в стандарте.

Мы умножили на коэффициент K величину интегрального проскока, т.е.:

- для H13 $P_L = 10 \times 0,0005 = 0,005 = 5 \times 10^{-3}$
- для H14 $P_L = 10 \times 0,00005 = 0,0005 = 5 \times 10^{-4}$

Собственно, любой проскок можно так обсчитать, даже пресловутые 0,01 % - хотя совершенно непонятно, что собрались сравнивать с фотометром (как вообще можно сравнить массовую концентрацию и счетную)? Но формула стерпит всё.

Далее мы отправляемся на сканирование. И вот тут всплывает новый интересный момент. Ранее автор вскользь покритиковал сугубо теоретическое значение величины времени отбора пробы при сканировании T_s , которое получается путем деления величины ширины пробоотборника D_p на скорость сканирования S_r [1]. Критика касалась того, что мы получим в итоге доли секунды, а в коммерчески доступных счетчиках выставить величину времени отбора менее одной секунды не представляется возможным. На самом деле, как в очередной раз оказалось, всё новое – это хорошо забытое старое. Ещё в 2006-м когда на страницах настоящего издания была опубликована переводная статья Акселя Делленбаха [3], где, в частности, на рис. 1 очень детально показана ситуация с т.н. «событием счета». Т.е., конечно же, сам счетчик обнулит свои показания через секунду – через меньший интервал он просто не в состоянии это выполнить – но за это время, что называется, «успевает набежать» частиц, если утечка всё-таки имеет место быть. Тут, правда, есть такое практическое соображение – например, в счетчиках Lighthouse Solair 3100, MetOne 3400 можно установить время отбора одну секунду, а вот, скажем, для счетчика Lasair III 310B минимальное время отбора состав-

ляет 6 секунд. Что делать в этом случае? Умножать критерий на шесть? Впрочем, тут на помощь приходит практика. Если проблем нет, то любой из счетчиков при сканировании покажет нули по материалу фильтра. Да, при приближении к рамке могут быть срабатывания аварийного сигнала, это может быть связано как с фоном окружающего помещения, так и с утечкой по уплотнению фильтра. Многие используют для отсечения окружения special barrier в виде картонки или чего-то подобного. Из моего личного опыта и опыта моих коллег на самом деле в спорной ситуации вместо всякого рода картонок или барьеров достаточно пробоотборник аккуратно прижать вплотную к поверхности фильтра; особенно это удобно, когда есть поддерживающая сетка (см. рис. 2)

Например, сталкиваемся с ситуацией, что «течет» угол. В этом случае достаточно вплотную прислонить пробоотборник к поддерживающей сетке и тогда однозначно определить – это неплотность материала, проклейки материала к внутренней поверхности рамы или же всё-таки внешнее влияние. Если с материалом и его проклейкой к внутренней поверхности рамы всё хорошо, то на экране счетчика будут нули. Так что, возможно, Mr. Stephen Ward прав, отмечая, что пусть каждый сам решает, какое выбрать решение для изоляции окружения. Другой вопрос, что изолировав окружение с целью сканирования собственно материала фильтра, важно впослед-



Рис. 2. HEPA-фильтр с поддерживающей сеткой

ствии при сканировании не изолировать уплотнение, т.е. внешний периметр рамы.

Нюанс, о котором часто не то, чтобы забывают, но не придают этому значения. В рамках обсуждения этой тематики с Михаилом Шаховым [2] он высказал в общем-то очевидное суждение и проиллюстрировал его простым примером. Вопрос в том, какую величину по каналу частиц 0,3 мкм и более выбирать в качестве критерия – кумулятивную или дифференциальную. Подробнее об этом на примере распечаток со счетчиков частиц можно прочитать в статье, посвященной сжтому воздуху [10].

Пример. Мы подаем на фильтр 1 млн. частиц 0,3 мкм и 1 млн. частиц 0,5 мкм и более. Цифры специально даны абстрактные для простоты устных расчетов. Наш фильтр обладает 50%-ной эффективностью по отношению к частицам 0,3 мкм и 100%-ной эффективностью по отношению к частицам 0,5 мкм. Это значит, что на выходе мы получим 500 тыс. частиц 0,3 мкм и ни одной – 0,5 мкм. Нагрузка снизилась в 4 раза? Эффективность фильтра 75%? Как бы не так! На самом деле эффективность фильтра именно 50% по частицам 0,3 мкм – для более крупных частиц фильтр просто непроницаем. И хоть по факту разница не будет столь же ошеломляющей, всё-таки корректнее привязываться именно к дифференциальным величинам.

Впрочем, это только нюанс, который, тем не менее, стоило бы детализировать в стандарте. В Технический комитет автором статьи было отправлено соответствующее письмо.

Тут мы подходим к кульминационной части нашего изложения – проблеме утечек по уплотнению. Самое примечательное, что с этой проблемой одинаково сталкиваются и при сканировании по стандарту ISO, и при измерении в режиме счетной концентрации. Как только мы закончили сканирование по материалу фильтра, нам необходимо перейти в внешнему периметру рамки. В стандарте, конечно, есть п. 6.1.1, где указано, что «в процессе испытаний проверяется целостность всей системы фильтрации, включая фильтровальный материал, раму, элементы крепления и герметизации», но я считаю, такую тактику испытания всё же стоит отразить и в самой процедуре. Так вот, как только пробоотборник перемещается к внешнему периметру – зачастую начинаются приключения. Важно! Речь идет именно о зазоре между крепежной рамкой и стенкой монтажного бокса (см. рис. 2); внешний периметр самого монтажного бокса/проема, обращенный к помещению, тут не имеет значения в принципе. При

сканировании мы мигмом превышаем наш критерий C_a , который, как правило, невелик.

Пример. $C_c = 1,2 \times 10^8$ частиц/м³; $q_{vs} = 28,3$ л/мин = 0,000472 м³/с; $D_p = 1,727$ см (используем пробоотборник Lighthouse ScanAir); $P_L = 5 \times 10^{-4}$ (считаем, что фильтр H14); $S_r = 5$ см/с.

Тогда $N_p = 9,782$, а $C_a = 3,527$.

Для быстрых пересчетов стоит вбить эти формулы в MathCAD или MS Excel, чтобы иметь возможность их оперативно пересчитывать.

Что делать далее – нужно задаться новым критерием (C_{ar} в терминологии проекта нового стандарта [5]) – т.е. количество частиц при абсолютном подсчете. Как его посчитать? Это снова функция от исходной концентрации C_c и **выбранно нами** времени стационарного сканирования T_r . Вот тут уже уходит весь субъективизм долей секунды в значении T_s , а также неопределенность измерений при необходимости ручного поддержания скорости сканирования S_r . Мы «замерли» стационарно и проверяем свои «подозрения»:

$$N_{pr} = C_c \times P_L \times q_{vs} \times T_r$$

А уже исходя из этого получаем критерий:

$$C_{ar} = N_{pr} - 2\sqrt{N_{pr}}$$

Развиваем наш пример, предположив, что время стационарного сканирования мы взяли 6 секунд (как раз отталкиваемся от возможностей счетчика Lasair III). В чём новый фундаментальный нюанс – какое значение P_L использовать? Поясню свою мысль. Дело в том, что выше мы выбрали для расчета P_L величину P_s , равную интегральной эффективности того или иного фильтра. Да и определение в действующих стандартах [4, 6] для величины P_s однозначно указывает нам, что работать нужно именно со значением интегральной эффективности. Для H14-го класса P_s равно 5×10^{-5} (0,005 %). Но в проекте стандарта уже исчезло слово “integral” – сравните определение P_s “the maximum allowable integral MPPS (Most Penetrating Particle Size) penetration of the filter to be tested” в действующем стандарте [4] и “the maximum allowable penetration of the filter to be tested” в проекте [5]. И ведь, по сути, всё верно именно в проекте. По идее, если мы переходим к стационарному повторному измерению «подозрительного» места, то мы уже говорим не об интегральной эффективности, а о локальной. А она в пять раз менее строгая согласно тому же стандарту EN1822. В таком случае наше P_s для примера того же фильтра H14 составляет $2,5 \times 10^{-4}$ (0,025 %). Умножив эту величину на

коэффициент $K = 10$, получим $2,5 \times 10^{-3}$. И вот уже такое значение величины P_L будем применять для случая стационарного повторного измерения. В принципе, можно этого дополнительного «загрубления» не делать, но, поскольку величина P_L и так выбирается по согласованию между заказчиком и исполнителем (кстати, из проекта стандарта именно эта ремарка исчезла) – это не регламентировано жестко. Хотя и в высшей степени принципиально. Если в основе брать величину интегрального проскока, тогда мы получим в нашем примере $C_{ar} = 144$, а при выборе в пользу величины локального проскока – $C_{ar} = 791$. Что называется, почувствуйте разницу. Таким образом, в зависимости от субъективного решения, фильтр будет признан целостным по уплотнению или заказчик будет его затягивать/силиконить вусмерть.

Все вышеописанные моменты неплохо было бы отразить в тексте стандарта. А вот диагностика проблем и их решение – это уже сугубо практические аспекты, которые в принципе стандарт охватывать не должен. Но от этого они не становятся менее значимыми, поэтому подробно остановимся и на них. Адресуясь к рис. 2, мы имеем дело с хорошим исполнением прижимных болтов НЕРА-фильтра к НЕРА-боксу, и, действительно, не составляет особых проблем после установки фильтра аккуратно затянуть болты без перекосов, по диагонали, равномерно распределяя усилия затягивания, чтобы уплотнение ровно легло на грань НЕРА-бокса, в теории намертво отсекая воздухопровод от чистого помещения. На практике возникает множество нюансов. Даже одни и те же фильтры одного и того же исполнения по не вполне объяснимым для автора причинам или установлены почти идеально (C_{ar} в приведенном примере редко выходит за пределы сотни) или в определенных углах утечка значительна (C_{ar} превышает тысячи частиц в режиме абсолютного счета в течении 6 секунд). При этом подтягивание и/или выборочное подтягивание крепежных болтов практически не приводит ни к каким улучшениям ситуации за исключением случаев, когда их просто забыли затянуть и они были только в «наживленном состоянии». Демонтаж и обратный монтаж фильтра, даже с поворотом на 90 или 180 градусов, не приводил к устранению проблемы.

В этой ситуации, следует заметить, уже проявляется различие в том, какой метод использовать. Выше я отмечал, что гораздо проще оценивать целостность систем фильтрации напрямую по пропорции, пересчитывая целевое значение

счетной концентрации частиц – по материалу фильтра этого вполне достаточно, крупные утечки такой подход фиксирует легко. А вот по периметру рамки, в углах измерение концентрации он теряет свои преимущества и вот почему. При обнаружении утечки может быть зафиксирован, по сути, постоянный, пусть и медленный рост счетной концентрации. Для ряда счетчиков частиц (тот же Lighthouse Solair 3100) всегда в режиме измерения счетной концентрации частиц будет наблюдаться только рост значений, в отличие от Lasair III, где иной принцип мгновенного пересчета – совпадают значения только при финише отбора пробы, например, по истечении одной минуты, а при измерении целостности это уже неудобно). Кроме того, режим концентрации тяжелее локализует проблемы именно на периметре, где есть масса факторов, включая мгновенный пересчет получаемых значений – те же счетчики частиц Lasair III усредняют получаемые значение за всё время отбора и, если частиц насыпало много, то для последующего участка нужно останавливать измерение и начинать отбор заново. Метод, выполненный строго по разделу В.6.3 для стационарного измерения избавляет от такой необходимости: отбор каждые 6 секунд – это уже автоматически рестарт отбора пробы. В такой ситуации он позволяет четко определить, какой угол или сегмент течет.

Отдельно стоит оговорить турбулентность и фон окружающего помещения. Обычно его влияние сильно преувеличено. Да, если HEPA-бокс выполнен так, что мы сканируем периметр рамки и раструб пробоотборника находится на высоте потолка – этот эффект может оказывать влияние. Проверить это можно, просто отведя пробоотборник в сторону помещения и посмотрев, какие будут результаты. Если эти результаты будут сопоставимы с величиной утечки, то да, может и оказывает влияние окружающее помещение. Тогда действительно можно проверить интегральную утечку фильтра по методу В.6.4, одним из вариантов может быть использование раструба от балометра (см. рис. 3).

Но если фон частиц в помещении заметно ниже, то проблема заключается не в этом. Это именно утечка по рамке. В случае, как на рис. 2, когда вы можете завести пробоотборник в паз между рамкой и HEPA-боксом, то никакой турбулентности вы там не встретите. Точнее, если есть утечка по уплотнению, то она действительно может распространяться в этой локализации малопредсказуемо, но важно, что это именно утечка по уплотнению, а не увлекаемые из помещения частицы.

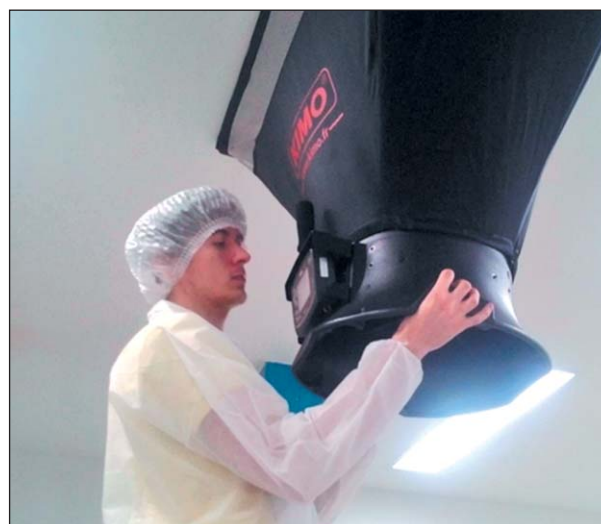


Рис. 3. Использование раструба от балометра для отсеечения влияния окружающего помещения

Все эти моменты можно легко визуализировать в каждом конкретном случае, чем на ряде объектов занимался и сам автор. Отсюда и такие выводы.

Возвращаемся к вариантам решения обнаруженных проблем. Часто при обнаружении утечки, когда затягивание или демонтаж с поворотом фильтра не приводит к решению проблем (течь начинает либо другой угол, либо тот же), то есть подозрение на то, что HEPA-фильтр и HEPA-бокс просто «не пара друг другу» или же HEPA-бокс/HEPA-фильтр деформировались. Автор в таких ситуациях пробовал и замену HEPA-фильтра на новый – заметного улучшения не наступало.

Далее в арсенале опытных специалистов по вентиляции есть решение с закрытием периметра рамки металлизированным скотчем или посадкой фильтра на силикон. По мнению автора, оба таких варианта не есть правильный подход. Металлизированный скотч просто ретуширует проблему, причем ретуширует её часто отвратительно, поскольку стороны проклеить можно в принципе добротнo, но вот углы, где расположен болт и его крепление, нормально проклеить затруднительно. Поэтому часто получается такой эффект, что независимо от того, где была локальная утечка, «сквозить» она будет через плохо проклеенные болты и их крепления. А после проклейки и поджать болты уже будет не вариант – при закручивании металлизированный скотч просто будет порван. Силиконирование – ещё хуже. Мало того, что силикон имеет свойство высыхать и утечка возобновляется, так это ещё и фильтр «хоронит» в HEPA-боксе – выдрать его потом можно только «с мясом».

Тут в фокус рассмотрения попадет интересный материал коллеги [11], где он фиксирует усилие

затягивания динамометрическим ключом. Вот это перспективный сектор поиска. Единственное, что, конечно, хочется не переусердствовать и в таком случае уточнять у производителей фильтра, какое усилие является максимально допустимым. Но даже без получения действительных величин усилия затягивания в ситуации, когда уже очевидно, что крепление болтов начинает деформироваться, больше затягивать крепление не стоит в любом случае.

Куда хуже подозрение, что произошла необратимая деформация самого HEPA-бокса. Но автор пока не сталкивался с непротиворечивой диагностикой такого явления, кроме случаев, когда это попросту очевидно.

Подводя итог всему вышеизложенному, можно сказать, что в целом метод по стандарту ISO с использованием счетчика частиц вполне адекватно применим для обнаружения утечек, хотя есть ряд нюансов, которые стоило бы детализировать по тексту стандарта, но в целом методология ясна и понятна. Куда сложнее ситуация, когда обнаруженная проблема носит неявный характер. Думаю, что это перспективное направление для развития данной темы на ряду с детализацией и уточнениями формальной процедуры проведения испытаний.

Список литературы

1. А. Белинский, Целостность установленной системы фильтрации. Откровенно о сокровенном, «Чистые помещения и технологические среды», №3-2017, стр. 51-57.
2. М. Шахов, Процедура испытания целостности установленной системы фильтрации в соответствии со стандартом ИСО 14644-3: замечания и комментарии, «Чистые помещения и технологические среды», № 4-2017, стр. 28-33.
3. Аксель Делленбах, Система фильтрации: проверка целостности в соответствии с ISO 14644-3, «Чистые помещения и технологические среды», № 1-2006, стр. 22-25.
4. ISO 14644-3:2005 Cleanrooms and associated controlled environments -- Part 3: Test methods.
5. ISO/DIS 14644-3 «ЧИСТЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ КОНТРОЛИРУЕМЫЕ СРЕДЫ Часть 3: Методы испытаний», «Чистые помещения и технологические среды», №3-2017-№1-2018.
6. ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007 ЧИСТЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ КОНТРОЛИРУЕМЫЕ СРЕДЫ Часть 3: Методы испытаний.
7. IEST-RP-CC0034.4:HEPA and ULPA Filter Leak Tests.
8. EN 1822:2009 High efficiency air filters EPA, HEPA and ULPA. Part 1. Classification, performance testing, marking.
9. ГОСТ Р EN 1822-1-2010 Высокоэффективные фильтры очистки воздуха EPA, HEPA и ULPA. Часть 1. Классификация, методы испытаний, маркировка.
10. А.Белинский, Система сжатого воздуха: выбор критериев приемлемости для квалификации и мониторинга параметров системы, Чистые помещения и технологические среды, №1-2018, стр. 39-45.
11. <https://pharm-community.com/2015/5057/>. ■

**МЕДИАНА
ФИЛЬТР**

20 лет

Вода — наша специальность!

ВОДОПОДГОТОВКА для чистых производств

- Чистый пар
- Вода очищенная
- Вода для инъекций
- Обвязка реакторов
- Технологические газы
- Материальные трубопроводы
- Системы фильтрации растворов
- Комплект документов для валидации

Материалы и технологии:

- AISI316L
- AISI304L
- PVDF
- PP-N
- Орбитальная и бесшовная сварка