



Проблемы эксплуатации и проверки систем приточно-вытяжной вентиляции в лабораториях, работающих с патогенными микроорганизмами III–IV групп патогенности

А. А. Ененко, начальник аналитического центра валидации и измерений ООО «ВОСТОК ПОСТ», г. Миасс, direktor@vostokpost.ru

Ключевые слова: лаборатория, патогенный микроорганизм, приточно-вытяжная вентиляция, HEPA-фильтр, класс фильтра, эффективность фильтрации

Среди всего многообразия инженерно-технических систем обеспечения биологической безопасности система приточно-вытяжной вентиляции играет немаловажную роль, выполняя одновременно несколько важных функций:

- обеспечивает санитарно-микророклиматические условия

работы персонала (приток свежего воздуха);

- снижает концентрацию накапливающихся в процессе работы патогенного и потенциально патогенного аэрозолей;
- обеспечивает зонирование (разделение) помещений по типам работы путем создания

определенных перепадов давления и перетоков воздуха;

- обеспечивает фильтрацию выбрасываемого в атмосферу воздуха.

Должным образом спроектированная и функционирующая система приточно-вытяжной вентиляции не только обеспечивает

необходимые условия труда, но и существенно снижает риск заражения персонала накапливающимися в воздухе в процессе работы возбудителями. Требуемая степень фильтрации вытяжного воздуха существенно снижает риск заражения людей за пределами лаборатории. К сожалению, на сегодняшний день во многих лабораториях, осуществляющих работы с микроорганизмами III–IV групп патогенности, система вентиляции не функционирует должным образом или, что чаще, отсутствует вовсе.

Проблемы проектирования систем приточно-вытяжной вентиляции

Должное функционирование системы приточно-вытяжной вентиляции начинается с проработанного проекта, который учитывает характер работы, проводимой в том или ином помещении, количество сотрудников лаборатории, а также особенности климатической зоны, в которой расположена организация. Зачастую, к сожалению, проект вентиляции заканчивается установкой большого приточного вентилятора с подачей воздуха во все помещения по системе воздуховодов. Объемы подаваемого в то или иное помещение воздуха при этом зависят от производительности вентилятора, а также от того, насколько удаленным от общего вентилятора является помещение и каким аэродинамическим сопротивлением обладает тракт подачи воздуха в конкретный воздухоораспределитель. В подавляющем большинстве случаев в процессе проектирования это никак не оценивается и зависит

исключительно от случайного стечения обстоятельств. Аналогичным же образом устроена и вытяжная вентиляция. Подобным образом спроектированная «система» не обеспечивает должного зонирования помещений по перепадам давления, в результате все помещения, в том числе и «грязные», находятся под случайными перепадами давления. Это приводит к тому, что воздух беспрепятственно переносится из «заразной» части лаборатории в «чистую». Подобную проблему в лабораториях легко диагностировать по характерному запаху, появляющемуся во всех помещениях при работе автоклавов.

Также большую проблему создает отсутствие подготовки приточного воздуха. В случае, если такая подготовка проектом не предусмотрена (не установлен блок нагрева и центральный кондиционер), летом вентиляция будет отключаться сотрудниками по причине высокой температуры поступающего воздуха, зимой – низкой. В итоге такая «система» вентиляции способна

работать только 2–3 месяца в году в зависимости от климатической зоны, когда средняя температура на улице 20–22 °С. Подавляющую часть времени лаборатория будет работать без системы вентиляции вовсе.

Особенности и проблемы проверки HEPA-фильтров вытяжной вентиляции

Для того чтобы избежать попадания патогенных аэрозолей за пределы лаборатории, в систему вытяжной вентиляции должен быть установлен специальный воздушный фильтр. Современная мировая практика все чаще для этих целей требует использования высокоэффективных фильтров очистки воздуха типа HEPA («хепа» – от англ. High Efficiency Particulate Air) класса не ниже H14 по ГОСТ Р ЕН 1822–1–2010. Для подтверждения требуемых характеристик данные фильтры ежегодно должны подвергаться проверке их целостности

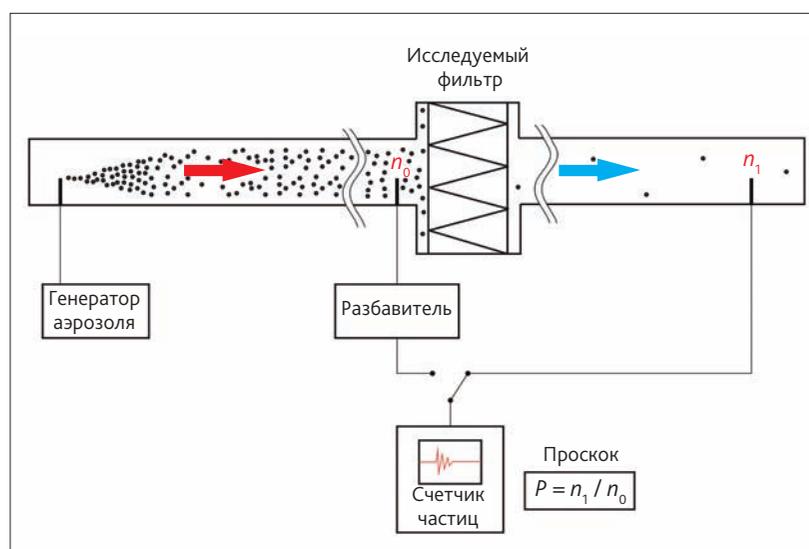
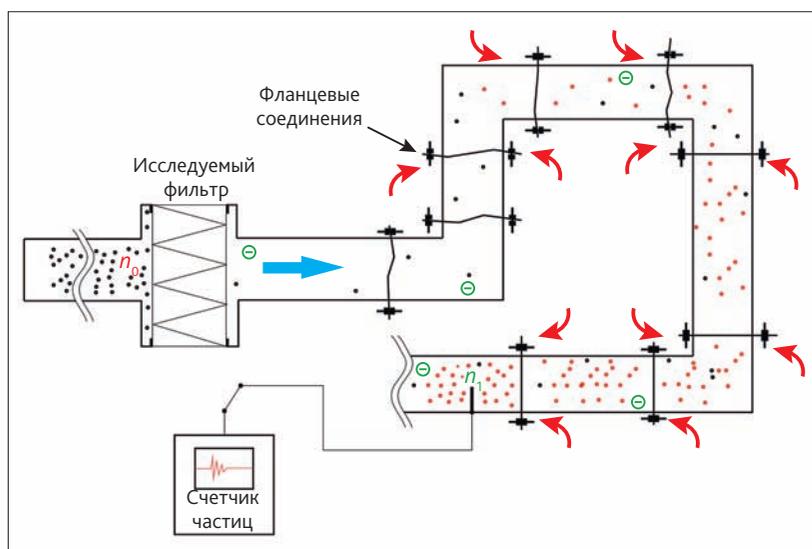


Рис. 1. Принципиальная схема проверки целостности HEPA-фильтра вытяжной вентиляции



■ Рис. 2. Попадание наружного воздуха в измерительный тракт. Черные точки – частицы тестового синтетического аэрозоля, красные – частицы аэрозоля наружного воздуха

(эффективности). Схема осуществления данной проверки представлена на рис. 1.

Перед фильтром на значительном расстоянии в воздуховод подается синтетический аэрозоль (например, диэтилгексилсебацат – DEHS). Непосредственно перед фильтром с помощью разбавителя аэрозоля и счетчика частиц определяется концентрация частиц аэрозоля в потоке поступающего на фильтр воздуха n_0 . Затем в точке, находящейся на достаточном удалении (там, где произошло окончательное смешивание аэрозоля), измеряется концентрация аэрозоля после фильтра n_1 . Отношение этих концентраций называется коэффициентом проскока фильтра. Согласно ГОСТ Р ЕН 1822-1-2010 для фильтров класса Н14 коэффициент проскока не должен составлять более $5 \cdot 10^{-5}$. Здесь следует иметь в виду, что проскок, вообще говоря, зависит от размера частиц, а классификация ГОСТа строится на максимальном проскоке, которым обладают

частицы определенного размера (точка МППС) [5]. Однако по причине отсутствия информации о коэффициенте проскока данного фильтра для частиц произвольного диаметра (например, 0,3 мкм) на практике в качестве критерия применяется минимальный проскок фильтра, регламентированный для данного класса фильтров. Характерная концентрация частиц до фильтра в данном случае составляет примерно 1000 ч/см^3 (10^9 ч/м^3), после фильтра Н14 – $0,05 \text{ ч/см}^3$ ($50\,000 \text{ ч/м}^3$).

Описанная в данном случае проверка является проверкой «идеальной» системы с идеальным фильтром. Зачастую же при проверке испытатель сталкивается со следующими проблемами.

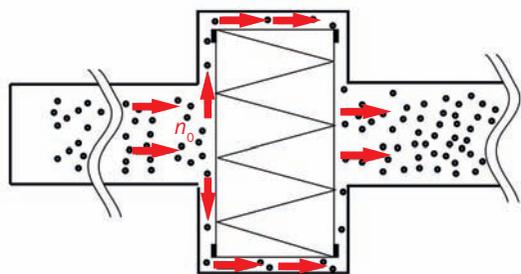
Негерметичность воздуховодов

При проверке HEPA-фильтров обычно используется синтетический аэрозоль с эквивалентным оптическим диаметром частиц от 0,3 до 0,5 мкм. Характерная

концентрация таких частиц после фильтров класса Н14, как уже отмечалось выше, составляет $0,05 \text{ ч/см}^3$ ($50\,000 \text{ ч/м}^3$). Концентрация подобных частиц в воздухе рабочих помещений лаборатории доходит до 10^7 – 10^8 ч/м^3 , т. е. на 4 порядка больше, чем в воздуховоде. Зачастую воздуховоды систем вентиляции смонтированы в виде секций, соединенных фланцами. Такая конструкция не является герметичной, в результате чего воздух из помещения попадает в работающую под отрицательным давлением «чистую» часть воздуховода (рис. 2). Как следствие, общая концентрация аэрозоля в воздуховоде после фильтра существенно увеличивается, многократно превышая концентрацию частиц синтетического аэрозоля, преодолевших фильтр в результате проскока (или в случае поврежденного фильтра – утечки). Счетчик частиц, к сожалению, не способен отличать частицы тестового синтетического аэрозоля от частиц аэрозоля наружного воздуха, измеряя общую концентрацию частиц в воздухе. В таком случае сделать заключение о целостности и проскоке фильтра не представляется возможным.

Фильтр-бокс

Часто HEPA-фильтры интегрируются в систему вытяжной вентиляции путем их установки в так называемые фильтр-боксы. В большинстве случаев фильтр-бокс изготавливается «кустарно» специалистами, не имеющими необходимых навыков работы с HEPA-фильтрами, в результате чего конструкция такого фильтр-бокса не позволяет установить в нем HEPA-фильтр надлежащим образом. При установке фильтра



■ Рис. 3. Утечка воздуха через фильтр, установленный в неправильно спроектированный фильтр-бокс. Уплотнители не поджаты

в такой фильтр-бокс не обеспечивается герметичный контакт фильтра, оснащенного уплотнителем, с корпусом фильтр-бокса. Из-за этого происходит утечка загрязненного (зараженного) воздуха мимо фильтра и система фильтрации попросту не работает (рис. 3).

В сложившейся ситуации намного удачнее себя показывают фильтры, интегрированные в воздуховоды через герметичные фланцевые соединения. При установке через фланцевое соединение (рис. 4) уплотнитель фильтра плотно прижат к фланцу и обеспечивает герметичное

соединение фильтра с плоскостью фланца, исключая какие-либо утечки. Для надежного и герметичного соединения фильтр должен быть оснащен уплотнителем с обеих сторон по всей плоскости прилегания.

Участки чистого воздуховода

Как отмечалось выше, для достоверного обнаружения утечек измерения концентрации аэрозоля после проверяемого фильтра должно производиться на достаточном удалении от места его установки для того, чтобы воздух полностью перемешался



■ Рис. 4. Установка фильтра через фланцевое соединение



Ганс Östberg создал первый в мире канальный центробежный вентилятор, в последствии получивший наименование СК. Это явилось настоящим событием в мире вентиляции и до сих пор СК является инженерной концепцией, признанной по всему миру.

«Östberg» - это не просто имя производителя, это характеристика, говорящая о прекрасных свойствах вентиляционной техники. Каждый вентилятор этой компании можно без преувеличения назвать изобретением. У каждой модели есть своя история, свое лицо, свое назначение.

Да, они разные, но есть то, что всех их объединяет между собой. Все они идеально отлажены, эффективны, надежны и долговечны.

Приобретая «Östberg», приобретаешь уверенность.



Москва, улица Тимирязевская, 1, строение 4.

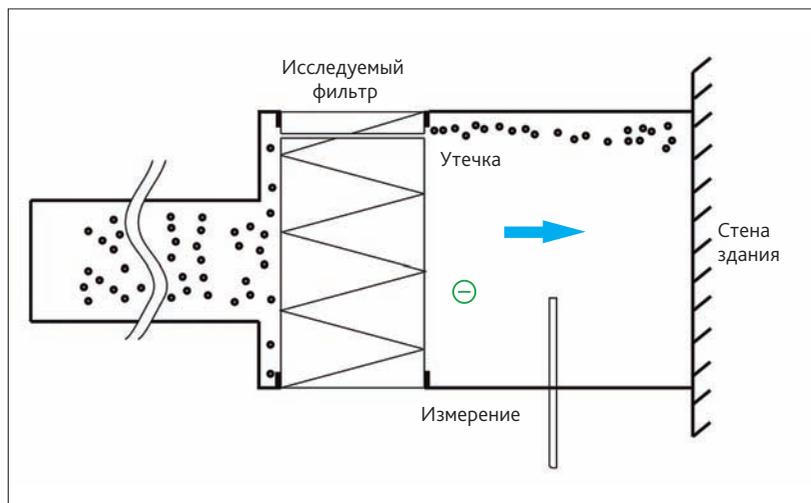
Тел.: (495) 981 1515, (499) 755 1515.

Факс: (495) 981 0117.

Санкт-Петербург, улица Разъезжая, 12, офис 43.

Тел.: (812) 441 3530. Факс: (812) 441 3535.

www.ARKTIKA.ru



■ Рис. 5. Недостаточное удаление пробоотборника от испытуемого фильтра. Счетчик частиц «не замечает» утечки

и распределение частиц тестового аэрозоля было максимально равномерным по сечению воздуховода. Если этого не происходит, велика вероятность пропустить утечку из-за недостаточного перемешивания воздуха в воздуховоде (рис. 5).

В некоторых случаях воздуховоды установлены таким образом, что участок «чистого» воздуховода попросту отсутствует в зоне доступа инженера: воздуховод после фильтра сразу же уходит в стену за пределы здания. При таком расположении фильтра утечка, расположенная вблизи верхней части фильтра, будет попросту «не видна» счетчику частиц из-за отсутствия достаточного смешивания потока воздуха. В данной ситуации результат проверки такого фильтра может не соответствовать действительной эффективности данной системы фильтрации.

Конфигурации систем вентиляции

Как уже было сказано выше, существующие на сегодняшний

день системы вытяжной вентиляции лабораторий, работающих с микроорганизмами III–IV групп патогенности, собраны негерметично. Помимо трудностей при проверке таких систем, негерметичность соединений воздуховодов может существенно влиять на эффективность работы системы в целом, причем риски использования таких систем зависят от расположения фильтров относительно заразной зоны и вентиляторов.

Ниже приведены типовые схемы расположения фильтров относительно вентиляторов и помещений заразной зоны.

Схема, на которой HEPA-фильтр устанавливается в систему за пределами заразной зоны после вентилятора, представлена на рис. 6, а. В результате часть негерметичного воздуховода после вентилятора, по которой протекает загрязненный воздух, оказывается под положительным давлением. В таком случае существует риск выброса загрязненного воздуха обратно в здание и негативного воздействия патогенных аэрозолей на сотрудников учреждения.

Схема, на которой фильтр установлен более удачным образом, показана на рис. 6, б. Здесь фильтр выведен за пределы заразной зоны и установлен перед вентилятором на специальном техническом этаже. В таком случае при включенном вентиляторе, даже при наличии щелей в воздуховодах, загрязненный воздух не выйдет за их пределы.

Схема организации системы вентиляции, в которой фильтр расположен внутри заразной зоны, представлена на рис. 6, в. В инженерно-медицинской среде сложилось мнение, что такое расположение фильтров является оптимальным для минимизации рисков попадания патогенного аэрозоля наружу даже при отключенной системе вентиляции. Однако стоит иметь в виду, что, учитывая негерметичность стыков, часть воздуховода после фильтра, находящаяся при работе под отрицательным давлением, проходит по заразной зоне. В результате появляется вероятность подсоса загрязненного воздуха в «чистую» часть воздуховода, тем самым снижая эффективность задерживания аэрозолей системой фильтрации на несколько порядков. Такую схему можно считать удачной только в том случае, если часть «чистого» воздуховода, проходящая по заразной зоне, а также все соединения после фильтра выполнены полностью герметично.

Нормативно-правовые особенности эксплуатации фильтров очистки воздуха

Согласно требованиям п. п. 2.3.24, 2.8.2 СП 1.3.2322–08



ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СОЗДАЕТ КАЧЕСТВО

MAGNA

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ КОТЛЫ



15-100
кВт

Реклама

ЭЛЕКТРОКОТЛЫ

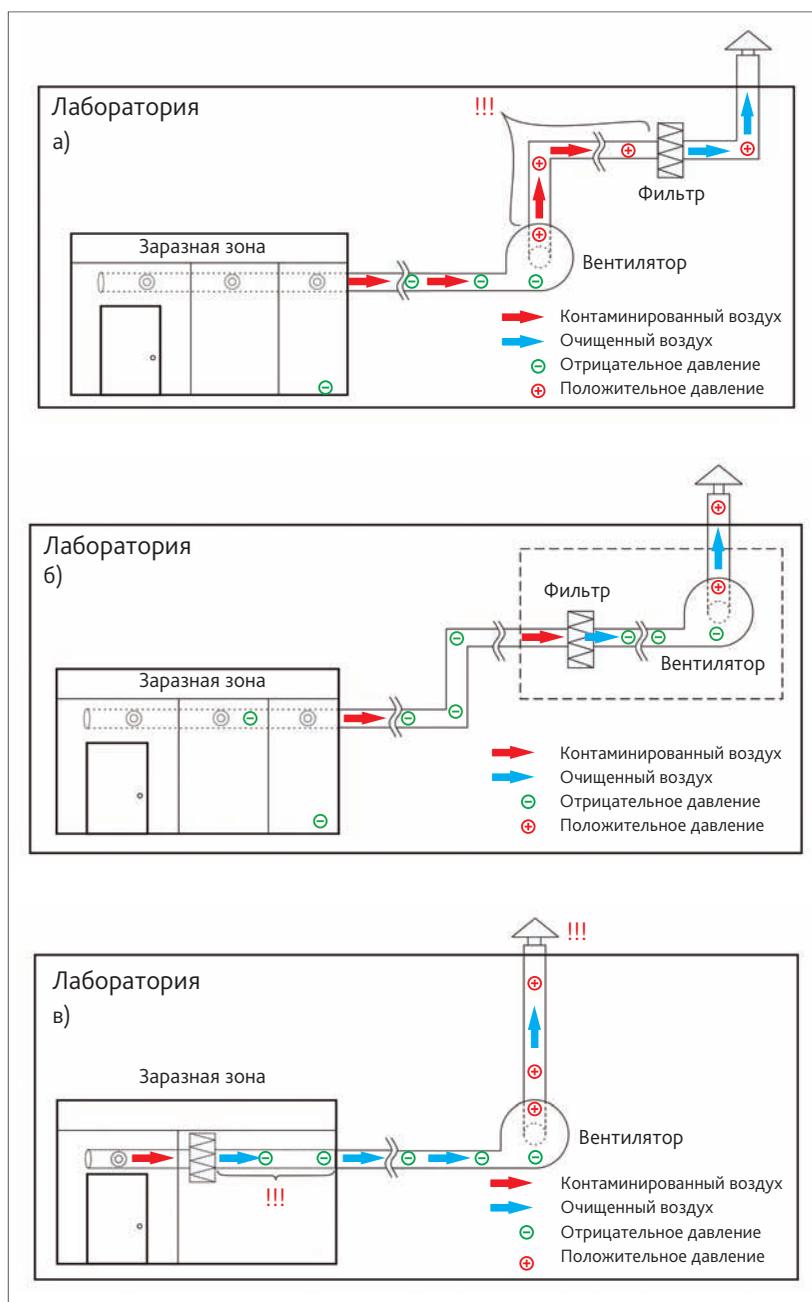
SMART



ИДЕАЛЬНАЯ ПАРА:
МОЩНОСТЬ +
БЕЗЛИМИТНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

**ЗАВОД ОТОПИТЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ И АВТОМАТИКИ**

Красноярск, ул. Калинина, 53А
☎ 8(800)444-8000
www.zota.ru



■ Рис. 6. Типовые схемы организации вытяжных систем

системы вентиляции должны быть оснащены фильтрами тонкой очистки. Классификация фильтров по классам определяется по табл. 1 ГОСТ Р ЕН 779–2014.

Как видно из табл. 1, минимальная эффективность фильтров тонкой очистки на несколько порядков ниже эффективности

HEPA-фильтров класса H14, которая определяется ГОСТ Р ЕН 1822–1–2010 и составляет 99,995%. В сложившейся ситуации требования к установке в системы вытяжной вентиляции лабораторий III–IV групп патогенности фильтров типа HEPA фактически отсутствуют. Данная правовая недоработка

Таблица 1.

Классификация фильтров очистки воздуха

| Группа | Класс | Конечный перепад давления при испытаниях, Па | Средняя пылездерживающая способность A_m по синтетической пыли, % | Средняя эффективность E_m для частиц с размером 0,4 мкм, % | Минимальная эффективность ^{a)} для частиц с размером 0,4 мкм, % |
|-------------------------|-------|--|---|--|--|
| Фильтры грубой очистки | G1 | 250 | $50 \leq A_m < 65$ | – | – |
| | G2 | 250 | $65 \leq A_m < 80$ | – | – |
| | G3 | 250 | $80 \leq A_m < 90$ | – | – |
| | G4 | 250 | $90 \leq A_m$ | – | – |
| Фильтры средней очистки | M5 | 450 | – | $40 \leq E_m < 60$ | – |
| | M6 | 450 | – | $60 \leq E_m < 80$ | – |
| Фильтры тонкой очистки | F7 | 450 | – | $80 \leq E_m < 90$ | 35 |
| | F8 | 450 | – | $90 \leq E_m < 95$ | 55 |
| | F9 | 450 | – | $95 < E_m$ | 70 |

a) Минимальная эффективность – это наименьшая эффективность из начальной эффективности, эффективности разряженного фильтра и наименьшей эффективности, полученной при проведении испытания.

устранена в новой редакции санитарных правил по работе с микроорганизмами III–IV групп патогенности СП 1.3.3118–13, в которых четко указано требование использования фильтров типа HEPA класса не менее H14. Это обстоятельство еще раз указывает на устаревание СП 1.3.2322–08 и требует их скорейшего пересмотра.

Заключение

В последнее время наблюдается интенсивная деятельность по приведению систем вентиляции в порядок. Все больше и больше внимания привлекается к этой области инженерного обеспечения безопасности труда. Тем не менее существуют следующие проблемы, которые не позволяют систематически успешно решать поставленные задачи.

1. Недостаток специалистов с навыками и знаниями, позволяющими грамотно спроектировать

систему приточно-вытяжной вентиляции для лабораторий, учитывая специфику работы в каждом конкретном случае.

2. Отсутствие культуры работы с HEPA-фильтрами. Зачастую HEPA-фильтры повреждаются инженерами без должных навыков работы уже на этапе извлечения из заводской упаковки и установки на место эксплуатации.

3. Недостаток квалифицированных специалистов, способных провести проверку систем вентиляции и HEPA-фильтров.

4. Наличие некоторого числа недобросовестных производителей и поставщиков HEPA-фильтров, поставляющих низкокачественную продукцию.

Литература

1. Санитарно-эпидемиологические правила СП 1.3.2322–08. Безопасность работы с микроорганизмами III–IV групп патогенности (опасности)

и возбудителями паразитарных болезней. – М., 2008.

- Санитарно-эпидемиологические правила СП 1.3.3118–13. Безопасность работы с микроорганизмами III–IV групп патогенности (опасности). – М., 2013.
- ГОСТ Р ЕН 1822–1–2010. Высокоэффективные фильтры очистки воздуха EPA, HEPA, ULPA. Ч. 1. Классификация, методы испытаний маркировка. – М., 2010.
- ГОСТ Р ЕН 779–2014. Фильтры очистки воздуха общего назначения. Определение технических характеристик. – М., 2014.
- Ененко А. А. Особенности проверки целостности HEPA- и ULPA-фильтров в боксах микробиологической безопасности // Технология чистоты. – 2014. – № 2.
- ГОСТ ИСО 14644–3–2007. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Ч. 3. Методы испытания. – М., 2007. ■