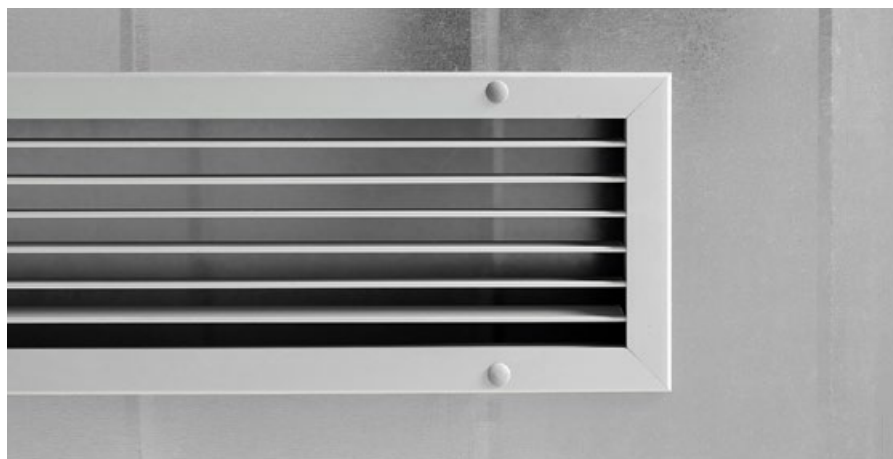




Загрязнение воздуховодов и оборудования при монтаже и эксплуатации систем вентиляции и способы возможного устранения

Рецензия эксперта на статью получена
10.06.2025 [The expert review of the article
was received on June 10, 2025]

При создании и поддержании оптимальных или допустимых параметров воздушной среды всё более строгие требования предъявляются к качеству воздуха, а именно к наличию в его составе различных примесей и атмосферной пыли [1]. Как правило, нормируемая чистота в основном достигается необходимым воздухообменом, который обеспечивает содержание на низком уровне не только вредных газовых примесей, например, углекислого газа, но и взвешенных частиц [2].

При этом перечисленные компоненты в помещения поступают с обработанным наружным воздухом в результате ограниченного КПД очистного оборудования приточных установок, а также через неплотности в технологических линиях при осуществлении производственных процессов и за счёт «взмучивания» дисперсных частиц с поверхностей оборудования, в том числе и вентиляционного.

Кроме того, интенсивное пылеобразование, снижающее качество воздушной среды, может происходить при экстремальных погодных явлениях, сопровождаемых усилением ветра, что является характерным для некоторых районов Российской Федерации.

Для предупреждения поступления и взмучивания мелкодисперсных частиц на предприятиях проводятся определенные мероприятия, направленные на уменьшение концентрации этих частиц в рабочей зоне. Например, герметизация участков производственных технологических линий с нарушением уплотнений, создание незначительного разрежения в обрабатываемом оборудовании посредством местной вытяжной вентиляции, выполнение достаточно частой влажной уборки и обеспечение качества воздушной среды другими возможными средствами.

Нормируемая чистота воздушной среды в основном достигается необходимым воздухообменом, который обеспечивает содержание на низком уровне газовых вредностей и взвешенных частиц. При этом перечисленные компоненты в помещения поступают с обработанным наружным воздухом в результате ограниченного КПД очистного оборудования приточно-вытяжной установки

УДК 628.23. Научная специальность: 2.1.3.

Загрязнение воздуховодов и оборудования при монтаже и эксплуатации систем вентиляции и способы возможного устранения

Д. А. Прутских, к.т.н., доцент, кафедра теоретической и промышленной теплоэнергетики; **Д. В. Лобанов**, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ); **Т. В. Шукина**, к.т.н., доцент, кафедра ЖКХ, Воронежский государственный технический университет (ВГТУ)

Рассматриваются вопросы снижения концентраций примесей в приточном воздухе на примере атмосферной пыли. Приводятся рекомендации по предотвращению и устранению последствий запылённости, возникающей на всех этапах производства работ. Для повышения качества воздушной среды предложено размещать в форкамерах непосредственно за наружными решётками отдельные секции очистки, а также использовать при проведении пусконаладочных работ легко интегрируемые в участки воздуховодов и впоследствии устранимые мобильные фильтрующие элементы. Решение уравнения диффузии для таких пористых структур показало эффективность применения широко распространённых нетканых материалов для защиты оборудования от загрязнений и от распространения пыли в системах вентиляции.

Ключевые слова: системы вентиляции, качество воздушной среды, атмосферная пыль, диффузия дисперсных частиц, фильтрующие материалы.

UDC 628.23. Number of scientific specialty: 2.1.3.

Contamination of air ducts and equipment during installation and operation of ventilation systems and possible remedies

D. A. Prutskikh, PhD, Associate Professor, the Department of Theoretical and Industrial Thermal Power Engineering; **D. V. Lobanov**, senior lecturer, the Department of Housing and Communal Services (HCS); **T. V. Shchukina**, PhD, Associate Professor, the Department of HCS, Voronezh State Technical University (VSTU)

The issues of reducing the concentrations of impurities in the supply air are considered using the example of atmospheric dust. Recommendations are given for the prevention and elimination of the consequences of dustiness that occurs at all stages of work. To improve the quality of the air environment, it is proposed to place separate cleaning sections in the pre-chambers directly behind the external grilles, as well as to use mobile filter elements that can be easily integrated into duct sections and subsequently eliminated during commissioning. The solution of the diffusion equation for such porous structures has shown the effectiveness of the use of widely used nonwovens to protect equipment from contamination and from the spread of dust in ventilation systems.

Key words: ventilation systems, air quality, atmospheric dust, diffusion of dispersed particles, filtering materials.

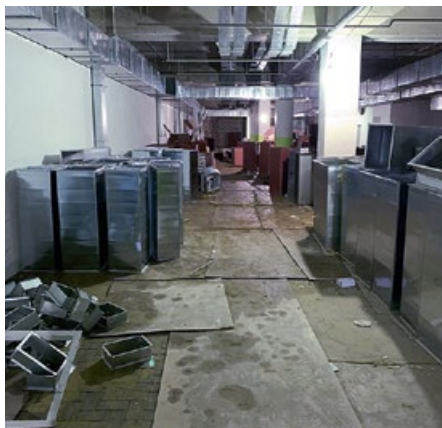


Рис. 1. Хранение вентиляционных изделий на объекте (слева) и на прилегающей территории

Однако практика длительной эксплуатации показывает, что, несмотря на принимаемые решения и действия, вентиляционные системы могут стать дополнительным источником и проводником различного рода загрязняющих веществ, что недопустимо, особенно при высоких требованиях, предъявляемых к так называемым «чистым помещениям».

Данная проблема особенно актуальна, например, для зданий лечебно-профилактических учреждений. В соответствии с п. 4.5.2 действующих санитарно-эпидемиологических требований к эксплуатации помещений и зданий [3], в которых предоставляются медицинские услуги, «*один раз в год должна проводиться проверка эффективности работы, а также очистка и дезинфекция систем механической приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования*». Несмотря на чёткую и однозначную формулировку этого правила, его достаточно часто нарушают, в том числе по причине труднодоступности элементов системы и оборудования.

В связи с этим рассмотрим влияние основных этапов производства строительно-монтажных работ и дальнейшего функционирования вентиляционных систем на способность поддерживать необходимый уровень качества воздушной среды. Отметим, что основной акцент

будет направлен на возможную запылённость воздуха, подаваемого в помещения приточными установками.

Поступление мелкодисперсных частиц, осаждение на оборудовании и распространение по сети повышают концентрацию частиц в обработанном наружном воздухе, направляемом в обслуживаемые зоны.

Для устранения последствий загрязнения систем вентиляции должны рассматриваться и приниматься решения на всех этапах жизненного цикла, начиная с изготовления воздуховодов и фасонных частей, их хранения на складах (особенно открытого типа), а также на объекте строительства или на прилегающей к нему территории (рис. 1), и заканчивая монтажом с последующей эксплуатацией.

Особенно сильное загрязнение наружных и внутренних поверхностей изделий происходит до начала сборки систем. Оно может быть образовано как пылью, так и другими вредными компонентами, в основном исходящими от автомобильного транспорта, при этом загрязнение усугубляется комплексным воздействием различных атмосферных факторов. Поэтому при неблагоприятных условиях загрязнения достаточно прочно «прилипают» к воздуховодам (рис. 2), что в дальнейшем существенно осложняет их устранение, особенно на внутренних поверхностях.



Рис. 2. Загрязнения внутренних поверхностей воздуховодов

На следующем этапе на объекте могут проводиться строительно-монтажные работы одновременно бригадами различных специализаций: возведение стен и перегородок с подготовкой отверстий под коммуникации, штукатурные и плиточные работы, прокладка инженерных систем и т.д. Такая совместная и разнонаправленная производственная деятельность приводит к дальнейшему загрязнению. Например, размещение участка в отверстии строительной конструкции с сопутствующей установкой перфорированных кабельных лотков (рис. 3) способствует дополнительному осаждению дисперсных частиц, причём как на внутренних, так и на внешних поверхностях воздуховода.

С учётом рассмотренных типичных условий хранения, выполнения подготовительных и проведения строительно-монтажных работ можно заключить, что вентиляционные системы до ввода в эксплуатацию проходят как минимум два основных этапа загрязнения: на площадках, отведённых под складирование, и при сборке участков и фасонных частей в зонах с сопутствующей производственной деятельностью другого направления.



Рис. 3. Прокладка инженерных коммуникаций (установка перфорированных кабельных лотков), способствующая загрязнению поверхностей воздуховодов

Так как для большинства общественных и промышленных зданий характерны значительные протяжённости и площади поверхностей смонтированных воздуховодов, то их очистка с требуемой дезинфекцией оказывается достаточно проблемной задачей. Несмотря на такие затруднения, при наладке и дальнейшей эксплуатации вентиляционных систем периодически выполняют удаление пыли по мере её накопления на воздухозаборных решётках форкамер, в воздушных фильтрах и других секциях приточных установок. Регулярность и частота проведения работ по очистке оборудования зависят от запылённости атмосферного воздуха, места расположения воздухозаборников, производительности вентиляционных систем и режимов эксплуатации.



■ Рис. 4. Фасад здания с размещением воздухозаборных и выбросных решёток в зоне дебаркадера

Для ограничения условий взмучивания и снижения поступлений дисперсных частиц в помещения необходимо прежде всего выбирать место размещения воздухозаборных решёток, причём не только в согласовании с общей архитектурной концепцией здания, но и с учётом расположения другого оборудования, в том числе и вентиляционных выбросов [4].

Так, например, достаточно сложно поддерживать высокое качество микроклимата в помещениях, если воздухозабор расположен рядом с участками вытяжных систем, организующих выпуск удаляемых потоков, и в зонах дебаркадеров (рис. 4), то есть вблизи предусмотренных элементов транспортной или складской инфраструктуры. Если рациональные планировочные решения по размещению оборудования не позволяют снизить запылённость воздуха, направляемого в приточные камеры, то эти вопросы достаточно часто решаются на месте доступными средствами. Например, на заборе воздуха для системы вентиляции общественного

здания был дополнительно установлен нетканый текстильный материал (синтепон), который, как показано на рис. 5, достаточно эффективно защищает от проникновения дисперсных частиц и их распространения по вентиляционной сети. Целесообразность применения таких по-



■ Рис. 6. Чистый (слева) и загрязнённый воздушные фильтры приточной вентиляции



■ Рис. 5. Синтепон после семи (слева) и 14 дней эксплуатации системы

ристых структур доказывается внешним видом их фронтальных поверхностей, представленных на рис. 5, после семи и 14 дней эксплуатации.

Несмотря на применение всесторонне обоснованных технических решений по размещению оборудования и дополнительной защите воздухозаборов, периодически требуется выполнять профилактическое удаление пыли. Необходимость регенерации или замены фильтрующих элементов, утративших сорбирующую способность, определяется по датчикам перепада давлений до и после секции очистки. Однако службы эксплуатации не всегда должным образом следят за показаниями микроманометров, в какой-то мере отказываясь от соблюдения нормативных требований по своевременному сервисному обслуживанию [5]. Такие факты имеют многократное подтверждение, в том числе и ситуацией, представленной на рис. 6. Состояние воздушного фильтра приточной вентиляционной системы административного здания после одного года эксплуатации наглядно указывает на необходимость регулярного выполнения профилактических работ [5].

Как было показано выше, для предотвращения поступления основной массы дисперсных частиц в приточные установки достаточно эффективным способом является размещение в форкамерах дополнительных фильтрующих секций непосредственно за наружными решётками. Частицы обычной атмосферной пыли, содержащейся в воздухе, направляемом на обработку, имеют размеры от 0,001 до 30 мкм [6], что позволяет задерживать такую пыль в пористых структурах фильтрующей секции при её незначительном проскоке. Однако для людей, страдающих аллергическими реакциями, наибольшую угрозу представляет пыльца.

Во время цветения ветроопыляемых растений, в том числе деревьев, происходит распространение сухой и лёгкой пыльцы размерами 15–50 мкм [7]. Диаметры обычной пыли в верхнем пределе диапазона сопоставимы с размерами пыльцы, поэтому при рассмотрении вопросов эффективной очистки, как от первого компонента, так и от второго, общую смесь можно считать гомогенной.

Перенос тонкодисперсных частиц в воздушной среде описывается дифференциальным уравнением конвективной диффузии [8, 9]:

$$v_x \frac{\partial c}{\partial x} + v_y \frac{\partial c}{\partial y} + v_z \frac{\partial c}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где v_x , v_y и v_z — проекции скорости очищаемого потока на оси координат, м/с; c — концентрация компонентов, мг/м³; D — коэффициент конвективной диффузии, м²/с. При установившемся течении среды в преобладающем направлении фронтального движения к пористой фильтрующей насадке уравнение (1) можно записать в виде:

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \frac{v}{pD} \frac{\partial c}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

где x — координата в направлении движения воздуха с расположением начала оси на фронтальной поверхности фильтра (рис. 7), м; p — пористость фильтра, равная отношению объёма пор ко всему объёму материала.

При вводе в уравнение (2) безразмерной координаты $\bar{x} = x/\delta$, отнесённой к толщине слоя δ , и последующем интегрировании получаем зависимость:

$$c = C_1 e^{\frac{\delta v}{pD} \bar{x}} + C_2, \quad (3)$$

где C_1 и C_2 — постоянные интегрирования.

Примем, что при $\bar{x} = 0$ концентрация взвешенных включений является максимальной и соответствует значениям c_m , характерным для окружающей среды рассматриваемого района. Учитывая эффективность улавливания пористой насадки посредством значений КПД η [10], содержание мелкодисперсных частиц в воздухе после секции фильтра будет составлять $c_f = (1 - \eta)c_m$ [11, 12]. Тогда при использовании граничных условий:

при $\bar{x} = 0$, $c = c_m$; при $\bar{x} = 1$, $c = c_f$; (4)
выражение (3) преобразуется в функцию вида:

$$c = \frac{c_f - c_m}{e^{\frac{\delta v}{pD}} - 1} \left(e^{\frac{\delta v}{pD} \bar{x}} - 1 \right) + c_m. \quad (5)$$

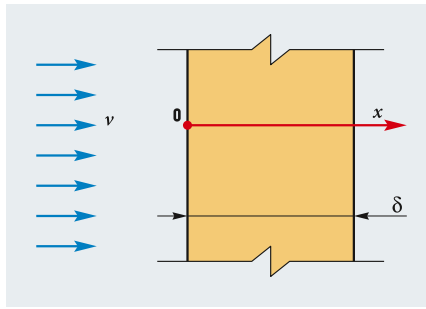


Рис. 7. Схема фильтрующего элемента

Рассмотрим прогнозируемое поле концентрации пыли в пористой насадке. Для этого выберем в качестве фильтрующего материала синтепон, который широко используется для массового пошива одежды и может иметь толщину от 5 до 50 мм. Безусловным преимуществом выполнения секции очистки из такой нетканой структуры является возможность стирки с использованием обычных моющих средств. При этом последующая сушка материала сопровождается равномерным восстановлением объёма без сваливания в отдельные плотные участки.

Примем, что за наружной решёткой, через которую воздух поступает в форкамеру, установлена секция очистки с предлагаемой сорбирующей структурой толщиной 50 мм. Тогда при скорости очищаемой среды 2 м/с и разной пористости синтепона, в соответствии с выражением (5), получаем распределение концентрации дисперсных частиц, представленное на рис. 8. Расчёты проведены с учётом сильной запылённости атмосферного воздуха [13, 14], соответствующей значению ПДК, равному 2 мг/м³, и при содержании 10–70% диоксида кремния SiO₂.

Наряду с полученным результатом было выполнено математическое моделирование фильтрации дисперсных частиц методом конечно-элементного анализа, которое подтвердило эффективность такого защитного устройства (рис. 9, 10).

Приведённые расчётные показатели полей концентрации (рис. 8–10) позволяют заключить, что основное улавливание атмосферной пыли происходит в слое не более 1/3 от принятой толщины материала.

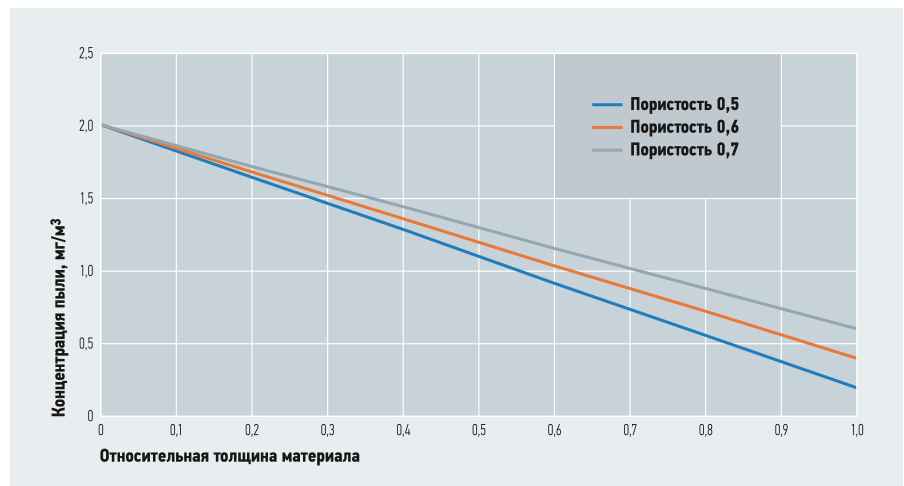


Рис. 8. Распределение концентрации пыли в фильтрующем материале (в слое синтепона толщиной 50 мм) при разной пористости

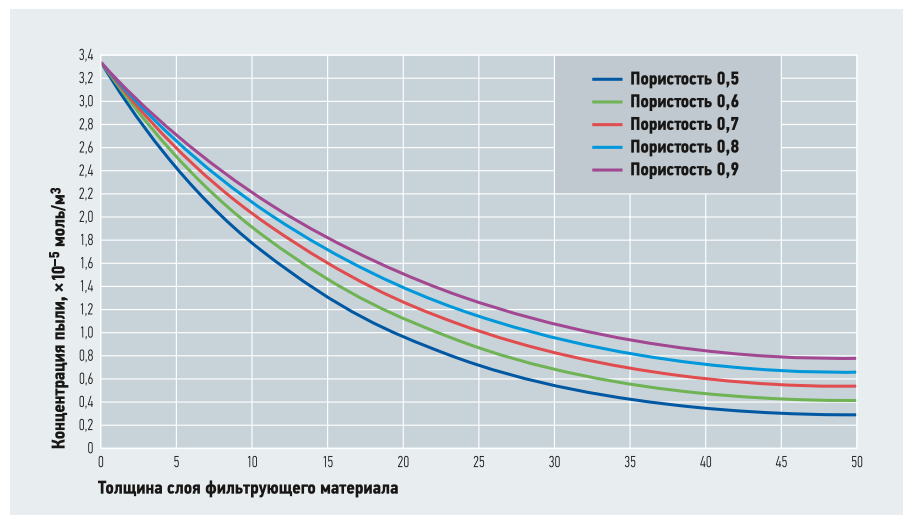


Рис. 9. Распределение концентрации дисперсных частиц в фильтрующем материале (толщиной 50 мм) при его разной пористости

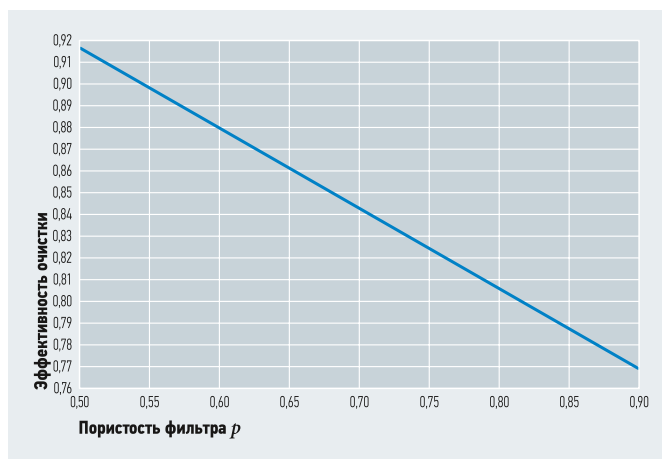


Рис. 10. Зависимость эффективности очистки от пористости

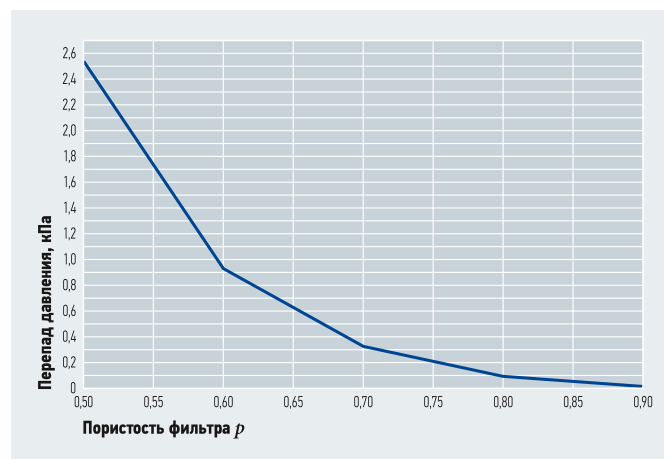


Рис. 11. Зависимость перепада давления на фильтре от пористости

Поэтому, предусматривая дополнительную секцию фильтра, можно установить в ней наиболее широко производимый синтепон толщиной до 30 мм с высокой пористостью, что в соответствии с рис. 11 обеспечит незначительный перепад давления до и после материала.

Такое простое и эффективное решение, как предварительная очистка воздуха перед его поступлением в приточные установки, можно полностью извлечь крупную пыль из потока и существенно снизить вероятность проскока наиболее тонкодисперсных частиц. Предложенная дополнительная защита рекомендуется для применения в форкамерах не только в целях снижения концентраций примесей, но и по причинам обеспечения относительно лёгкого и необременительного сервиса, который будет характеризоваться как меньшим количеством осмотров, так и незначительной потребностью в замене материалов фильтрующих секций приточных установок.

Несмотря на используемые дополнительные технические решения, перед пуском приточных систем вентиляции в форкамерах и в установленном оборудовании следует устранить осевшую пыль. Дальнейшая эксплуатация предусматривает проведение работ по очистке и дезинфекции приточных установок, кондиционеров и воздухопроводов производственных, административных и общественных зданий, а также медицинских учреждений в соответствии с рекомендациями [3, 5, 15]. Однако, вопреки действующим нормам, часто отсутствует надлежащий контроль и надзор за исполнением правил содержания оборудования.

Учитывая приведённые факты и выполненные обоснования, для снижения возможного загрязнения оборудования и поверхностей воздухопроводов в процессе выполнения монтажа вентиляционных систем и при их эксплуатации требуется соблюдать следующие рекомендации:

- при транспортировке и перемещении вентиляционных изделий необходимо использовать различные способы защиты от загрязнений (например, стретч-плёнки), особенно внутренних поверхностей;
- места хранения следует обустроить в специально подготовленных помещениях или на площадках, исключающих возможность загрязнения;
- организовать монтаж на объекте таким образом, чтобы строительные работы, сопровождаемые поступлением мелкодисперсных частиц в воздушную среду,

В районах с высокой запылённостью атмосферного воздуха за наружными решётками в форкамерах необходимо устанавливать дополнительные секции очистки, обеспечивающие основной отсев загрязняющих компонентов и выполняющие функцию барьерной защиты

не проводились в одном помещении одновременно с установкой участков и оборудования систем вентиляции;

□ при проведении пусконаладочных работ следует временно размещать легко интегрируемые мобильные секции фильтров на магистралях для предотвращения загрязнения последующих участков;

□ в районах с высокой запылённостью атмосферного воздуха за наружными решётками в форкамерах необходимо устанавливать дополнительные секции очистки, обеспечивающие основной отсев загрязняющих компонентов и тем самым выполняющие функцию барьерной защиты для оборудования;

□ организовать должный уровень надзора и контроля службой эксплуатации, в соответствии с объёмом задач, определяемым не только согласно требованиям и рекомендациям нормативно-справочных документов, но и с учётом специфики размещения вентиляционных систем на объектах. ●

1. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализ. ред. СНиП 41-01-2003 (с Попр., с Изм. №1-5) / Дата введ.: 01.07.2021.
2. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях (с Попр., с Изм. №1) / Дата введ.: 01.01.2013.
3. Инструкция по проведению очистки и дезинфекции систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Утв. Глав. гос. сан. врачом по г. Москве Н.Н. Филатовым 09.06.2003.
4. Лобанов Д.В., Мерзиев А.А., Звенигородский И.И. Необходимость комплексного подхода при архитектурном проектировании здания // Высокие технологии в строительном комплексе, 2022. №1. С. 27-30.
5. СП 336.1325800.2017. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила эксплуатации / Дата введ.: 06.03.2018.
6. Уляшева В.М., Анисимов С.М., Михайлов Е.В. Совершенствование очистки воздуха в системах обеспечения микроклимата чистых помещений // Вестник БГТУ, 2019. №2. С. 81-85.
7. Исаков И.Ю., Мацнева М.А. Определение размеров и жизнеспособности пыльцы местных и интродуцированных видов берёз // Лесотехнический журнал, 2015. №3. С. 33-40.
8. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебн. для вузов. Изд. 10-е, стереот., дораб. — М.: ООО «Тид «Альянс», 2008. 753 с.
9. Протодяконов И.О., Люблинская И.Е., Рыжков А.Е. Гидродинамика и массообмен в дисперсных системах «жидкость — твёрдое тело». — Л.: Химия, 1987. 336 с.
10. Чупалов В.С. Воздушные фильтры: монография. — СПб.: СПГУТД, 2005. 167 с.
11. Караджи В.Г., Московко Ю.Г. Вентиляционное оборудование. Технические рекомендации для проектировщиков и монтажников. — М.: АВОК-Пресс, 2010. 432 с.
12. Тертичник Е.И. Вентиляция. Изд. 2, стереот. — М.: Изд-во АСВ, 2020. 608 с.
13. Стадницкий Г.В. Экология: учебник. — СПб.: Химиздат, 2024. 296 с.
14. ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны / Утв. пост. Глав. гос. сан. врача РФ от 13.02.2018 №25. [Утр. силу]
15. СП 2.1.3678-20. Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг (с изм. на 20.03.2024) / Утв. пост. Глав. гос. сан. врача РФ от 24.12.2020 №44.

References — see page 80.

Contamination of air ducts and equipment during installation and operation of ventilation systems and possible remedies. Pp. 31–35.

Dmitry A. Prutskikh, PhD, Associate Professor, the Department of Theoretical and Industrial Thermal Power Engineering; **Dmitry V. Lobanov**, senior lecturer, the Department of Housing and Communal Services (HCS); **Tatiana V. Shchukina**, PhD, Associate Professor, the Department of HCS, Voronezh State Technical University (VSTU)

1. SP 60.13330.2020 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 60.13330.2020]. *Otoplenie, ventiljatsija i konditsionirovanie vozdukhha* [Heating, ventilation and air conditioning]. Aktualiz. red. SNiP 41-01-2003 (s Popr., s Izm. No. 1–5) [Updated version of the Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 41-01-2003 (with Adjustment, with Amendments No. 1–5)]. Date of impl.: July 1, 2021. [In Russian]
2. GOST 30494–2011 [The State Industry Standard of Russia No. 30494–2011]. *Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomeshchenijakh* (s Popr., s Izm. No. 1) [Residential and public buildings. Microclimate parameters in premises (with Adjustment, with Amendment No. 1)]. Date of impl.: January 1, 2013. [In Russian]
3. *Instruktsija po provedeniju oчитki i dezinfektsii sistem ventiljatsii i konditsionirovanija vozdukhha* [Instructions for cleaning and disinfection of ventilation and air conditioning systems]. *Utv. Glav. gos. san. vrachom po gorodu Moskve N.N. Filatovym 09.06.2003* [Approved by N.N. Filatov, the Chief State Sanitary Doctor for the Moscow, of June 9, 2003]. [In Russian]
4. D.V. Lobanov, A.A. Mershchiev, I.I. Zvenigorodsky. *Neobhodimost' kompleksnogo podhoda pri arhitekturnom proektirovanii zdaniya* [The need for an integrated approach to architectural design of a building]. *Vysokie tekhnologii v stroitel'nom komplekse* [“High technologies in the construction complex” Magazine]. 2022. No. 1. Pp. 27–30. [In Russian]
5. SP 336.1325800.2017 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 336.1325800.2017]. *Sistemy ventiljatsii i konditsionirovanija vozdukhha. Pravila jekspluatatsii* [Ventilation and air conditioning systems. Operating rules]. Date of impl.: March 6, 2018. [In Russian]
6. V.M. Ulyasheva, S.M. Anisimov, E.V. Mikhailov. *Sovershenstvovanie oчитki vozdukhha v sistemakh obespechenija mikroklimata chistyykh pomeshchenij* [Improving air purification in cleanroom microclimate systems]. *Vestnik BGTU* [Bulletin of the Belgorod State Technological University]. 2019. No. 2. Pp. 81–85. [In Russian]
7. I.Ju. Isakov, M.A. Matsneva. *Opreделение razmerov i zhiznesposobnosti pyl'tsy mestnykh i introdutsirovannykh vidov berez* [Determination of the size and viability of pollen of local and introduced birch species]. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [“Forest Engineering Journal” Magazine]. 2015. No. 3. Pp. 33–40. [In Russian]
8. A.G. Kasatkin. *Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii: uchebn. dlja vuzov* [Basic processes and apparatuses of chemical technology: A textbook for universities]. 10th edition, ster., rev. Moscow. OOO “TID “Al'jans” [“TID” Alliance”, LLC]. 2008. 753 p. [In Russian]
9. I.O. Protodyakonov, I.E. Lyublinskaya, A.E. Ryzhkov. *Gidrodinamika i massoobmen v dispersnykh sistemakh “zhidkost’ — tverdoe telo”* [Hydrodynamics and mass transfer in dispersed systems “liquid — solid”]. Leningrad. Khimija [“Chemistry” Publishers]. 1987. 336 p. [In Russian]
10. V.S. Chupalov. *Vozdushnye fil'try: monografija* [Air filters: A monograph]. St. Petersburg. SPGUTD [St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design]. 2005. 167 p. [In Russian]
11. V.G. Karadzhi, Ju.G. Moskovko. *Ventiljatsionnoe oborudovanie. Tekhnicheskie rekomendatsii dlja proektirovshchikov i montazhnikov* [Ventilation equipment. Technical recommendations for designers and installers]. Moscow. AVOK-Press [Publishing House of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (“ABOK-Press”)]. 2010. 432 p. [In Russian]
12. E.I. Tertichnik. *Ventiljatsija* [Ventilation]. 2nd edition, ster. Moscow. Izd-vo ASV [Publishing House of the Association of Construction Universities (“ASV” Publishers)]. 2020. 608 p. [In Russian]
13. G.V. Stadnitskij. *Jekologija: uchebnik* [Ecology: A textbook]. St. Petersburg. Khimizdat [Publishing House of Chemical Literature of the USSR (“Khimizdat” Publishers)]. 2024. 296 p. [In Russian]
14. GN 2.2.5.3532–18 [Hygienic standards No. 2.2.5.3532–18]. *Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) vrednykh veshchestv v vozdukhhe rabochej zony* [Maximum permissible concentrations (MPC) of harmful substances in the air of the working area]. *Utv. post. Glav. gos. san. vracha RF ot 13.02.2018 No. 25* [Approved by the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 25 of February 13, 2018 (Withdr.)]. [In Russian]
15. SP 2.1.3678–20 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 2.1.3678–20]. *Sanitarno-jepidemiologicheskie trebovanija k jekspluatatsii pomeshchenij, zdaniy, sooruzhenij, oborudovanija i transporta, a takzhe uslovijam dejatel'nosti khozjajstvujushchikh sub#ektov, osushchestvlyajushchikh prodazhu tovarov, vypolnenie robot ili okazanie uslug* (s izm. na 20.03.2024) [Sanitary and epidemiological requirements for the operation of premises, buildings, structures, equipment and transport, as well as the operating conditions of business entities selling goods, performing work or rendering services (as amended on Mart 20, 2024)]. *Utv. post. Glav. gos. san. vracha RF ot 24.12.2020 No. 44* [Approved by the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 44 of December 24, 2020]. [In Russian]