

Полоцкий государственный университет

УДК 697.942.4:628.511(043.3)

ПИВОВАРОВА
Светлана Ивановна

РЕГЕНЕРАЦИЯ ФИЛЬТРОВ ИМПУЛЬСНЫМИ СТРУЯМИ
В ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Новополоцк 1997

Работа выполнена в Полоцком государственном университете

Научный руководитель

доктор технических наук,
профессор ЛУГОВСКИЙ С.И.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор САЗОНОВ Э.В.

кандидат технических наук,
доцент СИЗОВ В.Д.

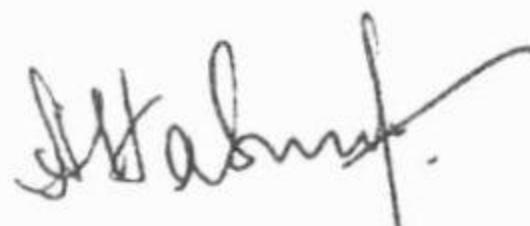
Оппонирующая организация – ПКТБ "Минскпроектмебель" (г. Минск)

Защита состоится "19" июня 1997 г. в 13⁰⁰ час. на заседании Совета по защите диссертаций К 02. 19. 01 при Полоцком государственном университете (211440, Республика Беларусь, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29) в конференц-зале библиотеки ПГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ПГУ.

Автореферат разослан "17" мая 1997 г.

Учёный секретарь совета
по защите диссертаций
к.т.н., доцент



А.Г.Наазин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Для очистки воздуха от пыли системы вентиляции административных, общественных и промышленных зданий оснащаются различными фильтровальными установками, в том числе широко используются сухие тканевые фильтры. В работе мы будем рассматривать рулонные и ячейковые тканевые фильтры с незамасляной поверхностью, а также рукавные фильтры в различных системах вентиляции, улавливающих следующие виды пылей: атмосферную, льняную, кварцевую, кварцево-глиноэфирную. Особенностью этих фильтров является то, что их наполнители насыщаются пылью и приходится часто полностью заменять фильтровальные материалы. В результате использования фильтров, отработавших один цикл, возникает необходимость уничтожения большого количества запыленных фильтровых материалов, что требует значительных дополнительных энергоатрат и связано с выбросами вредных веществ в атмосферный воздух. В настоящее время проводят регенерацию перечисленных фильтров по отработанным схемам: механическим сотрясением или обратной продувкой фильтров воздухом с помощью вентиляторов, что не даёт качественной очистки фильтров и ухудшает экологию окружающей среды.

В связи с изложенным актуальность диссертационной работы состоит в необходимости проведения исследований по теоретической и конструктивной разработке более совершенного способа регенерации тканевых фильтров, что отвечает назревшим потребностям народного хозяйства Республики Беларусь.

Диссертационная работа является составной частью и одним из завершенных разделов важнейшей научной тематики по экологии Полоцкого государственного университета (тема ГБ 1296).

Цель и задачи работы. Целью настоящей работы является разработка методов повышения эффективности регенерации ячейковых, рулонных и рукавных фильтров, наиболее часто применяемых в практике эксплуатации тканевых фильтров в системах приточной, вытяжной вентиляции и очистки вентиляционных и технологических выбросов от пыли.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- на основании обобщения и анализа материалов технической литературы выбрать по техническим и экономическим соображениям наиболее приемлемый и эффективный способ регенерации принятых к

рассмотрению фильтров и установить реальную физическую модель этого процесса с последующим математическим её описанием;

- разработать теоретические основы и инженерный метод расчёта оптимальных параметров выбранного способа регенерации фильтровального материала для тканевых фильтров;

- разработать реальные конструкции компактных установок принятого и экспериментально проверенного способа централизованной и стационарной регенерации рассматриваемых фильтров.

Научная новизна. Впервые предложена новая эффективная технология регенерации плоских и модернизирован способ регенерации рукавных фильтров с помощью импульсных струй сжатого воздуха. Установлена реальная физическая модель деформации фильтровального материала и раскрыт механизм пневмоимпульсной его регенерации; установлены зависимости для определения оптимальных параметров этого способа восстановления работоспособности фильтров; выявлены геометрические и динамические свойства регенерирующей импульсной струи сжатого воздуха; с помощью ЭВМ произведена аппроксимация экспериментальных графиков, полученные уравнения дополняют разработанную в диссертации теоретическую основу; выполнено теоретическое обоснование параметров предложенного кранового импульсатора; на основании полученных теоретических основ и результатов экспериментальных исследований стало возможным производить научно обоснованный инженерный расчёт пневмоимпульсной регенерации тканевых воздушных фильтров.

Практическая значимость полученных результатов выражается в разработке эффективной технологии регенерации воздушных тканевых фильтров, позволяющей повысить степень улавливания пыли, многократно увеличить срок и время использования фильтров и в конечном итоге получить экономию материальных средств и энергозатрат, улучшить экологию окружающей среды и добиться снижения стоимости очистки воздуха от пыли.

Экономическая значимость работы состоит в том, что на её базе целесообразно создание в различных промышленных регионах Республики Беларусь коммерческих фирм для централизованной регенерации тканевых фильтров. При этом расчёты показывают, что от такой организации периодического и своевременного восстановления работоспособности фильтров достигается экономический эффект.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- разработанные теоретические основы и выявленные закономерности предложенной технологии импульсной регенерации тканевых воздушных фильтров;

- предложенные различные способы организации работ по регенерации плоских и рукавных фильтров, дающие возможность получить экономию материальных средств и санитарно-гигиенический эффект;
- рекомендуемые конструкции технических средств для осуществления централизованной пневмоимпульсной регенерации фильтров, которые позволяют повысить качество регенерации фильтров и производительность труда;
- обобщённые и обработанные результаты экспериментальных исследований, облегчающие практическое внедрение рекомендаций и выводов данной работы.

Достоверность полученных научных положений и рекомендаций обеспечивается экспериментальной проверкой теоретических закономерностей, подтвердившей удовлетворительную совпадаемость результатов теоретических и экспериментальных исследований; а также положительным эффектом практического использования выполненных разработок.

Реализация выводов и предложений - результаты исследований и рекомендации внедрены: для регенерации воздушных ячейковых фильтров приточной камеры Новополоцкого управления водозаборных и водоочистных сооружений и в учебный процесс кафедры "Теплогазоснабжение и вентиляция" ПГУ.

Личный вклад соискателя: разработка теоретических основ предложенной технологии регенерации фильтров, разработка конструкций технических средств регенерации и методики экспериментальных исследований. Обработка их результатов осуществлена самостоятельно соискателем. Соавторами проводились консультации по работе и оказывалась техническая помощь в проведении экспериментальных исследований.

Апробация: результаты диссертации докладывались и обсуждались на III Межреспубликанской научно-технической конференции "Процессы и оборудование экологических производств" (Волгоград, 1995 г.), на Международной научной конференции "Проблемы промышленной экологии и комплексная утилизация отходов производства" (Витебск, 1995 г.), на I общеуниверситетской научно-технической конференции (Новополоцк, ПГУ, 1995 г.), на научном семинаре кафедры теплогазоснабжения и вентиляции ПГУ (Новополоцк, ПГУ, 1993, 1994 и 1996 гг.), на научной конференции ВГТУ (Витебск, 1997 г.), на научном семинаре кафедры "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха" БГПА с участием представителей ПКТБ "Минскпроектмебель" (Минск, 1997 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано одиннадцать научных трудов, в том числе: 5 глав в монографии, одна статья, 5 тезисов докладов различных научных конференций.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка использованных литературных источников из 96 наименований (5 с.) и 12 приложений (42 с.). Она изложена на 87 страницах основного машинописного текста, набранного в редакторе "ChiWriter" (версии 2.12 и 3.14), и включает 56 рисунков (56 с.), 9 таблиц, набранных в редакторе "WD" (25 с.).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации приведен обзор научно-технической литературы, содержащий сведения о применяемой технологии регенерации воздушных тканевых фильтров. Оказалось, что в практике эксплуатации фильтровальных установок большую часть плоских фильтров не подвергают регенерации и наполнители их используют одноразово. В отдельных случаях применяют сухие способы регенерации фильтров, которые не дают качественного восстановления фильтровальной ткани.

Учитывая такую несовершенную эксплуатацию фильтров, в диссертации принят к исследованию наиболее перспективный способ регенерации перечисленных тканевых фильтров с помощью импульсных струй сжатого воздуха. Обзор литературных и патентных источников показал, что для этого способа регенерации отсутствует теоретическая база и нет необходимых конструктивных разработок. В практике импульсный способ регенерации пока получил ограниченное применение на отдельных предприятиях для регенерации рукавных фильтров. Однако из-за конструктивных недостатков и несовершенства его использования ограничено и недостаточно эффективно.

Во второй главе изложена разработанная теория импульсной регенерации фильтров. Основой для теоретического исследования послужила реальная физическая модель характера воздействия импульсной струи на фильтровальный материал (схема на рис. 1.). Как видно, в месте удара струи фильтровальный материал подвергается гибкой деформации в виде образования выпуклости, состоящей из двух частей: сегмента A_1EB_1D высотой $x_c - x_k$ и окаймляющего его усечённого конуса AA_1B_1B высотой $h_k = CD = x_k - x$.

Часть выпуклости в виде сегмента образуется от непосредственного воздействия импульсной струи на материал, а усеченный конус

возникает как следствие этого воздействия на материал, обладающий в той или иной степени свойствами гибкости, эластичности, растяжимости. Размеры сегмента и конуса зависят от расстояния до форсунки x' и от перечисленных свойств фильтровального материала.

Образование выпуклости приводит к расширению пор и каналов, в которых находятся застрявшие частицы пыли, и к разрушению пылевой корки с противоположной стороны материала. Такая гибкая деформация материала не повреждает его и при каждом импульсе струи интенсифицирует процесс обеспыливания. В данном случае самой импульсной струей создаются особые условия для деформации материала, так как она одновременно производит двойное действие на материал: нежёсткий удар вследствие сжимаемости воздуха и гибкости материала, а также проникновение воздуха в поры и каналы и сквозное продвижение по ним. Если бы материал не был пористым, то удар струи на него был бы жёстким, подчас разрушительным, что неприемлемо для регенерации фильтров.

После каждого импульса выпуклость распрямляется и материал принимает первоначальное положение. В результате происходит многократное колебание той части материала, на которую воздействует импульсная струя. Эти возвратно-поступательные колебания также способствуют удалению пыли из пор и каналов фильтровального материала.

Начальное сечение образующейся в материале выпуклости имеет форму круга, радиус которого равен

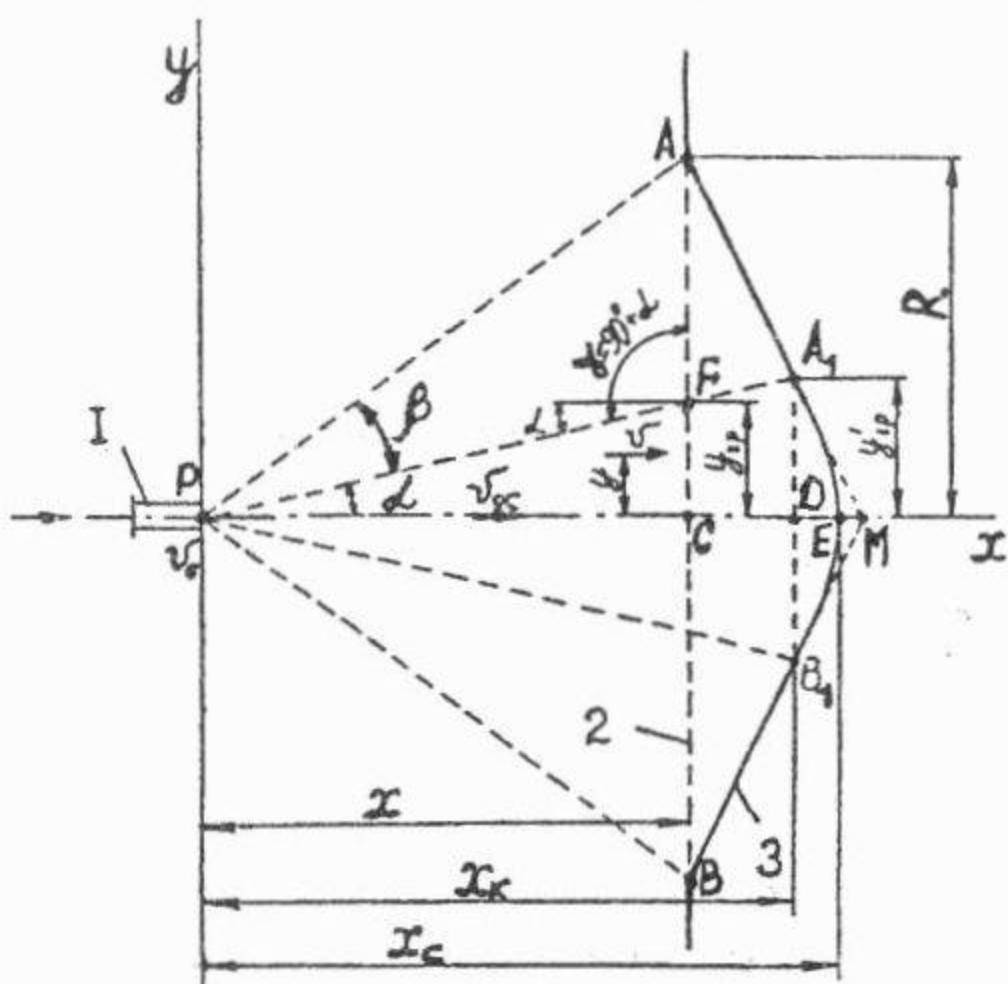


Рис. I . Схема физической модели деформации фильтровального материала

$$R = x \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta) \quad (1)$$

Опытные исследования показали, что для одного и того же материала угол β по мере удаления от начала истечения импульсной струи уменьшается. Это связано с тем, что с увеличением расстоя-

ния x уменьшается динамическое давление воздуха струи, а, следовательно, уменьшается и радиус R окружности начального сечения вмятины в фильтровальном материале. Значение этого угла необходимо определять экспериментальным путём для каждого вида материала с учетом давления сжатого воздуха и расстояния x (смотри значения угла β в диссертации в Приложении 3, табл. П.3). Что же касается сегмента, то по мере удаления от форсунки площадь его основания от непосредственного воздействия импульсной струи увеличивается, а высота уменьшается.

Математическая обработка принятой схемы физической модели позволила определить значения ряда важных параметров импульсной регенерации фильтров. Так, общая площадь материала в спокойном состоянии, на которую непосредственно и косвенно воздействует импульсная струя, составляет, m^2

$$f_{\text{стр}} = \pi \cdot \left[\frac{x \cdot \sqrt{1 + \tan^2(\alpha + \beta)} \cdot \sin \beta}{\cos \alpha} + x \cdot \tan \alpha \right]^2 \quad (2)$$

Коэффициент деформации материала представляет отношение

$$K_D = \frac{f_D}{f_{\text{стр}}} > 1. \quad (3)$$

В развернутом виде формула (3) имеет вид

$$K_D = \frac{x^2 [\tan^2(\alpha + \beta) - \tan^2 \alpha] + \pi \cdot [x_k^2 \cdot \tan^2 \alpha + (x_c - x_k)^2]}{\pi \cdot \left[\frac{x \cdot \sqrt{1 + \tan^2(\alpha + \beta)} \cdot \sin \beta}{\cos \alpha} + x \cdot \tan \alpha \right]^2}. \quad (4)$$

Чем больше значение коэффициента деформации, тем меньшей упругостью и большей эластичностью обладает фильтровальный материал и тем эффективнее он поддаётся регенерации.

Качественная регенерация фильтров возможна при условии, что площадь воздействия нескольких импульсных струй в максимальной степени покрывает площадь фильтровального материала. Этому условию в наибольшей степени отвечают две схемы расположения форсунок при регенерации: шахматно-касательное расположение контуров деформации и шахматное расположение с пересечением контуров деформации. В диссертации приведены схемы и формулы для расчёта необходимого количества форсунок.

Применительно к рукавным фильтрам пневмотрубки с форсунками следует располагать: при накоплении пыли на наружной поверхности рукавов - по оси внутри их (рис. 2,б); при накоплении пыли на внутренней поверхности - в межрукавном пространстве (рис.2,а).

При расположении форсунок внутри рукава необходимое их количество будет

$$n_4 = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot x^2 \cdot (a-1)}{f_{\text{стр}} \cdot [x^2 \cdot (a-1) + (r-x)^2]} . \quad (5)$$

Форсунки следует располагать в следующее количество ярусов

$$n_{\text{яр}} = \frac{n_4}{4} , \quad (6)$$

где 4 - необходимое число форсунок на одном ярусе (смотри рис.2).

Расстояние между ярусами форсунок по высоте пневмотрубки должно быть

$$L_{\text{яр}} = \frac{h}{n_{\text{яр}}} . \quad (7)$$

Крайние ярусы форсунок должны находиться от торцов рукава на расстоянии $L_{\text{яр}}/2$.

Время, затрачиваемое на один импульс струи сжатого воздуха, с

$$\tau_i = \tau_{\text{дв}} + \tau_{\text{вм}} + \tau_{\text{пв}} + \tau_{\text{в}} . \quad (8)$$

Наблюдения позволяют оценить, что $\tau_i = 0,4$ с. Тогда оптимальная частота импульсов сжатого воздуха составит, имп/мин

$$i_{\text{опт}} = \frac{60}{\tau_i} = \frac{60}{0,4} = 150 . \quad (9)$$

Расход сжатого воздуха за время одного импульса, m^3

$$L_i = \psi_0 \cdot f_0 \cdot \mu \cdot \delta_{\text{max}} \cdot \sqrt{\frac{R \cdot T_B}{\rho_a \cdot v}} \cdot \tau_i . \quad (10)$$

Расход сжатого воздуха одной форсункой, $m^3/\text{мин}$

$$L_\Phi = L_i \cdot i_{\text{опт}} . \quad (11)$$

Расход сжатого воздуха обеспыливающей установкой

$$L_{\text{уст}} = L_i \cdot i_{\text{опт}} \cdot n_\Phi . \quad (12)$$

В экспериментальных исследованиях нами приняты цилиндрические прямоточные форсунки диаметром 5 и 7 мм.

С увеличением расстояния между форсункой и регенерируемым материалом ослабляется воздействие на него сжатого воздуха и снижается эффект очистки. Поэтому расстояние между форсункой и материалом должно быть в пределах $0,05 \div 0,15$ м.

Скорость импульсной струи в момент удара о фильтровальный материал, м/с

$$v_x = 6,45 \cdot \psi \cdot v_0 \cdot \frac{R_0}{x} . \quad (13)$$

Сила удара струи о фильтровальный материал, Н

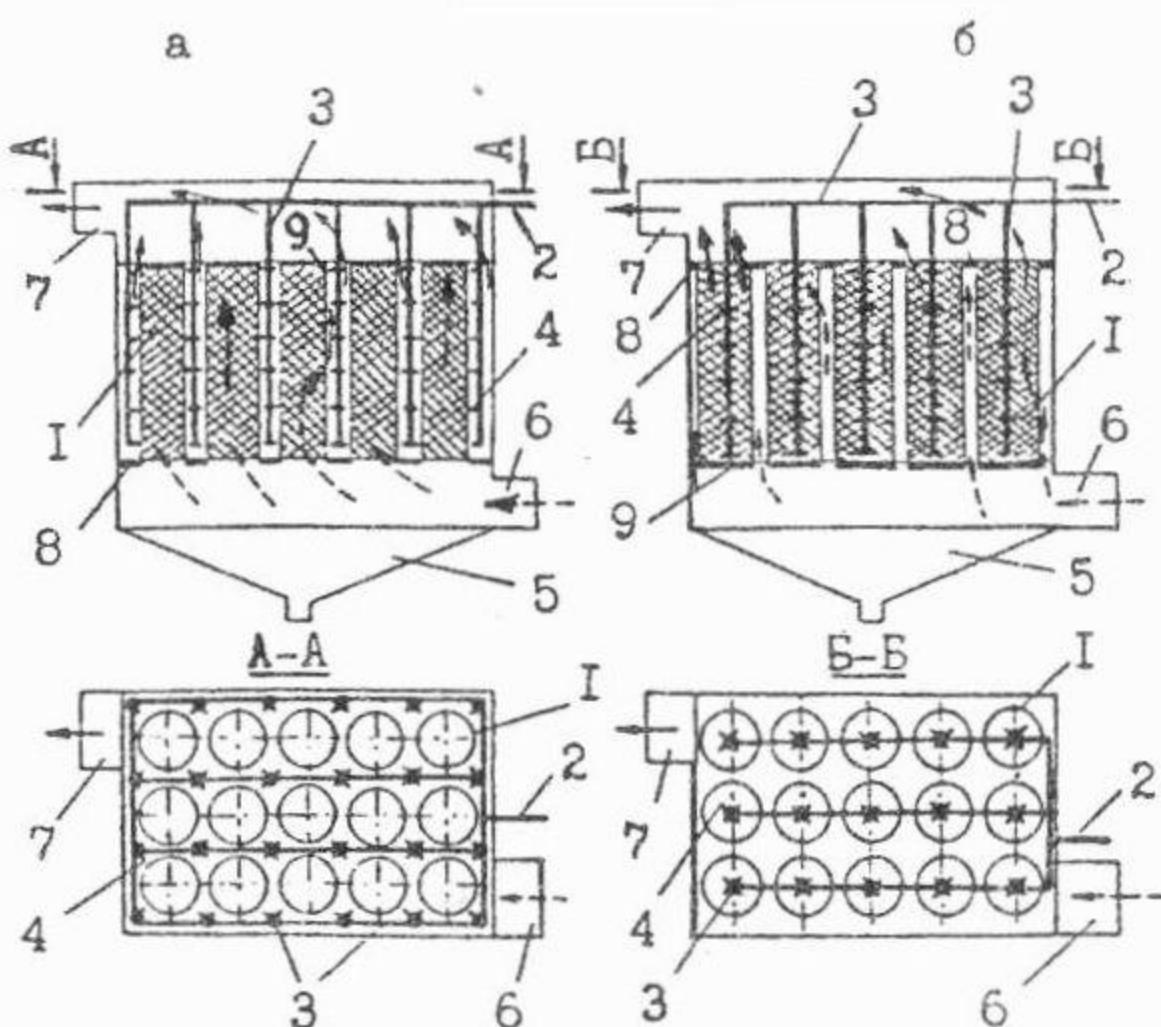


Рис. 2 . Схема импульсной регенерации рукавного фильтра

$$P_y = \frac{[6,45 \cdot \psi \cdot v_0 \cdot R_0]^2}{2x^2} \cdot f_y \cdot \rho_a . \quad (14)$$

Полная работа струи, Дж

$$A = P_B \cdot f_0 \cdot x . \quad (15)$$

Приращение кинетической энергии струи, Дж

$$\Delta T = \frac{m_B \cdot v_x^2}{2} - \frac{m_B \cdot v_0^2}{2} . \quad (16)$$

Импульс силы струи, (кг·м)/с

$$J = \int_0^{t_i} P_B \cdot f_0 \, dt . \quad (17)$$

Длина начального участка струи, м

$$x_{ii} = 12,4 \cdot R_0 . \quad (18)$$

Поскольку величина R_0 для форсунок мала, то длина начального участка струи невелика. Поэтому процесс регенерации фильтров происходит в основном участке струи.

Третья глава посвящена разработке технических средств и различной организации работ по импульсной регенерации фильтров.

Для создания импульсной подачи сжатого воздуха в условиях эксперимента был использован самый простой по конструкции крановый импульсатор разработанной нами конструкции, основной частью которого является стандартный трёхходовой кран КРТ. Импульсная подача сжатого воздуха осуществляется при вращении штока крана. Вращение штока в кране производится электродвигателем через редуктор, которые присоединены к нему на одной оси. Кран имеет входной патрубок и два выходных патрубка. В центре кран снабжен штоком (валиком), в теле которого имеется поперечный сквозной канал на проход и второй несквозной канал под углом 90° на ответвление. Вращение валика крана позволяет создавать выпуск сжатого воздуха чередующимися во времени порциями. Для того, чтобы воздух выпускался только в одном направлении, боковой патрубок заглушали. К одному патрубку на проход подключали трубопровод или шланг сжатого воздуха, а ко второму присоединяли регенерирующую установку с пневмофорсунками. За один оборот валика крана происходит два импульсных выпуска сжатого воздуха. Следовательно, число оборотов электродвигателя при оптимальном режиме регенерации составляет, об/мин

$$n_{\text{дв}} = \frac{i_{\text{опт}}}{2} . \quad (19)$$

Требующийся расход воздуха для обеспыливающей установки обеспечивается принятием соответствующего радиуса отверстия в штоке импульсатора. Этот радиус рассчитывается по формуле, м

$$r_0 = \sqrt{\frac{L_i \cdot \rho_b \cdot v}{0.5 \cdot \pi \cdot \psi_0 \cdot \mu \cdot \delta_{\max} \cdot t_i \cdot \sqrt{R \cdot T_b}}} . \quad (20)$$

Организация работ по регенерации принятых к рассмотрению фильтров может быть различной. Первый способ: запылённые фильтры демонтируются и обеспыливаются в стационарной камере, установленной в лаборатории регенеративного центра (рис. 3). Применение такого способа регенерации фильтров требует демонтажа загрязнённых ячеек или рулонов, доставки их к месту нахождения обеспыливающих камер, проведения сначала процесса сушки фильтровальных материалов с повышенной влажностью, затем очистки их от пыли с помощью импульсных струй сжатого воздуха, возврата прошедших обеспыливание ячеек или рулонов к месту эксплуатации и монтажа их в каркас фильтровальной установки. При этом необходимо иметь двойной комплект фильтров: один после запыления демонтируют для регенерации и на его место ставят чистый.

Второй способ организации регенерации плоских ячейковых и рулонных фильтров без демонтажа можно осуществлять путём продувки импульсными струями подогретого сжатого воздуха непосредственно на постоянном месте их установки. Для этого применим типовой передвижной компрессорный агрегат 10 (рис. 3).

Второй способ организации регенерации сухих незамасляющих фильтров без демонтажа можно вести по двум вариантам:

1) вручную, путём приближения форсунок на пневмотрубе к поверхности фильтра и приведения в действие импульсных струй;

2) при стационарном расположении пневмотрубок с форсунками возле фильтра в качестве постоянной его составной части (способ применим для рукавных и плоских фильтров).

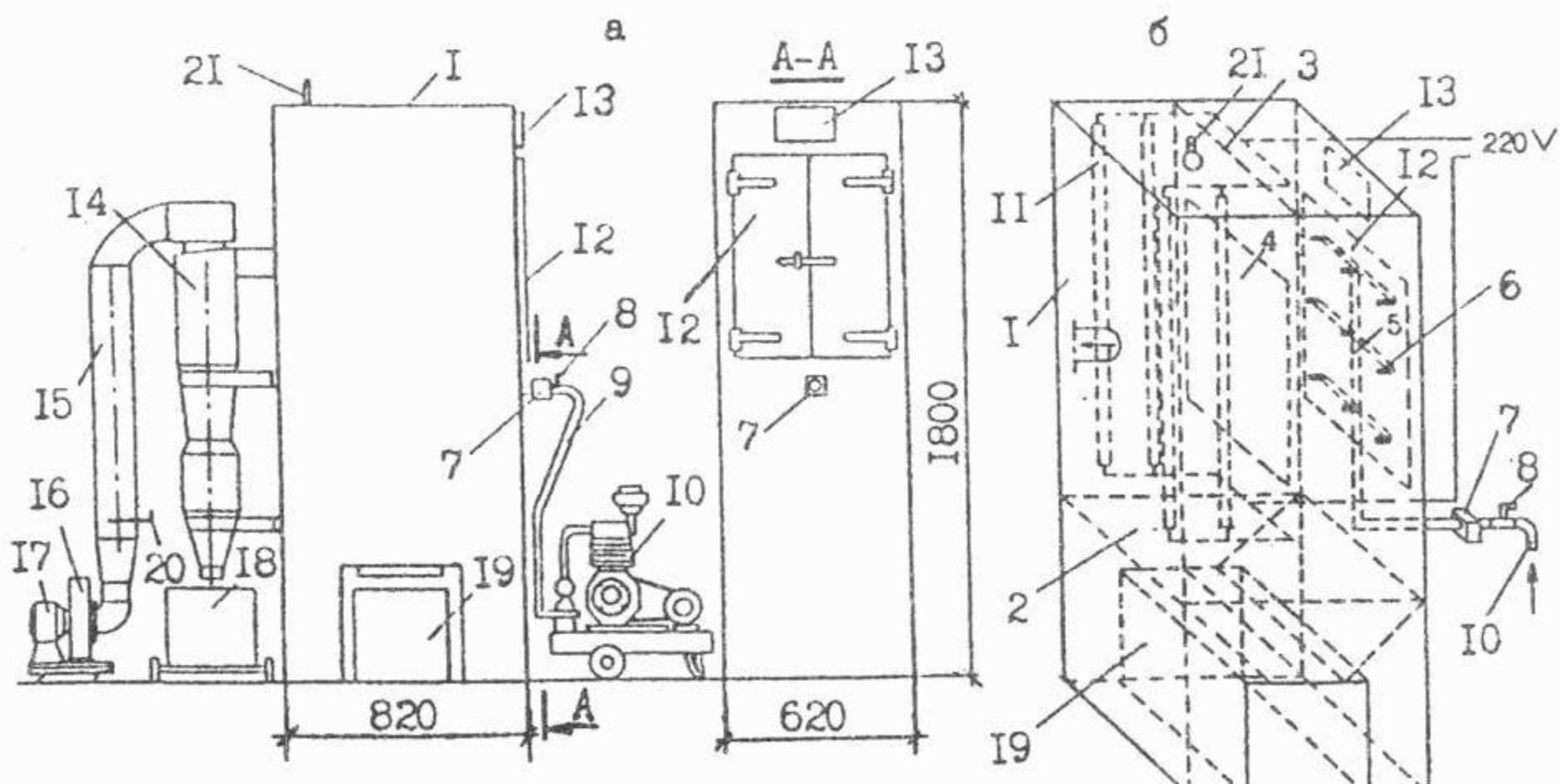


Рис. 3 . Устройство стационарной обеспыливающей камеры

Сушку фильтровальных материалов необходимо производить для материалов с повышенной влажностью, то есть с влажностью выше равновесной, но максимальную очистку фильтровальных материалов получим при условно сухом их состоянии. Однако опыты показывают, что хороших результатов можно достичь при регенерации материалов с равновесной влажностью, которая достигается, когда материал выдерживается не менее 30 часов в помещении с комфорными метеорологическими параметрами: $\varphi = 40 \div 60\%$ и $t_p = 20 \div 25^{\circ}\text{C}$.

Сушку фильтровальных материалов на месте их эксплуатации можно производить электротэнами, электрокалориферами или горелками инфракрасного излучения, разработанными на кафедре ТГСВ ПГУ.

Устройство предложенной нами стационарной обеспыливающей

камеры для ячейковых фильтров показано на рис. 3. Камера 1 имеет габаритные размеры 620×820×2100 мм, изготавливается она из листовой стали толщиной 1,5±2 мм, в нижней своей части она имеет бункер 2 для сбора выпадающей пыли и перегородку 3, разделяющую объём камеры на две части. В перегородке предусмотрено окно 4, служащее для помещения в нём рамки с закреплённой в ней загрязнённой ячейкой фильтра Фя. Размеры окна 500×700 мм.

В правую часть объёма вмонтирован трубопровод сжатого воздуха 5 с форсунками 6. Вне камеры этот трубопровод снабжён импульсатором 7 и краном 8. Кроме того с помощью шланга 9 трубопровод соединён с типовой передвижной компрессорной установкой. У внутренней поверхности противоположных стенок камеры расположены нагреватели 11, предназначенные для предварительной сушки ячеек фильтра перед регенерацией. Нагреватели имеют экраны-отражатели из полированного алюминия с целью более полного использования для сушки лучистой теплоты.

В правой части камеры предусмотрены герметичные дверцы 12, а над ними находится вентиляционное отверстие 13. К левой стенке камеры присоединён тангенциальный патрубок циклона 14. Последний подключен к отсасывающему воздуховоду 15 и вентилятору 16 с электродвигателем 17. Под циклоном находится тележка с пылесобирающей ёмкостью 18, а под бункером камеры размещён пылесобирающий поддон 19. Всасывающий воздуховод циклона имеет регулятор расхода воздуха 20. В крышу левой части камеры вмонтирован термометр 21.

Для осуществления регенерации запылённую ячейку фильтра вставляли в пазы рамки окна 4, включали нагреватели и в течение нескольких минут сушили влажный фильтрующий материал, затем запускали компрессорную установку 10 и по достижении необходимого давления сжатого воздуха включали вентилятор 16, открывали кран 8 и запускали импульсатор 7. Процесс обеспыливания происходил в течение нескольких секунд, после чего отключали от сети компрессорную установку, вентилятор и нагреватели.

Следует признать целесообразным производить очистку рулонных фильтров без демонтажа фильтровального полотнища непосредственно в местах их эксплуатации. Для этого применим тот же передвижной компрессорный агрегат с комплектом пневмотрубок с форсунками для ручной обработки запылённого рулонного материала. Последний подвергается действию импульсных струй путём медленного передвижения вручную комплекта пневмотрубок с форсунками по азимутальным горизонтальным и затем вертикальным полосам.

Для регенерации рукавных фильтров нами предложено помещать пневмотрубки с форсунками внутри рукавов или в межрукавном пространстве со стороны, обратной пылевому слою, с таким расчётом, чтобы импульсные струи были направлены перпендикулярно к очищаемой поверхности рукавов, а не параллельно ей, как это делается в практике отдельных предприятий. Наличие форсунок вдоль по всей длине рукавов обеспечивает равномерность и качественную очистку на всём их протяжении.

Для уборки пыли с пола и улавливания её из воздуха в местах после регенерации фильтров целесообразно применять малогабаритную переносную пылесосную установку, разработанную в Одесском инженерно-строительном институте и частично нами модернизированную.

Установка состоит из секции с кварцевыми лампами, вентилятора, корпуса, фильтра, местного отсоса и шланга. Секция с кварцевыми лампами служит для деаэриации пыли, воздуха и фильтров.

В четвёртой главе описаны методика и результаты экспериментальных исследований. Целью проведения экспериментальных исследований является проверка теоретических зависимостей и эффективности импульсной регенерации фильтровальных материалов, а также установление оптимальных её параметров и эмпирических зависимостей.

Эксперименты проводились в обеспылающей камере, конструкция которой была ранее описана. Методика исследований состояла в следующем. Для оценки степени очистки от пыли просушенного материала использовали наиболее простой и практически достаточно надёжный весовой способ. При этом определяли вес регенерируемого материала вместе с закрепляющей его рамкой несколько раз: в чистом виде до искусственного запыления, во время сушки и в процессе регенерации вплоть до момента установления постоянного веса после обеспыливания.

Рамку с материалом подвешивали на шнуре к электронным весам, расположенным на крыше камеры. Рамку размещали в окне во внутренней перегородке камеры. Она имела возможность совершенно свободно передвигаться по вертикали в направляющих пазах.

Первоначально определяли начальный вес материала вместе с рамкой, а затем измеряли потерю веса материалом по мере его сушки и очистки от пыли. Одновременно брали отсчёт по секундомеру через равные промежутки времени. По полученным данным строили серию графиков процессов сушки и очистки от пыли для каждого вида материала. Испытаниям подвергли фильтровальные материалы: фланель, бязь, льняную ткань, шерстяной материал в виде тонкой ткани и

сукна, смесь шерстяных волокон, бусофит, стеклоткань, пористую бумагу, капрон, лавсан, штапель, фетр и др.

Сушку материалов проводили при температуре воздуха 50, 70 и 90 °С. Большие температуры не применяли во избежание ухудшения качества материала. Расстояние от форсунок до материала изменяли через каждые 50 мм в пределах от 50 до 400 мм, частоту пульсаций сжатого воздуха применяли 120, 140 и 160 в минуту, давление его 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 МПа. Сушку и очистку от пыли производили при различной влажности материалов.

Для опытов использовали обычную полидисперсную пыль, накопленную в работающих фильтрах предприятий, в бытовых и промышленных пылесосах.

По данным проведенных экспериментальных исследований построен целый ряд графических зависимостей эффективности процессов сушки и регенерации перечисленных фильтровальных материалов от различных влияющих факторов (рис. 4). Так, сушку производили при различных температурах воздуха в камере, при разной и одинаковой влажности материалов. Одновременно фиксировали время, в течение которого достигалось условно сухое состояние материала.

Степень обеспыливания ε , %, определяли для фильтровальных материалов, имеющих условно сухое состояние, различную и равновесную влажность W_M , %, (рис. 5). Равновесная влажность приобреталась материалом путем выдержки его в течение до 30 часов при температуре и влажности воздуха в помещении, указанных выше. Опыты показали, что материалы с равновесной влажностью достаточно хорошо поддаются очистке от пыли.

Характер поведения кривых, полученных на экспериментальных графиках, свидетельствует о том, что удаление пыли из материа-

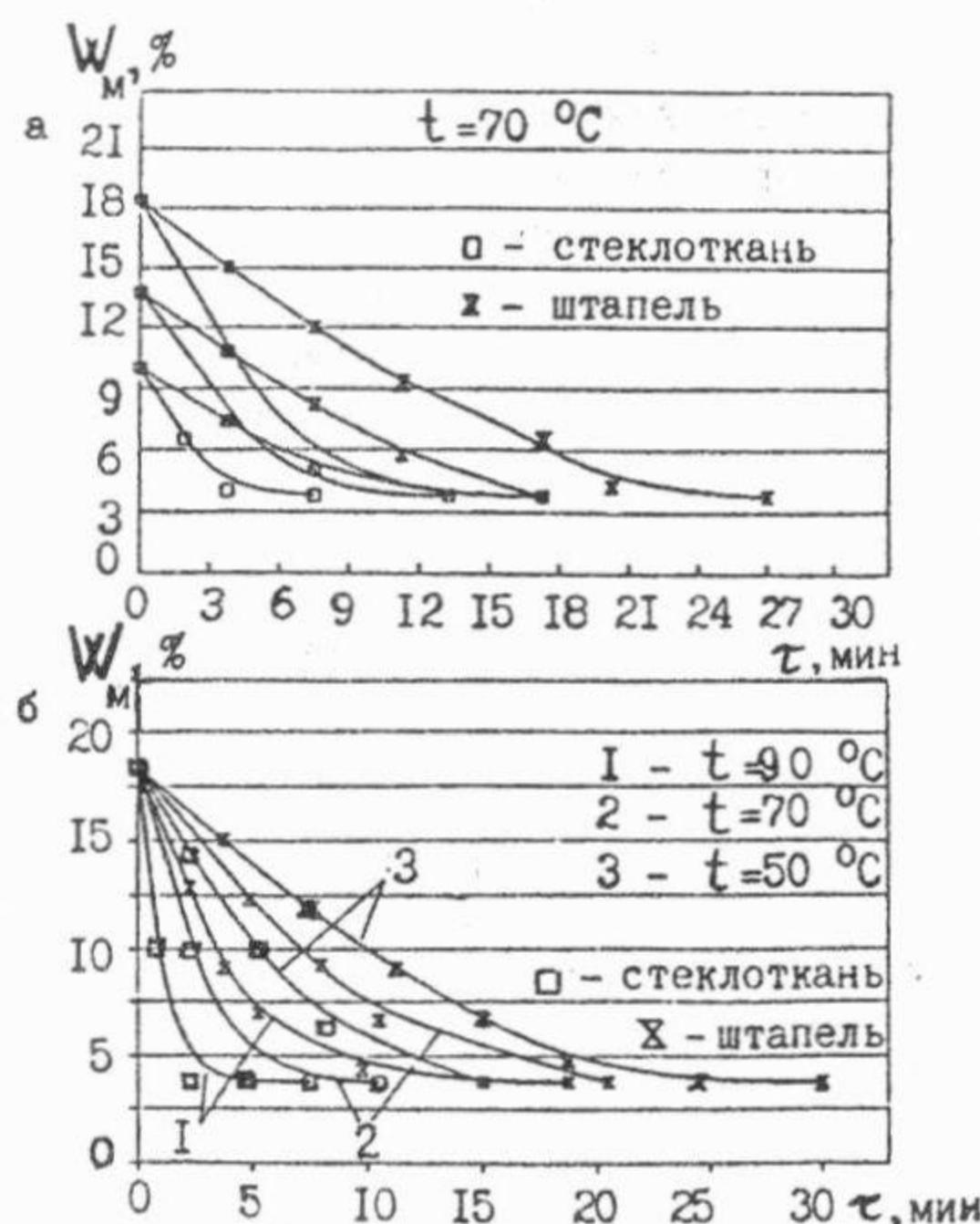


Рис. 4 . Снижение влажности при сушке

лов наиболее интенсивно протекает в начальный период воздействия импульсных струй и в несколько раз медленнее происходит при подходе к максимально достижимой степени регенерации (рис. 6).

Построение и аппроксимация экспериментальных графиков по регенерации материалов выполнены на IBM-286 в графическом редакторе "HG", при этом использовалась составленная нами "Программа для аппроксимации графической информации и математической её обработки на языке программирования "Бейсик-02". Определены погрешности каждой кривой, которые не превышали 3-4 %.

Экспериментально установлены параметры импульсных струй, дающие максимальную степень регенерации (очистки) ε_i , численные значения которых приведены в сопоставлении с теоретическими данными (смотри в диссертации Приложение 5, табл. П.5).

Результаты обработки экспериментальных данных на ЭВМ сведены в таблицы 1 и 2 и выражены в виде эмпирических формул. Также представлена зависимость степени очистки ε_i , %, фильтровальных тканей при импульсной регенерации от времени регенерации τ_i , с, и их влажности W_m , %

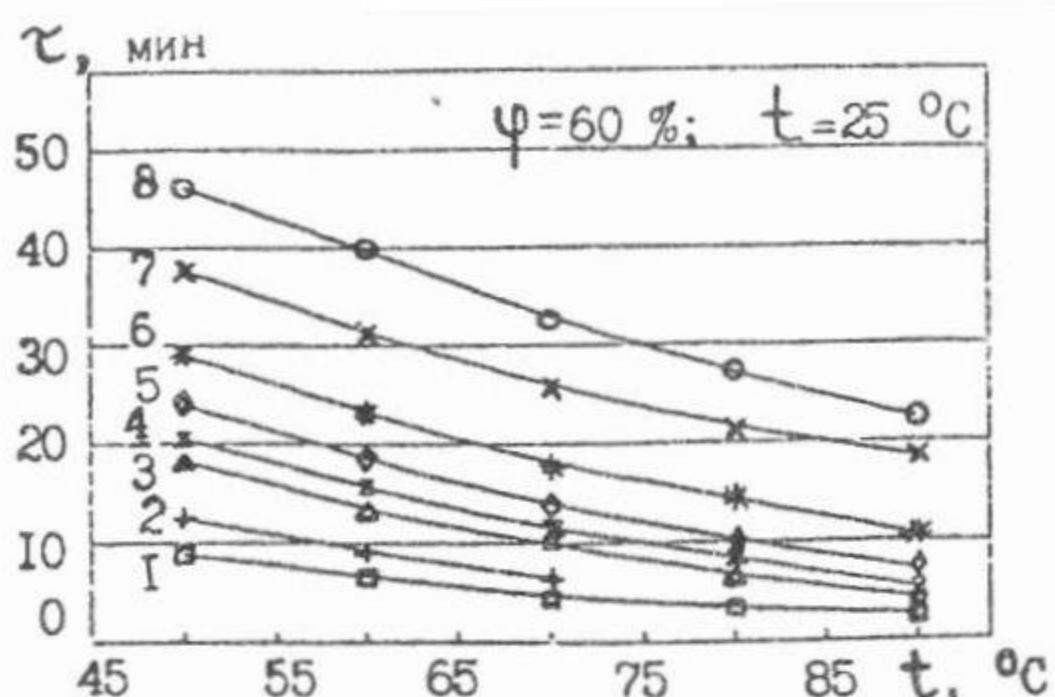


Рис. 5 . Зависимость времени сушки материалов с равновесной влажностью от температуры сушки:
1 - стеклоткань; 2 - лавсан; 3 - бусофит; 4 - штапель; 5 - фланель;
6 - шерстяняка; 7 - фетр; 8 - сукно

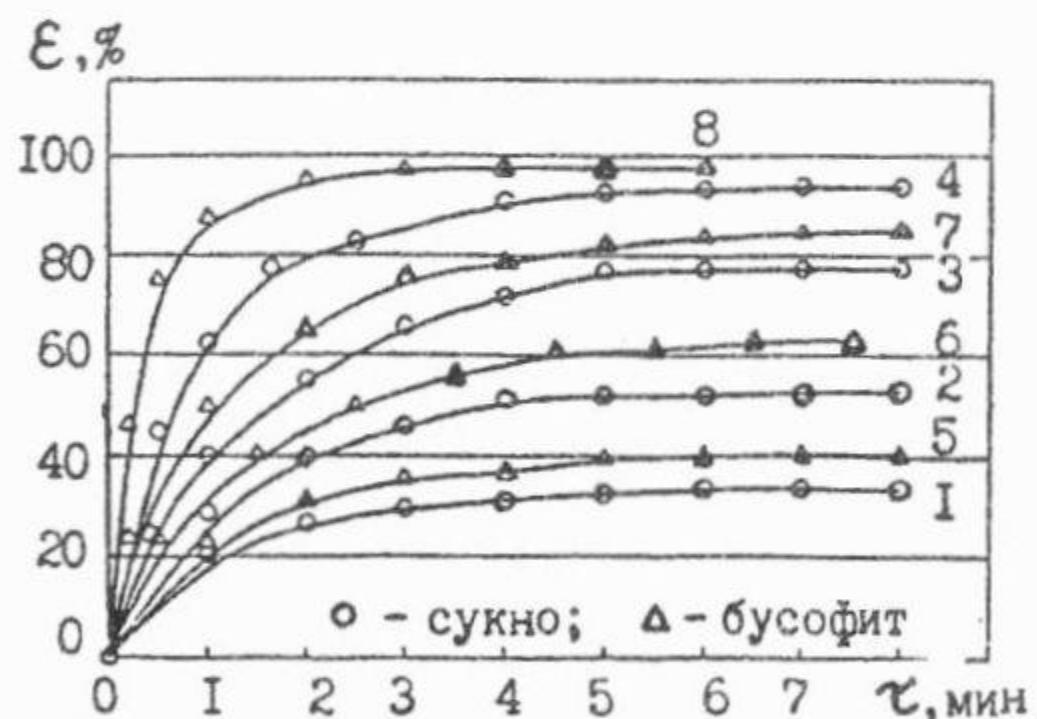


Рис. 6 . Зависимость степени обессыпливания от давления сжатого воздуха:
1 и 5 - $p=0,2$ МПа; 2 и 6 - $p=0,3$ МПа;
3 и 7 - $p=0,4$ МПа; 4 и 8 - $p=0,5$ МПа

Результаты обработки экспериментальных данных на ЭВМ сведены в таблицы 1 и 2 и выражены в виде эмпирических формул. Также представлена зависимость степени очистки ε_i , %, фильтровальных тканей при импульсной регенерации от времени регенерации τ_i , с, и их влажности W_m , %

$$\varepsilon_L = \varepsilon_{\max} \cdot \left(1 - e^{-M \cdot \tau_L^A} \right). \quad (21)$$

При температуре 70 °С продолжительность сушки определяется по формуле (погрешность ±7,2 %), мин

$$\tau = n \cdot W_M. \quad (22)$$

где W_M — начальная влажность фильтровального материала, %.

Таблица 1

Значения коэффициентов А и М для фильтровальных материалов в условно сухом состоянии и коэффициента н

Фильтровальный материал	ε_{\max}	M	A	n
Стеклоткань	97	0,1646	0,8428	0,35
Бусофит	97	0,1379	1,1367	0,72
Лавсан	94	0,1733	1,0755	1,60
Фланель	94	0,1969	1,0138	1,50
Штапель	94	0,2017	0,6261	1,20
Сукно	91	0,2544	0,6381	2,50

Максимально возможная степень регенерации ε_L , %, в зависимости от влажности фильтровального материала W_M , %, и давления сжатого воздуха p_B , Па, определяется из следующих выражений (погрешность ±8,6 %):

1) для материалов с поверхностной плотностью $\sum_{i=1}^n \rho_{Pi,i} \leq 245 \text{ г/м}^2$

$$\varepsilon_{\max} = \frac{1}{300 \cdot \frac{W_M}{(p_B + 2 \cdot 10^5)} + 0,0104} : \quad (23)$$

2) для материалов с поверхностной плотностью $\sum_{i=1}^n \rho_{Pi,i} > 245 \text{ г/м}^2$

$$\varepsilon_{\max} = \frac{1}{300 \cdot \frac{W_M}{p_B} + 0,0107} . \quad (24)$$

Следует иметь в виду, что для материалов прошедших сушку, следует принимать $W_M = 0 \%$.

Таблица 2

Значение коэффициентов А, М для сухих фильтровальных материалов в зависимости от числа импульсов сжатого воздуха i

фильтро- вальный материал	$i=120$ имп/мин			$i=140$ имп/мин			$i=160$ имп/мин		
	ε_{\max}	M	A	ε_{\max}	M	A	ε_{\max}	M	A
Стекло- ткань	87	0,075	1,247	94	0,108	1,153	97	0,261	0,975
Бусофит	89	0,405	0,833	94	0,733	0,848	98	1,073	0,730
Лавсан	84	1,653	0,645	94	1,685	0,784	97	2,567	1,241
Фланель	85	1,727	0,628	95	1,632	0,786	97	3,740	1,329
Штапель	80	0,311	0,924	91	0,401	0,856	96	0,506	0,791
Сукно	79	0,269	0,904	87	0,377	0,813	95	0,494	0,783

ВЫВОДЫ

1. Анализ и обобщение данных практики и научно-технической литературы показали, что фильтровальные материалы плоских фильтров, как правило, используются одноразово, что приводит к повышенному расходу исходного сырья и требует значительных финансовых и энергетических затрат на их уничтожение после запыления.

Наиболее перспективный способ регенерации с помощью импульсных струй сжатого воздуха не применяется для плоских фильтров, а для рукавных фильтров используется недостаточно эффективно. Для этого способа регенерации в литературных источниках отсутствуют конструктивные и теоретические разработки для инженерных расчётов.

2. В данной работе для исследования принят импульсный способ очистки тканевых фильтров сжатым воздухом и установлена реальная физическая модель деформации очищаемого фильтровального материала. На основании математического её описания разработаны теоретические основы процесса импульсной регенерации фильтров и установлены зависимости влияния на него различных факторов. Выявлены геометрические и динамические свойства импульсной струи.

3. Предложена простая конструкция кранового импульсатора и выведены формулы для расчёта параметров его работы. Разработаны конструкции установок для регенерации плоских фильтров: стацио-

нарной обессылающей камеры и передвижного агрегата, и рекомендованы различные целесообразные формы организации работ по регенерации фильтров.

4. Усовершенствована регенерация рукавных фильтров путём размещения воздухоподающих труб с форсунками внутри рукавов или в межрукавном пространстве с перпендикулярной подачей импульсных струй на фильтровальный материал, что обеспечивает качественную очистку равномерно по всей длине рукавов. Применительно к особенностям конструкции рукавных фильтров выведены расчётные формулы для определения параметров их импульсной регенерации.

5. Результаты экспериментальных исследований позволили убедиться в правильности разработанных теоретических положений и установить оптимальные параметры регенерации воздушных фильтров.

6. Применение импульсного способа регенерации фильтров от пыли позволяет многократно увеличить срок их службы, что даёт большую экономию сырья для изготовления фильтров, существенно сокращает объём их производства, значительно уменьшает трудовые и энергетические затраты по их уничтожению.

7. В диссертационной работе приведены расчёты экономического эффекта от внедрения импульсного способа регенерации плоских и рукавных фильтров в ценах 1991 и 1996 годов.

Результаты выполненных исследований внедрены Новополоцким управлением водозаборных и водоочистных сооружений для регенерации плоских ячейковых фильтров приточных камер (смотри в диссертации Приложение 10).

8. Полученные в настоящей работе теоретические положения и конструктивные разработки позволяют научно обоснованно вести проектирование установок и организацию работ по импульсной регенерации перечисленных воздушных фильтров, а также делают возможным создание регенеративных центров во всех промышленных регионах Республики Беларусь по выполнению регулярной регенерации фильтров для различных предприятий и общественных организаций.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

R_0 - радиус пневмопорсунки, м; R - газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К); x - расстояние от выходного сечения форсунки до материала, м; α - угол расширения воздушной струи, градус; β - угол между границей струи и линией, соединяющей её полюс с окружностью

начального сечения выпуклости, градус; f_d - площадь деформированного материала, м²; r - радиус тканевого рукава, м; h - высота рукава, м; $\alpha = 1 + \operatorname{tg}^2(\alpha + \beta)$; $n_{\text{яр}}$ - количество ярусов с форсунками в рукаве; $\tau_{\text{дв}}$ - время движения порции воздуха импульсной струи от форсунки до материала, с; $\tau_{\text{вм}}$ - время на создание выпуклости в материале, с; $\tau_{\text{пв}}$ - время возврата выпуклости в первоначальное состояние материала, с; τ_b - время единичного выпуска сжатого воздуха, с; ψ_0 и ψ - опытные поправочные коэффициенты; f_o - площадь выходного сечения форсунки, м²; μ - коэффициент расхода воздуха; δ_{\max} - максимальное значение функции, зависящей от соотношения внешнего и внутреннего давлений; T_b - абсолютная температура сжатого воздуха, К; ρ_a - плотность воздуха, кг/м³; v - удельный объём сжатого воздуха, м³/кг; n_f - число форсунок в регенерирующей установке; v_o - скорость выхода воздуха из форсунки, м/с; $f_y = \Sigma \rho \cdot x^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha$ - площадь материала, на которую производится удар воздушной струёй, м²; p_b - давление сжатого воздуха, Па; m_b - масса воздуха одного импульса, кг; L_i - расход сжатого воздуха за время одного импульса всеми форсунками установки, м³; ε_i - степень очистки фильтра, %; ε_{\max} - максимально возможная степень очистки фильтра в условно сухом состоянии, %; τ_i - время регенерации, мин; W_m - начальная влажность фильтровального материала, %; $\rho_{p,i}$ - плотность i -го слоя фильтровального материала, г/м².

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Пивоварова С.И. Способы регенерации волокнистых и пористых фильтров// Глава 3. 8 в монографии "Повышение санитарно-гигиенической, экологической и энергетической эффективности систем вентиляции". - Новополоцк: изд-е ПГУ, 1994, с.79-85.
2. Пивоварова С.И. Сущность и параметры импульсной регенерации фильтров сжатым воздухом// Глава 3. 9 там же, с.86-95.
3. Пивоварова С.И. Динамические свойства импульсных струй и оптимальная частота их подачи// Глава 3. 10 там же, с.96-99.
4. Пивоварова С.И. Совершенствование регенерации рукавных фильтров// Глава 3. 11 там же, с.100-105.
5. Пивоварова С.И. Способы и конструкции средств регенерации волокнистых фильтров// Глава 3. 12 там же, с.106-113.
6. Луговский С.И., Пивоварова С.И. Совершенствование импульсной регенерации волокнистых фильтров// Вестн Полоцкого государственного университета. Сер.В, том 1, № 1. Прикладные науки. - Новополоцк: изд-е ПГУ, 1995. - с.100-103.

7. Пивоварова С.И. Совершенствование очистки рукавных фильтров// Тез.докл.международной научной конференции "Проблемы промышленной экологии и комплексная утилизация отходов производства". - Витебск: изд-е БГТУ, 1995, с.49-50.

8. Луговский С.И., Пивоварова С.И. Проблемы регенерации волокнистых и пористых плоских фильтров// Тез.докл.международной научной конференции "Проблемы промышленной экологии и комплексная утилизация отходов производства". - Витебск: изд-е БГТУ, 1995, с.50-51.

9. Пивоварова С.И. Совершенствование импульсной очистки рукавных фильтров// Тез.докл. III межреспубликанской научно-технической конференции "Процессы и оборудование экологических производств". - Волгоград: изд-е "Перемена", 1995, с.105-106.

10. Пивоварова С.И., Луговский С.И. Определение параметров импульсной регенерации волокнистых и пористых фильтров// Тез.докл. III межреспубликанской научно-технической конференции "Процессы и оборудование экологических производств". - Волгоград: изд-е "Перемена", 1995, с.103-104.

11. Пивоварова С.И., Луговская Е.С. Организация регенерации волокнистых и пористых фильтров// Тез.докл. III межреспубликанской научно-технической конференции "Процессы и оборудование экологических производств". - Волгоград: изд-е "Перемена", 1995, с.106-107.

РЭЗЮМЭ

Півавара Святлана Іванаўна

Рэгенерацыя фільтраў імпульснымі струменямі
у вентыляцыйных сістэмах ачысткі паветра ад пылу

Порыстыя паветраныя фільтры, плоскія і рукаўныя, рэгенерацыя, фізічная мадэль, імпульсныя струмені, сціснутае паветра, камера абяспыльвання, імпульсатар, пнейматафарсункі.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца паветраныя тканевыя фільтры. Мэта работы - распрацоўка эфектыўнага спосабу рэгенерацыі. У якасці такога спосабу прынята і даследавана рэгенерацыя імпульснымі струменямі сціснутага паветра.

Упершыню створана тэарэтычная аснова і вызначаны аптымальныя параметры гэтага працэсу, а таксама распрацаваны тэхнічныя сродкі для яго ажыццяўлення. Вобласць прыменення - сістэмы вентыляцыі грамадскіх і прамысловых збудаванняў.

РЕЗЮМЕ

Пивоварова Светлана Ивановна

Регенерация фильтров импульсными струями
в вентиляционных системах очистки воздуха от пыли

Пористые воздушные фильтры, плоские и рукавные, регенерация, физическая модель, импульсные струи, сжатый воздух, камера обеспыливания, импульсатор, пневмофорсунки.

Объектом исследования являются воздушные тканевые фильтры. Цель работы - разработка эффективного способа регенерации. В качестве такого способа принята и исследована регенерация с помощью импульсных струй сжатого воздуха.

Впервые созданы теоретические основы и установлены оптимальные параметры этого процесса, а также разработаны технические средства для его осуществления. Область применения - системы вентиляции общественных и промышленных зданий.

Summary

Pivovarova Svetlana Ivanovna

Regeneration of filters with jet pulse
In ventilation system of air purification from dust

Fabric (cloth) air filters, flat and bag filters, regeneration, physical model, pulse jets, compressed air, dust removal chamber, pneumatic infectors.

The subject of research is air depth filter. Aim of the work is the development of effective method of regeneration process. In the capacity of such method of regeneration with the aid of compressed air pulse jets is accepted and investigated.

For the first time theoretical principles are created and optimal parameters are adjusted and technical means for its realization are developed as well. Field of application is ventilation system of public and industrial buildings.



Пивоварова Светлана Ивановна

РЕГЕНЕРАЦИЯ ФИЛЬТРОВ ИМПУЛЬСНЫМИ СТРУЯМИ
В ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 12.05.97 формат 60×84 1/16
Печать офсетная Усл.печ.л. 1,16 Уч.-изд.л. 1,00—
Тираж 110 экз. Заказ 229 Бесплатно.

Отпечатано на ротапринте ПГУ
211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29