

На правах рукописи



Максимова Марина Владимировна

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАПЫЛЕНИЯ
ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
ЗДАНИЙ

05 23 01 Строительные конструкции,
здания и сооружения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2000

Работа выполнена в Сибирской государственной автомобильно-
дорожной академии

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - доктор технических наук,
профессор Валов В.М.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ - доктор технических наук,
профессор Хлевчук В.Р.

- кандидат технических наук,
доцент Беляев В.С.

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ - ГУП «НИИМОССТРОЙ»

Защита состоится "16" мая 2000 г в 15 часов на за-
седании диссертационного Совета К 053.11.01 в Московском государст-
венном строительном университете по адресу 113114, Москва, Пшю-
зовая наб 8, ауд 416

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан "14" апреля 2000 г

Ученый секретарь
диссертационного Совета

Филимонов Э.В.

A2000
72302

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований Необходимость обеспечения естественного регулируемого воздухообмена в современных зданиях, характеризующихся высокой герметичностью ограждающих конструкций, обуславливает поиск и разработку различных технических решений, обеспечивающих проветривание помещений при сохранении возможности управления процессами воздухораспределения

Одним из таких технических решений, обеспечивающих регулируемый рассредоточенный приток свежего воздуха в помещения без образования дискомфортных зон и сквозняков, являются воздухопроницаемые ограждающие конструкции, работающие в режиме поровой инфильтрации пористые вставки, встраиваемые в наружные стены или заполнение оконных проемов, подвесные потолки, стеновые панели и т.п

Эффективность применения воздухопроницаемых конструкций для улучшения теплового, влажностного режимов зданий, обеспечения требуемого воздухообмена помещений обусловлена возможностью реализации известных физических эффектов поровой инфильтрации: теплого, осушающего, вентиляционного и подтверждается многолетней практикой эксплуатации в зданиях различного назначения как в нашей стране, так и за рубежом.

Однако фильтрация воздуха через пористые материалы неизбежно сопровождается их запылением и постепенным изменением фильтрационных свойств. Этот процесс, с одной стороны, является положительным фактором, поскольку способствует очистке приточного воздуха от загрязнений, однако с другой стороны обуславливает постепенное изменение эксплуатационных свойств конструкций и необходимость их периодической очистки или замены

Известен достаточно широкий круг работ отечественных и зарубежных ученых, посвященных исследованиям теплового, влажностного, воздушного режимов ограждающих конструкций зданий при фильтрации через них воздуха (Ф В Ушков, В Н. Богословский, В. П. Титов, В. С. Беляев, Е В. Медведева, В М Валов, Г А Пахотин, А Д Кривошеин, Т Tohren, Н Bartussek, Н. Bahr, К Heerdegen, G Anderlind, В Johansson и др) Однако вопросы, связанные с прогнозированием изменения фильтрационных свойств воздухопроницаемых ограждающих конструкций вследствие их запыления, несмотря на очевидную актуальность и многочисленные ссылки о необходимости решения, до последнего времени детально не прорабатывались.

Решение проблемы накопления пылевых отложений в воздухопроницаемых ограждающих конструкциях в результате фильтрации сквозь них запыленного воздуха представляет значительный практический интерес не только для прогнозирования эксплуатационного состояния ограждающих конструкций, работающих в условиях поровой фильтрации воздуха, но и

их конструирования, определения режима эксплуатации и проведения профилактических мероприятий по их очистке от осевших частиц пыли

Цель диссертационной работы - разработка методов расчета и прогнозирования изменения фильтрационных свойств воздухопроницаемых ограждающих конструкций зданий вследствие их запыления

Для достижения намеченной цели были поставлены и решены следующие задачи

- выявить особенности проектирования, строительства и эксплуатации ограждающих конструкций зданий, работающих в условиях поровой фильтрации воздуха,

- провести анализ результатов исследований по изменению фильтрационных свойств воздухопроницаемых ограждающих конструкций вследствие их запыления,

- установить основные факторы, влияющие на запыление воздухопроницаемых конструкций,

- разработать инженерную методику расчета изменения фильтрационных свойств ограждающих конструкций зданий вследствие их запыления,

- экспериментально проверить полученные теоретические закономерности;

- разработать основные принципы конструирования и эксплуатации воздухопроницаемых конструкций с учетом их запыления

Научная новизна работы заключается в следующем

- определена физическая сущность процесса запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций,

- выявлены особенности запыления ограждающих конструкций, работающих в условиях поровой фильтрации воздуха,

- разработана методика расчета изменения фильтрационных свойств воздухопроницаемых ограждающих конструкций вследствие их запыления,

- разработаны принципы конструирования воздухопроницаемых ограждений с учетом их запыления

Практическая ценность работы состоит в том, что разработанный метод расчета позволяет прогнозировать изменение фильтрационных свойств воздухопроницаемых ограждающих конструкций в результате их запыления. Предлагаемый способ уменьшения запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций позволяет сохранить заданные эксплуатационные свойства воздухопроницаемых ограждающих конструкций и повысить их долговечность

Внедрение Предложенная методика расчета и прогнозирования фильтрационных свойств воздухопроницаемых ограждающих конструкций с учетом их запыления была использована при разработке конструктивных решений пористых воздухопроницаемых вставок, встроенных в наружные стены ряда жилых и общественных зданий г. Омска

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях СибАДИ (г.Омск) 1997-1999 гг, II Международной научно-технической конференции "Автомобильные дороги Сибири" (г Омск) 1998 г.

Диссертация обсуждена на заседании научно-технического совета факультета «Промышленное и гражданское строительство» Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии, где была одобрена и рекомендована к защите на специализированном совете

На защиту выносятся:

- результаты исследований особенностей запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций;
- методика расчета изменения фильтрационных свойств воздухопроницаемых ограждающих конструкций вследствие их запыления;
- результаты экспериментальных исследований по запылению материалов воздухопроницаемых ограждающих конструкций;
- конструктивные решения и мероприятия по снижению запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и библиографии. Содержит 160 страниц основного текста, 19 таблиц, 37 рисунков, 4 страниц библиографии

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ особенностей проектирования, строительства и эксплуатации зданий с ограждающими конструкциями, работающими в условиях поровой фильтрации воздуха, рассмотренный в первой главе диссертационной работы, позволил установить, что ограждающие конструкции могут выполняться воздухопроницаемыми по всей площади оболочки здания или в виде пористых вставок, занимать горизонтальное, вертикальное или промежуточное положение. Кроме того эти конструкции могут выполняться как однослойными, так двухслойными и многослойными. Фильтрация воздуха через воздухопроницаемые ограждающие конструкции может быть сквозная (поперечная), продольная с поровым проветриванием утепляющего слоя наружным воздухом, поперечно-продольная и внутренняя.

Применение таких конструкций обусловлено возможностью реализации известных эффектов поровой инфильтрации: теплового, осушающего, вентиляционного. Суть этих эффектов заключается в том, что при фильтрации наружного холодного, но сухого воздуха через ограждающую конструкцию происходит подогрев фильтрующегося воздуха за счет встречных трансмиссионных теплопотерь, осушение материала конструкции за счет испарения влаги из ее пор и капилляров, рассредоточенный приток свежего воздуха по всей площади воздухопроницаемых ограждений

Проведен обзор работ по запылению воздухопроницаемых ограждений. Анализ известных исследований в этой области (В С.Беляева,

П.С.Громыхина, Н.Вартуссека) свидетельствует о том, что отложение частиц пыли в пористых воздухопроницаемых слоях при фильтрации через них запыленного воздуха происходит, хотя результаты исследований носят весьма противоречивый характер.

Обзор работ в области пылеулавливания и очистки запыленных газов пористыми фильтрами (Г.М.Гордона, Н.Н.Елисеева, И.Л.Пейсахова, А.И.Пирумова, В.Н.Ужова, Н.А.Фукса, И.А.Шепелева) показал, что известные зависимости, полученные для промышленных фильтров, вследствие существенных отличий в условиях эксплуатации, требуют доработки и уточнения.

В результате анализа факторов, влияющих на запыление воздухопроницаемых ограждающих конструкций, установлено, что сложность прогнозирования их фильтрационных свойств заключается в многофакторности процесса запыления и отсутствии однозначных и постоянных параметров некоторых факторов (рис.1), поскольку атмосферная пыль, как и пыль помещений промышленных и гражданских зданий, является смесью частиц весьма разнообразных по размерам и форме, а также химическому составу. Концентрация частиц пыли в воздухе изменчива и не является величиной постоянной. В большинстве случаев и в фильтрующем материале воздухопроницаемых ограждающих конструкций нельзя найти каких-либо устойчивых и определенных форм. Расход воздуха сквозь воздухопроницаемые ограждающие конструкции также может изменяться в достаточно широких пределах. Проведен анализ значимости отдельных факторов и их влияние на интенсивность запыления пористых материалов.

Физико-технические особенности запыления воздухопроницаемых ограждений рассмотрены во второй главе диссертации. В общем виде процесс запыления воздухопроницаемых конструкций представлен следующим образом. Поток запыленного воздуха, достигнув поверхности ограждающей конструкции, проникает в поры ограждения и дробится на мелкие струйки, обтекая структурные элементы пористого материала. Частицы пыли, содержащиеся в воздухе, проходя по извилистым каналам фильтрующей среды, смещаются с линий тока и осаждаются на непроницаемых препятствиях. В результате структурные элементы материала как бы обрастают пылью, образующей пылевые наросты. Поровые каналы для прохода воздуха сужаются, и воздух, помимо открытых пор материала, начинает двигаться через поры пылевого слоя, представляющие собой мельчайшие каналы, образовавшиеся между частицами пыли вследствие их неплотного прилегания друг к другу. При этом воздухопроницаемость (или фильтрационная способность) материала конструкции со временем уменьшается, а сопротивление воздухопроницанию возрастает.

Поскольку в воздухопроницаемых ограждающих конструкциях фильтрация воздуха обычно происходит в ламинарном режиме, рассмотрены условия осаждения частиц пыли под влиянием следующих механизмов: эффекта касания ("зацепления"), броуновской диффузии, инерционного,



Рис.1. Факторы, влияющие на запыление воздухопроницаемых ограждающих конструкций

гравитационного и электростатического осаждения на поверхности тел простой геометрической формы: шарах, цилиндрах - при ламинарном (вязком) течении воздуха.

Изучение возможных механизмов осаждения частиц пыли в пористых средах в результате фильтрации запыленного воздуха показало, что преобладающими механизмами осаждения частиц пыли на поверхности структурных элементов материала воздухопроницаемых ограждающих конструкций является гравитационное осаждение или броуновская диффузия, в зависимости от фракционного состава пыли фильтрующегося воздуха.

Рассмотрены особенности осаждения частиц пыли в элементарном слое материала ограждения, закономерности распределения осаждающейся пыли по толщине ограждения, особенности запыления двухслойных и многослойных воздухопроницаемых конструкций.

Воздухопроницаемые ограждающие конструкции в пространстве могут занимать горизонтальное, вертикальное и наклонное положение, что влияет на их запыление вследствие сепарации частиц пыли, протекающей на стадии седиментационного отделения наиболее крупных и тяжелых частиц из пылевоздушного потока, движущегося по направлению к поверхности ограждения. Для оценки интенсивности этого процесса предложено введение коэффициента сепарации k , представляющего собой отношение массы частиц пыли, поступивших на единичную поверхность рассматриваемого ограждения, к массе частиц пыли, поступивших на единичную поверхность горизонтально расположенного ограждения при движении воздуха сверху вниз

$$k = M_1 / M_2 , \quad (1)$$

где M_1 - масса частиц пыли, поступивших на единичную поверхность рассматриваемого ограждения; M_2 - масса частиц пыли, поступивших на единичную поверхность горизонтально расположенного в пространстве ограждения при движении воздуха сверху вниз.

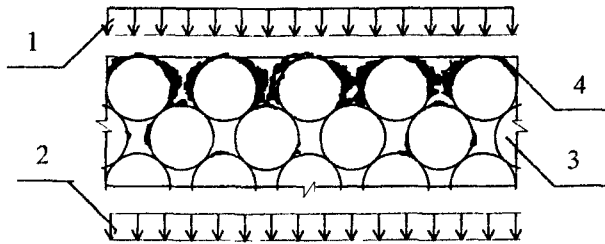
Установлена зависимость величины коэффициента сепарации от положения воздухопроницаемой конструкции в пространстве, скорости и направления движения воздуха, влажности воздуха, характеристик пылевого состава воздуха, первоначального положения в пространстве частиц пыли относительно поверхности воздухопроницаемого ограждения.

Основные положения методики прогнозирования запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций изложены в третьей главе диссертационной работы.

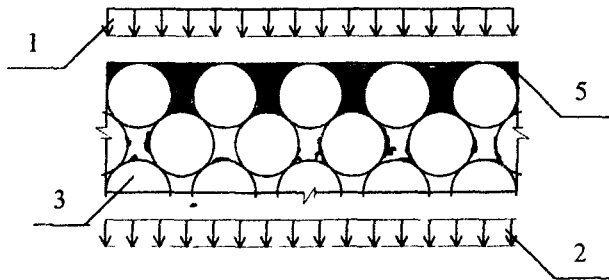
Предложено процесс запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций рассматривать на трех основных стадиях: стадии формирования первичного сплошного слоя пыли, стадии, связанной с завершением образования внутреннего пылевого слоя, и на стадии формирования поверхностного пылевого слоя (рис.2).

Сопrotивление воздухопроницанию запыленной конструкции в момент образования первичного сплошного слоя пыли предложено опреде-

I стадия - формирование первичного сплошного слоя пыли



II стадия - образование внутреннего пылевого слоя



III стадия - формирование поверхностного пылевого слоя

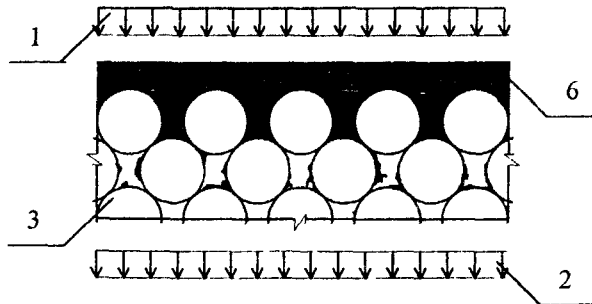


Рис 2. Процесс запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций: 1 - входящий поток запыленного воздуха, 2 - выходящий поток отфильтрованного воздуха; 3 - структурные элементы; 4 - пылевые наросты; 5 - внутренний пылевой слой; 6 - поверхностный пылевой слой

лять по формуле

$$R_{и,з}^I = R_{и} + R_{и,пссп} , \quad (2)$$

где $R_{и}$ - сопротивление воздухопроницанию незапыленных слоев материала, $R_{и,пссп}$ - сопротивление воздухопроницанию первичного сплошного слоя пыли.

На стадии, связанной с завершением формирования внутреннего пылевого слоя, сопротивление воздухопроницанию запыленного ограждения предложено определять по формуле вида

$$R_{и,з}^{II} = R_{и} + R_{и,пссп} + R_{и,пс} = R_{и} + R_{и,впс} , \quad (3)$$

где $R_{и,пс}$ - сопротивление, создаваемое частицами пыли, дозаполняющими внутренний объем пор материала; $R_{и,впс}$ - сопротивление воздухопроницанию внутреннего пылевого слоя.

На стадии формирования поверхностного пылевого слоя сопротивление воздухопроницанию запыленной ограждающей конструкции может определяться как

$$R_{и,з}^{III} = R_{и} + R_{и,впс} + R_{и,ппс} , \quad (4)$$

где $R_{и,ппс}$ - сопротивление воздухопроницанию поверхностного пылевого слоя.

Для определения сопротивления воздухопроницанию первичного сплошного слоя пыли, на основе известных зависимостей для расчета гидравлического сопротивления тканевых рукавных фильтров, предложена формула

$$R_{и,пссп} = \frac{K \cdot \mu \cdot v_{ср(t)} \cdot (1 - m_{пс}) \cdot z_1 \cdot P_k \cdot k \cdot k_1^2 \cdot \eta_{ср} \cdot g}{d_ч^2 \cdot m_{пс}^3 \cdot \rho_в \cdot \rho_ч \cdot 3600} , \quad (5)$$

где K - коэффициент, учитывающий структурные особенности пылевой пористой среды; μ - динамическая вязкость воздуха, $кг \cdot с / м^2$; $v_{ср(t)}$ - средняя (между начальной и в момент смыкания пылевых наростов) скорость фильтрации воздуха через ограждение, $м / с$; $m_{пс}$ - пористость пылевого слоя, доли единицы; z_1 - время формирования первичного сплошного слоя пыли, $с$; P_k - концентрация пыли в воздухе, $мг / м^3$; k - коэффициент сепарации, доли единицы; $\eta_{ср}$ - средний коэффициент осаждения (между величиной η , определенной на стадии стационарной фильтрации, и $\eta_{max} = 1$, наступающей в момент смыкания пылевых наростов), доли единицы; $d_ч$ - средний условный диаметр частиц пыли, $м$; $\rho_ч$ - плотность частиц пыли воздуха, $кг / м^3$, $\rho_в$ - плотность воздуха, $кг / м^3$; k_1 - коэффициент, учитывающий изменение (увеличение или уменьшение) скорости движения воздуха в порах пылевого слоя, находящегося внутри материала ограждения, по сравнению со скоростью движения воздуха в порах поверхностного пылевого слоя; g - ускорение свободного падения, $м / с^2$.

Формула для определения сопротивления воздухопроницанию пылевых наростов предложена в виде

$$R_{и, п.н} = \frac{K \cdot \mu \cdot v_{ср(I)} \cdot (1 - m_{п.с}) \cdot z_1 \cdot P_k \cdot k \cdot k_1^2 \cdot \eta_{ср} \cdot g}{d_ч^2 \cdot m_{п.с}^3 \cdot \rho_в \cdot \rho_ч \cdot 3600}, \quad (6)$$

где z_1 - время образования пылевых наростов, определяющее сопротивление $R_{и, п.н}$, с.

Для расчета сопротивления воздухопроницанию внутреннего пылевого слоя предложена формула

$$R_{и, в.п.с} = R_{и, п.с.п} + \frac{K \cdot \mu \cdot v_{ср'} \cdot (1 - m_{п.с}) \cdot (z_2 - z_1) \cdot P_k \cdot k \cdot k_1^2 \cdot g}{d_ч^2 \cdot m_{п.с}^3 \cdot \rho_в \cdot \rho_ч \cdot 3600}, \quad (7)$$

где z_2 - время образования внутреннего пылевого слоя, определяющее сопротивление $R_{и, в.п.с}$, с; $v_{ср'}$ - средняя скорость движения воздуха за время $(z_2 - z_1)$, м/с.

Для расчета сопротивления воздухопроницанию поверхностного пылевого предложена формула

$$R_{и, п.п.с} = \frac{K \cdot \mu \cdot v_{ср(III)} \cdot (1 - m_{п.с}) \cdot (z_3 - z_2) \cdot P_k \cdot k \cdot g}{d_ч^2 \cdot m_{п.с}^3 \cdot \rho_в \cdot \rho_ч \cdot 3600}, \quad (8)$$

где $(z_3 - z_2)$ - время формирования поверхностного пылевого слоя, с; $v_{ср(III)}$ - средняя скорость движения воздуха за время $(z_3 - z_2)$, м/с.

При назначении материалов для устройства воздухопроницаемых ограждающих конструкций необходимо стремиться к тому, чтобы свойства последних не оказывали влияния на рост сопротивления воздухопроницанию запыленного ограждения ($k_1^2 \leq 1$). Представляется целесообразным рассчитывать сопротивление воздухопроницанию внутреннего пылевого слоя по формуле, которая была бы применима к материалам различной структуры, то есть чтобы при переходе от одного материала к другому менялось бы только значение коэффициента k_1 .

Рассматривать процесс запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций на трех стадиях целесообразно лишь для ограждений, материал которых характеризуется $k_1^2 \neq 1$ и $\eta < 1$, если же структура материала не оказывает влияние на рост сопротивления воздухопроницанию запыленного ограждения ($k_1^2 = 1$) и материал ограждения обладает максимальной пылезадерживающей способностью ($\eta = 1$), оценивать сопротивление воздухопроницанию запыленного ограждения следует по формуле

$$R_{и, з} = R_{и} + \frac{K \cdot \mu \cdot v_{ср} \cdot (1 - m_{п.с}) \cdot z \cdot P_k \cdot k \cdot g}{d_ч^2 \cdot m_{п.с}^3 \cdot \rho_в \cdot \rho_ч \cdot 3600}. \quad (9)$$

На основании анализа характера и интенсивности изменения сопротивления воздухопроницанию различных пористых материалов установлено, что для воздухопроницаемых ограждений, в отличие от промышленных пористых фильтров, эксплуатирующихся при больших концентрациях и скоростях, особое значение из-за значительной продолжительности име-

ет прогнозирование процесса запыления на стадии формирования первичного пылевого слоя.

В этой же главе диссертационной работы рассмотрено аналитическое решение задачи изменения фильтрационных свойств ограждения на стадии образования первичного пылевого слоя (для материалов волокнистой структуры - ткани, сетки) Материал ограждения представлен в виде системы одинаковых цилиндров диаметром D_0 , расположенных поперек фильтрационного потока воздуха на расстоянии l_0 друг от друга (рис 3)

Составлено уравнение, описывающее запыление рассмотренной модели в виде двух процессов: уменьшения площади для прохода воздуха через свободное (незапыленное) сечение поры размером x и одновременное увеличение площади фильтрации воздуха через пылевые наросты ΔD

$$\frac{0,5 \cdot h_0 \cdot \rho_{пс}}{[v_x - (v_{пн} \cdot D_0 / l_0) - ((v_x - v_{пн}) \cdot D / l_0)] \cdot P_k \cdot k \cdot \eta_{ср} \cdot D \cdot l_0} dD = dz, \quad (10)$$

где h_0 - высота пылевых наростов; $v_{0,z}$ - скорость воздушного потока на подходе к конструкции; v_x - скорость движения воздуха в открытых порах, $v_{пн}$ - скорость фильтрации воздуха через пылевые наросты.

В основу уравнения (10) положена предпосылка, что количество пыли ΔG , поступившее на поверхность воздухопроницаемого материала размерами $(l_0 \times b)$ и осевшее на его волокнах за время Δz , обуславливает увеличение пылевых наростов на величину ΔD .

Решение уравнения (10) получено в виде

$$D = \frac{a}{f} + \frac{D_0 - a/f}{\exp(z \cdot f/c)}, \quad (11)$$

где $a = v_x - (v_{пн} \cdot D_0 / l_0)$; $f = (v_x - v_{пн}) / l_0$; $c = 0,5 \cdot h_0 \cdot \rho_{пс} / (P_k \cdot k \cdot \eta_{ср} \cdot l_0)$.

Уравнение (11) позволяет определить в любой момент времени величину пылевых наростов и соответственно рассчитать изменение расхода воздуха через конструкцию $L_{0,z}$ и ее сопротивление воздухопроницанию $R_{и,з}$ по уравнению вида

$$R_{и,з} = \Delta p / (L_{0,z} \cdot \rho_n). \quad (12)$$

Решение уравнения (10) относительно z при условии $D = l_0$ позволяет определить время смыкания пылевых наростов, характеризующее окончание периода формирования первичного пылевого слоя

$$z^{пссп} = \frac{c}{f} \ln \frac{f \cdot D_0 - a}{f \cdot l_0 - a}. \quad (13)$$

В качестве примера реализации полученных зависимостей на рис 4 в графическом виде представлены результаты расчета изменения сопротивления воздухопроницанию ткани (четырёхремизный сатин) во времени вследствие запыления. Сопоставление величин $R_{и,з}$, рассчитанных по эмпирической (6) и аналитической (12) формулам, свидетельствует о достаточ-

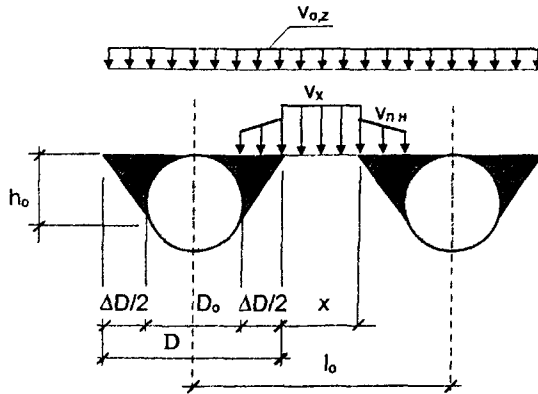


Рис.3 Расчетная модель запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций на стадии формирования первичного пылевого слоя

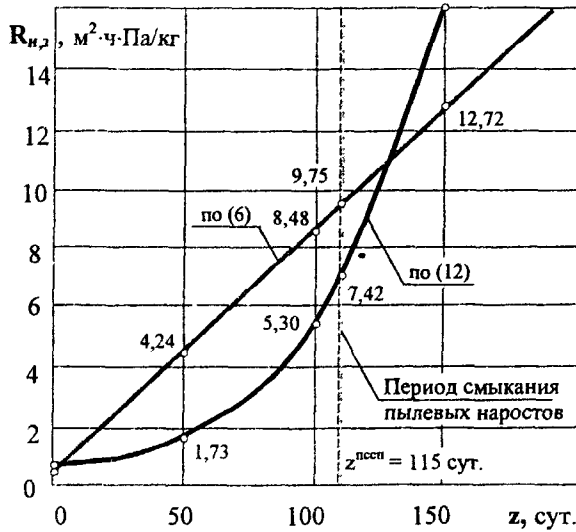


Рис.4. Изменение сопротивления воздухопроницающую ткань (четырёхремизный сатин) во времени вследствие запыления, рассчитанного по различным формулам (пунктиром отмечен период смыкания пылевых наростов)

но удовлетворительном совпадении результатов расчетов. Имеющиеся отклонения объясняются рядом допущений, принятых при выводе этих зависимостей.

Необходимо отметить, что аналитическое решение задачи (12) более корректно описывает процесс запыления по сравнению с приближенным решением (6): на начальной стадии рост пылевых наростов происходит медленно и соответственно медленно изменяется $R_{н,з}$, в дальнейшем, при уменьшении свободного прохода между волокнами, интенсивность роста сопротивления воздухопроницаению слоя резко возрастает, что и отражают результаты расчета по (12).

На основании проведенного анализа разработан алгоритм расчета запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций в процессе их эксплуатации (рис.5).

В четвертой главе диссертационной работы представлены результаты экспериментальные исследований, в частности: сепарации пылевоздушного потока, движущегося по направлению к поверхности воздухопроницаемого ограждения, определение основных характеристик исследуемой пыли атмосферного воздуха, исследования процесса запыления материалов воздухопроницаемых конструкций.

Исследование процесса сепарации пылевоздушного потока проводилось в лабораторных условиях на специально сконструированной установке, которая имитировала воздухопроницаемую ограждающую конструкцию, занимающую различное положение в пространстве, и позволяла создавать, регулировать и поддерживать необходимое направление движения и расход воздуха.

При проведении экспериментальных исследований в качестве воздухопроницаемой ограждающей конструкции выступал фильтродержатель, используемый для отбора проб воздуха с высокоэффективным фильтром Петрянова АФА-ХА-20. Выбор именно такого фильтроматериала обусловлен необходимостью максимального пылеулавливания, что позволило более точно оценить процесс сепарации пылевоздушного потока, движущегося в направлении к поверхности воздухопроницаемой ограждающей конструкции, и максимально исключить влияние сепарации в результате фильтрации.

При проведении экспериментальных исследований была использована методика, предназначенная для определения массовой концентрации пыли в атмосферном воздухе, которая заключается в определении массы взвешенных частиц пыли, задержанных фильтром из ткани Петрянова при прохождении через него определенного объема воздуха.

Результаты экспериментальных исследований сепарации пылевоздушного потока, движущегося к поверхности воздухопроницаемой конструкции, подтверждают теоретические исследования о влиянии положения ограждения в пространстве, скорости и направления движения воздуха на запыление воздухопроницаемых ограждающих конструкций. С увеличени-

ем расхода воздуха от 6,2 до 24,8 м³/(ч · м²) через вертикально расположенные фильтры (4,5,6), а также через фильтры (1,2,3), занимающие горизонтальное положение в пространстве (движение воздуха снизу вверх), значение коэффициента сепарации k увеличивается от 0,2 до 1. Для фильтров (7,8,9), занимающих горизонтальное положение в пространстве (движение воздуха сверху вниз) $k=1$. При визуальном обследовании фильтров (расход воздуха 6,2 и 15,5 м³/(ч · м²)) наибольшее количество крупных частиц пыли наблюдалось на 7,8,9 фильтре. На фильтрах 1÷6 крупные частицы практически отсутствовали.

Экспериментальные исследования по определению основных характеристик пыли атмосферного воздуха были выполнены по стандартным методикам. Исследуемая пыль извлечена из отработанного волокнистого воздушного фильтра, предназначенного для очистки атмосферного воздуха. В процессе испытаний определены насыпная плотность, пористость пыли, средняя величина плотностей образующих пыль веществ, средний диаметр и величина удельной поверхности частиц пыли. Достоверность результатов экспериментальных исследований по определению основных характеристик исследуемой пыли, а следовательно, возможность их использования при лабораторных исследованиях процессов запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций подтверждает сопоставление значений пористости, полученное по известной эмпирической зависимости $m_{пс} \approx (1-79 \cdot d_p^{0,47})$, и результатов эксперимента (табл.1).

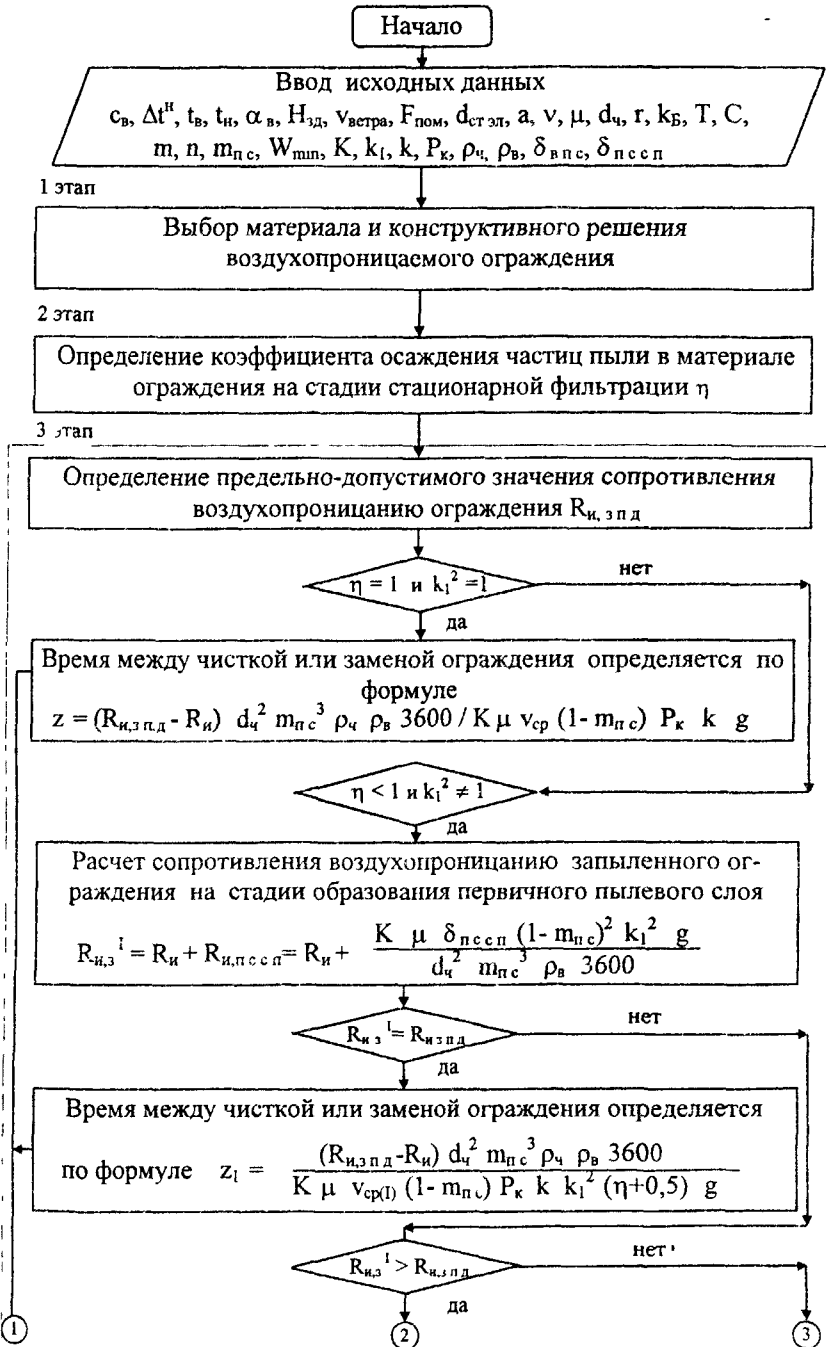
Таблица 1

Результатов экспериментальных исследований и расчета пористости исследуемой пыли

Средний диаметр частиц пыли d_p , мкм	Пористость $m_{пс}$	
	по результатам экспериментов	по эмпирической формуле
3,57	0,782	0,785
4,30	0,774	0,763

С целью выявления особенностей запыления материалов воздухопроницаемых ограждающих конструкций для подтверждения выдвинутых ранее положений о характере и интенсивности их запыления, а также для прогнозирования эксплуатационных свойств рассматриваемых конструкций на модели были проведены исследования процесса запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций (рис.6). Исследованы материалы стеклопластик рулонный марки РСТ (ТУ-6-48-87-92), представляющий собой гибкий рулонный материал, изготовленный на основе стеклоткани, пропитанной полимерным связующим; клеевой флизелин - нетканый материал, рыхлый теплоизоляционный материал URSA, выполненный из стеклянных штапельных волокон, синтепон (8 слоев)

Лабораторные исследования проводились в два этапа. Первый этап



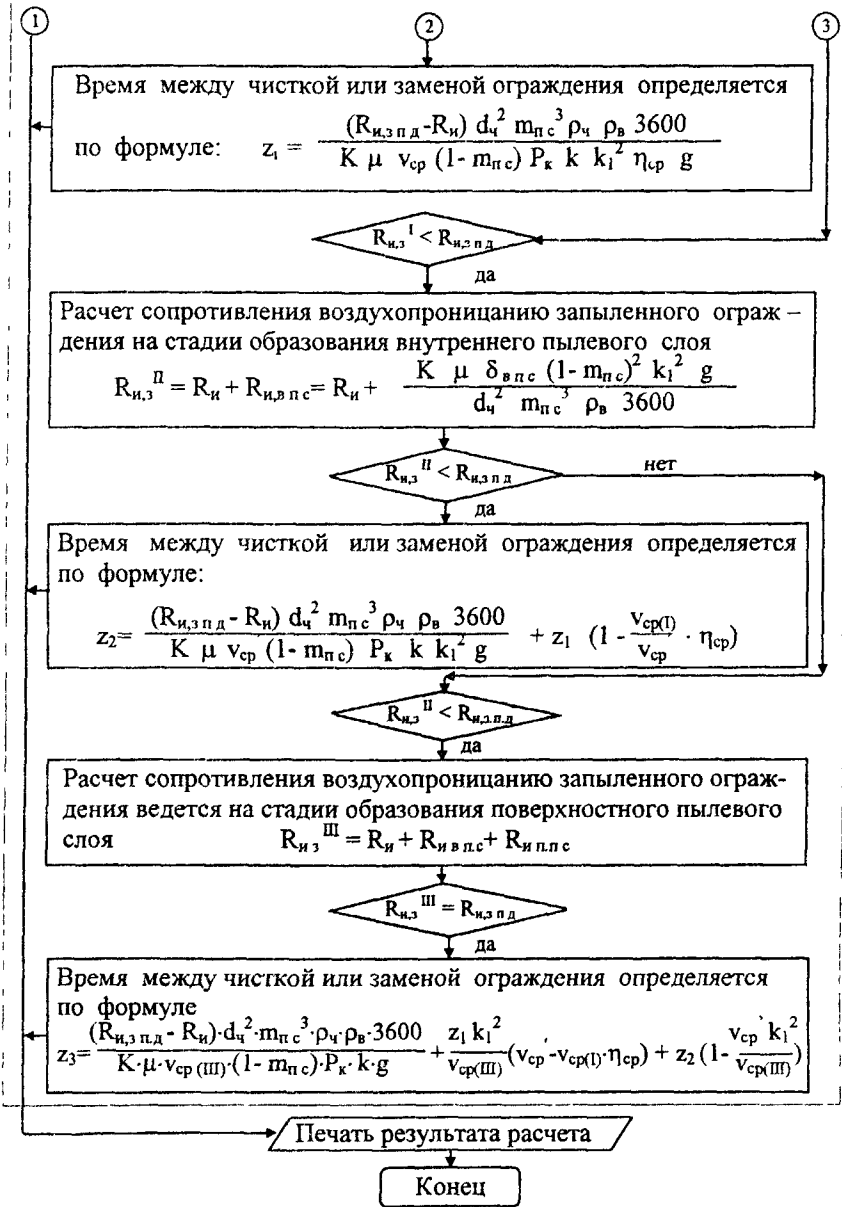


Рис.5 Алгоритм расчета интенсивности запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций в процессе их эксплуатации.

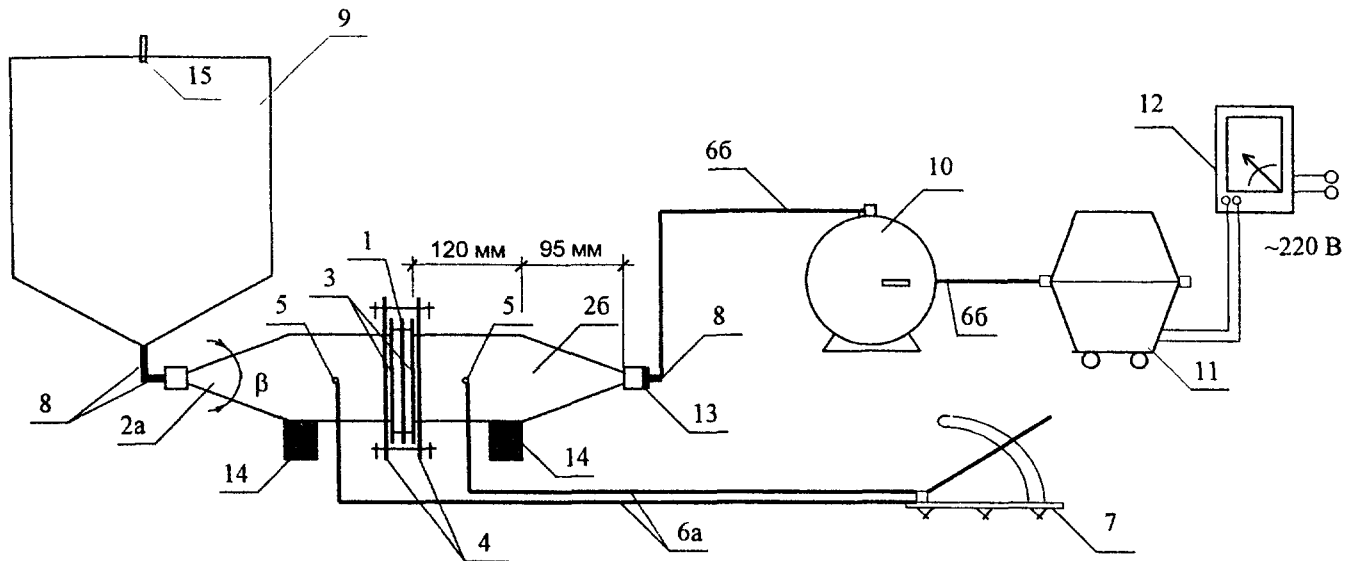


Рис. 6. Принципиальная схема экспериментальной установки. 1 - испытуемый материал, закрепленный на деревянной рамке; 2 - пластмассовые трубы; 3 - резиновые кольца; 4 - деревянные рамки; 5 - пластмассовый штуцер диаметром 5 мм; 6 - резиновые шланги (а - диаметром 5 мм, б - диаметром 10 мм); 7 - микроманометр ММН-240; 8 - пластмассовый штуцер диаметром 10 мм; 9 - пылевая камера; 10 - газовый счетчик ГСБ-400; 11 - электропылесос "Урал"; 12 - лабораторный автотрансформатор ЛАТР-1; 13 - фильтр Петрянова АФА-ХА-20; 14 - опоры; 15 - отверстия для подачи взвешенной порции пыли

заклучался в определении сопротивления воздухопроницанию и режима течения воздуха в порах исследуемых материалов. На втором этапе определялось, как влияет длительность запыления и количество пыли, поступившее на поверхность образца, а также структура воздухопроницаемых материалов на процесс запыления и на рост сопротивления воздухопроницанию испытываемых образцов.

С целью сокращения длительности испытаний было принято решение увеличить концентрацию пыли в воздухе по сравнению с действительной концентрацией. Возможность увеличения концентрации до 30 мг/м^3 допускается при проведении ускоренных испытаний фильтров для очистки приточного воздуха от пыли в системах вентиляции и кондиционирования. При проведении эксперимента была использована ранее исследованная полидисперсная пыль.

Результаты экспериментальных исследований по запылению воздухопроницаемых материалов (рис. 7) подтвердили выдвинутые ранее положения о характере и интенсивности запыления материалов, используемых для устройства воздухопроницаемых ограждающих конструкций.

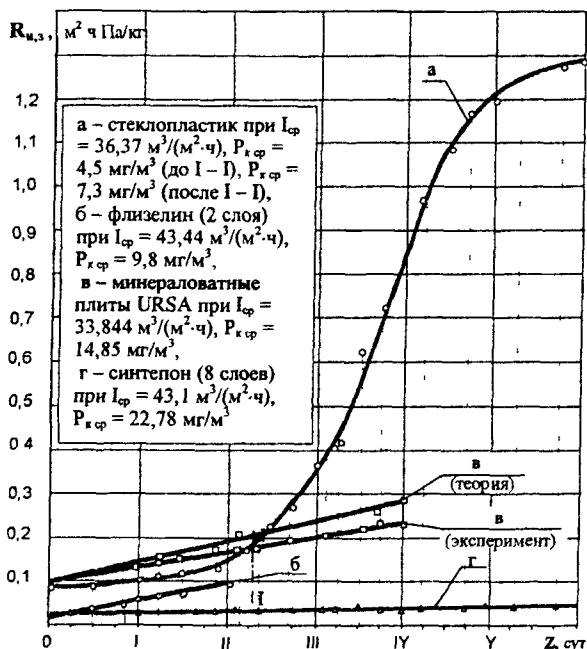


Рис. 7. Результаты исследований влияния времени запыления на рост сопротивления воздухопроницанию запыленных материалов $R_{н,з}$: а - стеклопластика; б - флизелина (2 слоя); в - минераловатных плит URSA; г - синтепона (8 слоев)

Анализ зависимостей, представленных на рис 7, показывает, что процесс запыления пор стеклопластика сопровождается значительным ростом сопротивления воздухопроницанию. Структура же таких материалов, как URSA, синтепон существенного влияния на рост сопротивления не оказывает. Стеклопластик характеризуется высоким коэффициентом проскока, достигающим 85% (коэффициент осаждения $\eta_{cp} \approx 0,15$). Для сравнения коэффициент осаждения 8 слоев синтепона составляет $\eta_{cp} \approx 0,87$.

Отклонение результатов расчета по предложенной эмпирической формуле от результатов лабораторных исследований в пределах 6–26% можно объяснить некоторым несоответствием расчетных параметров действительным условиям эксперимента.

Основные принципы конструирования и эксплуатации воздухопроницаемых ограждающих конструкций с учетом их запыления изложены в пятой главе диссертации. С целью уменьшения запыления, а следовательно, увеличения продолжительности эксплуатации воздухопроницаемых ограждающих конструкций предложено:

- интенсификация процесса сепарации пылевоздушного потока, движущегося по направлению к поверхности ограждения,
- уменьшение удельного расхода воздуха через конструкцию за счет увеличения площади фильтрующей поверхности, в частности ее гофрирования,
- использование материалов и расположение отдельных слоев воздухопроницаемого ограждения с учетом их функционального назначения и обеспечения условий снижения интенсивности роста сопротивления воздухопроницанию;
- введение по ходу движения запыленного воздуха защитного слоя с максимальной пылезадерживающей способностью и пылеемкостью

Анализируя известные способы регенерации пористых фильтров, а также варианты использования, особенности конструктивных решений и эксплуатации воздухопроницаемых конструкций, выявлены и рассмотрены наиболее приемлемые способы их регенерации: обратная продувка, непосредственный отсос пыли с запыленных поверхностей, отряхивание, встряхивание и встряхивание, промывка и разрыхление. Разработаны и представлены некоторые предложения по эксплуатации воздухопроницаемых ограждающих конструкций с учетом их запыления и изменения фильтрационных свойств.

Натурная проверка выявленных закономерностей по конструированию и эксплуатации воздухопроницаемых конструкций с учетом запыления, выполнена при устройстве системы приточной вентиляции ряда гражданских зданий с использованием пористых вставок, встроенных в стены и заполнение окон. Результаты эксплуатации воздухопроницаемых ограждений в натуральных условиях подтверждают эффективность их применения и правомерность использования отмеченных мероприятий для увеличения срока службы пористых наполнителей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1 Одним из основных факторов, сдерживающих внедрение в практику строительства ограждающих конструкций, работающих в условиях поровой фильтрации воздуха, является отсутствие методики прогнозирования их фильтрационных свойств вследствие запыления

Результаты отечественных и зарубежных исследований запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций в процессе эксплуатации носят частный характер и не учитывают многофакторности процесса запыления. Исследования в области пылеулавливания и очистки запыленных газов пористыми фильтрами, вследствие существенных отличий в условиях эксплуатации, требуют уточнения и доработки

2 Определяющими факторами, влияющими на запыление воздухопроницаемых конструкций, являются концентрация и свойства пылевого состава фильтрующегося воздуха, конструктивное решение ограждения и его положение в пространстве, направление движения и расход воздуха, структурные особенности материала ограждения, режим фильтрации и время эксплуатации ограждения

3 При прогнозировании запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций необходимо учитывать процесс сепарации частиц пыли воздуха, поступающего на поверхность ограждения. Влияние процесса сепарации рекомендуется учитывать с помощью предлагаемого коэффициента сепарации, представляющего собой отношение массы частиц пыли, поступивших на единичную поверхность рассматриваемой конструкции, к массе частиц пыли, поступивших на единичную поверхность горизонтально расположенного в пространстве ограждения при движении воздуха сверху вниз

4 Исследования возможных механизмов осаждения частиц пыли в пористых средах в результате фильтрации запыленного газа показали, что преобладающими механизмами осаждения частиц пыли на поверхности структурных элементов материала воздухопроницаемых ограждающих конструкций является гравитационное осаждение и броуновская диффузия

5 Установлено, что процесс запыления воздухопроницаемых ограждений протекает на трех основных стадиях: формирования первичного сплошного слоя пыли, стадии, связанной с завершением образования внутреннего пылевого слоя, и на стадии формирования поверхностного пылевого слоя

6 Установлено, что для воздухопроницаемых ограждений, в отличие от промышленных пористых фильтров, особое значение имеет прогнозирование процесса запыления на стадии формирования первичного пылевого слоя. В работе получены аналитические зависимости, позволяющие прогнозировать изменение фильтрационных свойств ограждений на стадии образования пылевых наростов. Сопоставление результатов расчетов по

аналитической и эмпирической зависимостям показывает их достаточно удовлетворительное совпадение.

7 Разработанная методика расчета позволяет прогнозировать процесс запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций. Результаты экспериментальных исследований подтверждают теоретические зависимости о характере и интенсивности запыления рассматриваемых конструкций. Расчеты по эмпирическим зависимостям и экспериментальные исследования запыления материалов воздухопроницаемых конструкций разнятся в пределах 6÷26%.

8 На основе выявленных физико-технических закономерностей запыления воздухопроницаемых ограждений разработаны принципиальные положения их конструирования и эксплуатации. Реализация этих положений обеспечивает увеличение продолжительности эксплуатации воздухопроницаемых конструкций до их замены или регенерации.

Основные положения, разработанные в диссертационной работе, опубликованы в следующих печатных работах:

1 Максимова М.В. К вопросу о запылении воздухопроницаемых ограждающих конструкций // СибАДИ - Омск, 1997 - 14 с - Деп. в ВИНТИ, № 2483-В97.

2 Максимова М.В. Влияние сепарации пыли на запыление воздухопроницаемых ограждающих конструкций // Труды СибАДИ - Омск. Изд-во СибАДИ, 1997.- Вып 1, ч 1 - С 77-85

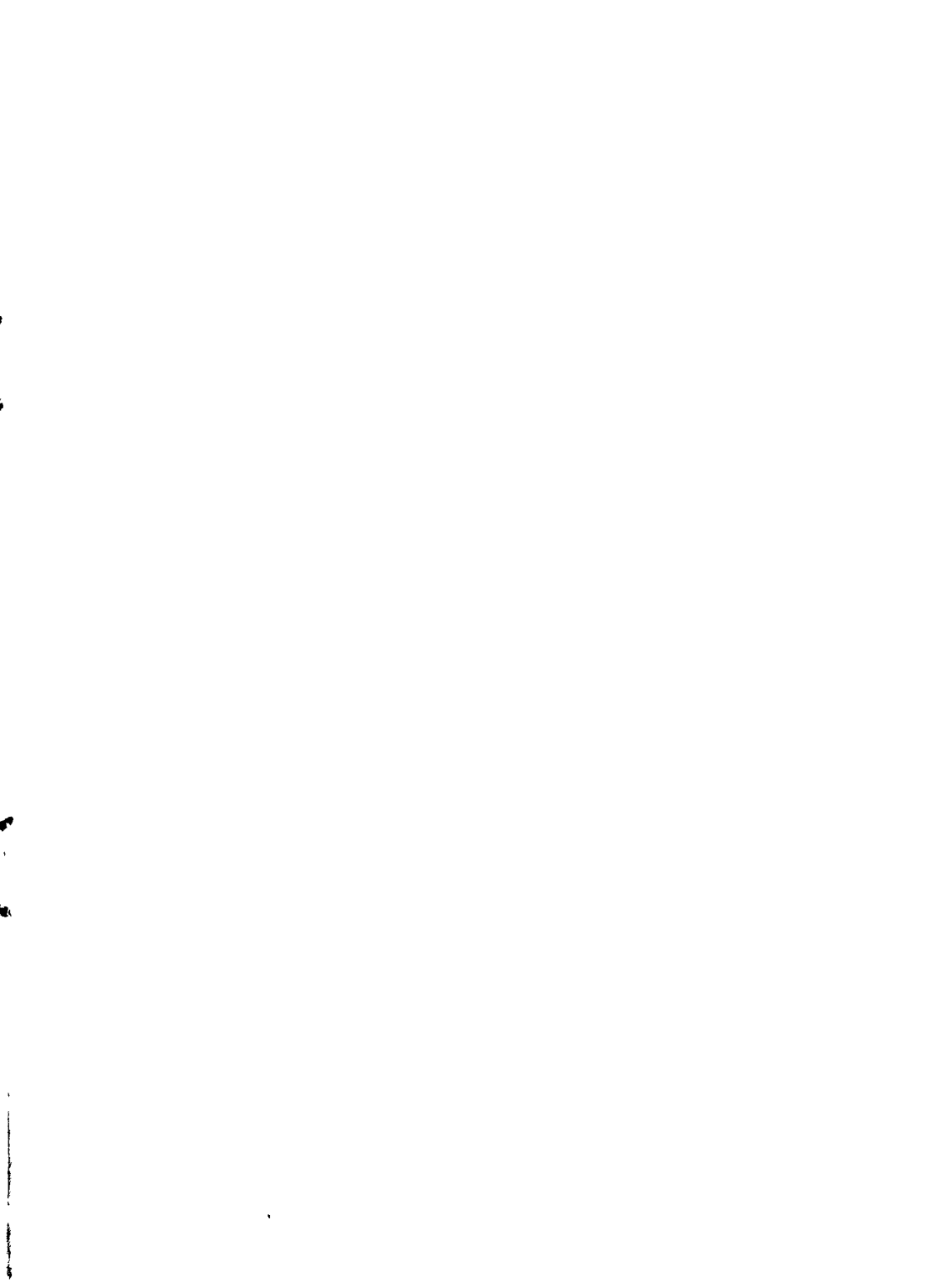
3 Максимова М.В. Прогнозирование изменения фильтрационных свойств воздухопроницаемых ограждающих конструкций зданий вследствие их запыления // Тезисы докладов II Международной научно-технической конференции "Автомобильные дороги Сибири", 20-24 апреля 1998 г. - Омск: Издательство СибАДИ, 1998.- С 435-437

4 Свидетельство о регистрации заявки на патент № 99113294 МПК F24F 7/10 от 17.06.99. Воздухопроницаемая ограждающая конструкция /Валов В.М., Максимова М.В.

5 Максимова М.В., Кривошеин А.Д. Прогнозирование запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций на стадии формирования первичного пылевого слоя // Известия вузов. Строительство, №5, 2000 (находится в печати).

Лицензия № 020675 от 09.12.1997 г.

Подписано в печать	06.04.2000	Формат 60×84 1/16	Печать офсетная
И-24	Объем	п. л.	Т 20
			Заказ 62



--7230

A2000

7230₂