

На правах рукописи



СТАРЦЕВА ЮЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕВОГО ФАКТОРА ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙ-
СТВИЯ НА РАБОТНИКОВ В БЕТОНОСМЕСИТЕЛЬНОМ ОТДЕЛЕНИИ
ПРОИЗВОДСТВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

05.26.01 Охрана труда (строительство)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Волгоград – 2017г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Азаров Валерий Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Манохин Вячеслав Яковлевич
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», кафедра «Пожарная и
промышленная безопасность»,
профессор

кандидат технических наук, доцент
Сидякин Павел Алексеевич
Институт сервиса, туризма и дизайна
(филиал) ФГАОУ ВО «Северо-
Кавказский федеральный университет» в
г. Пятигорске, кафедра «Строительство»,
профессор

Ведущая организация Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Белгородский
государственный технологический
университет имени В.Г. Шухова»

Защита диссертации состоится «02» марта 2018г. в 13:00 на заседании диссертационного совета Д 212.028.09 при ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет по адресу: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ауд. Б-203.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

Автореферат разослан «___» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Жукова Наталья Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В группе производственных помещений, которые отличаются сложностью размещения технологического оборудования, можно выделить цеха с расположением технологических площадок на различных высотных отметках. При осуществлении технологического процесса в цехах данного вида (дроблении, измельчении, истирании и т.д.), а также транспортировке сырья и материалов, в воздух рабочей зоны выделяется большое количество пыли, в том числе мелкодисперсной. Оценка и прогноз запыленности воздуха рабочей зоны на рабочих местах затруднен, ввиду перетекания пылевоздушных масс между технологическими площадками, поэтому имеющиеся решения по обеспечению требуемых санитарно-гигиенических условий труда не эффективны

Таким образом, применяемые проектные решения не учитывают в полной мере распространение пыли, включая мелкодисперсную PM_{10} и $PM_{2,5}$, по объему производственных помещений подобной конструкции. Следовательно, актуальными и важными представляются исследования, нацеленные на разработку научно обоснованных методов оценки и нормирования вредного пылевого фактора посредством совершенствования месторасположением оборудования, в особенности, на предприятиях занятых в строительной индустрии по производству железобетонных изделий, цемента, гипса и других вяжущих.

Работа выполнялась в соответствии с тематическим планом научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО Волгоградского государственного технического университета.

Степень разработанности темы

Вопросами распространения воздушно-пылевых масс в цехах с пылевыделениями занимались ученые, В.Н. Азаров, В.И. Беспалов, Е.И. Богуславский, М.И. Гримитлин, А.М. Гримитлин, А.И. Еремкин, В.П. Журавлев, М.П. Калинушкин, Д.В. Коптев, П.А. Коузов, И.Н. Логачев, К.И. Логачев, Н.В. Мензелинцева, В.А. Минко, Н.Н. Назаров, В.В. Нейдин, О.Д. Нейков, В.Н. Посохин, Н.М. Сергина, Н.А. Страхова, В.Ф. Сидоренко, Е.А. Штокман, В.М.

Эльтерман, и многие другие.

Однако предлагаемые различными исследователями и проектировщиками технические решения в цехах данного типа требуют адаптации и зачастую не могут быть применены из-за архитектурно-планировочных особенностей помещений и перетекания пылевоздушных потоков между этажами.

Цель работы. Улучшение качества воздуха на рабочих местах в цехах с расположением рабочих зон на различных площадках путем снижения концентрации пыли, в том числе мелкодисперсной PM_{10} и $PM_{2,5}$, в рабочей зоне. На основании выбранной цели были сформулированы следующие задачи:

- проведение комплекса натурных исследований пылевого фактора в воздухе рабочей зоны в бетоносмесительном отделении, в том числе: интенсивности пылеоседания и оценки мощности пылевыделений от технологического оборудования, концентрации общей и мелкодисперсной пыли, дисперсного состава пыли, в воздухе рабочей зоны на каждой технологической площадке бетоносмесительного отделения;

- теоретические расчеты и экспериментальные исследования аэродинамических характеристик частиц пыли, выбиваемой из технологического оборудования в воздух рабочей зоны в бетоносмесительном отделении;

- проведение экспериментальных исследований для анализа межэтажного перетекания пыли с целью изучения влияния на пылевую обстановку в рабочих зонах организации воздухообмена;

- разработка теоретической схемы расчета концентрации пыли в воздухе рабочих зон с учетом перетекания пыли между технологическими площадками и организацией воздухообмена;

- разработка и выбор мероприятий по снижению запыленности воздуха рабочей зоны в бетоносмесительном отделении.

Основная идея работы состоит в: снижении запыленности воздуха рабочей зоны в бетоносмесительных цехах путем усовершенствования методологии прогнозирования концентрации пыли в воздухе рабочих зон.

Научная новизна работы состоит в том, что:

- на основании теоретических и экспериментальных исследований предложена расчетная модель перетекания пылевоздушных масс между технологическими площадками, расположенными на разных отметках характерных для ряда производств, в том числе бетоносмесительных отделениях;
- на основании экспериментальных и теоретических исследований получены аэродинамические характеристики пыли, выделяющейся от технологического оборудования в рабочую зону каждой технологической площадки бетоносмесительного отделения: пыль щебня, цемента, песка;
- получены зависимости для определения долей массы частиц пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$ витающей в воздухе рабочих зон и осевшей на технологических площадках бетоносмесительного отделения;
- построена математическая модель, позволяющая прогнозировать параметры пылевого фактора воздуха рабочей зоны.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- получены аэродинамические характеристики для пыли в воздухе рабочей зоны на каждой технологической площадке в бетоносмесительном отделении;
- показано, что закон распределения по диаметрам массы частиц пыли в воздухе рабочих зон бетоносмесительных отделений подчиняется усеченному логарифмическому закону;
- получена интегральная и дифференциальная функция распределения массы частиц пыли по скоростям оседания для пыли, выделяющейся из технологического оборудования в воздух рабочей зоны в бетоносмесительном отделении;
- предложена расчетная модель для оценки параметров пылевого фактора и подвижности воздуха в рабочей зоне в цехах с многоярусным расположением технологических площадок;
- предложена методика расчета характеристик воздуха рабочей зоны для этажерочных цехов;
- получены данные для оценки доли частиц пыли, в том числе мелкодисперсной PM_{10} и $PM_{2,5}$, в воздухе рабочих зон и осевшей на

технологических площадках бетоносмесительного отделения;

- проведена адаптация методики по оценке технологического оборудования бетоносмесительного отделения как источника загрязнения рабочей зоны;

- предложены мероприятия по улавливанию пыли и снижению запылённости воздуха рабочей зоны в бетоносмесительном отделении.

Методология диссертационного исследования включает: аналитическое обобщение известных научных и технических результатов, физическое и математическое моделирование, лабораторные исследования, обработку экспериментальных данных, опытно-промышленные исследования.

Положения, выносимые на защиту:

- положение о репрезентативности результатов натурных исследований пылевого фактора загрязнения воздуха рабочей зоны в бетоносмесительных отделениях производств железобетонных изделий, а именно: интервал изменения запыленность воздуха, параметры дисперсного состава пыли, в том числе PM_{10} и $PM_{2,5}$, выделяющейся из технологического оборудования для каждой из площадок, необходимые как исходные данные при проектировании вентиляции бетоносмесительных отделений;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований аэродинамических характеристик пыли, поступающей из технологического оборудования в рабочую зону, в том числе расчеты скоростей оседания с использованием критериев Лященко и Рейнольдса;

- основные положения для расчета закономерностей перетекания пылевоздушных масс между технологическими площадками бетоносмесительного отделения, поступающих из технологического оборудования в рабочую зону;

- положение об адекватности математической модели для оценки параметров пылевого фактора воздуха рабочих зон.

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций обоснована применением классических положений теоретического анализа, планированием необходимого объема экспериментов, выполненных на лабораторной установке и подтверждающих удовлетворительную сходимость

полученных результатов исследований с результатами других авторов.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты работы докладывались и получили одобрение на: ежегодных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет» (г. Волгоград, 2010-2017 г.г.), конференции молодых инженеров-экологов «Проблемы охраны производственной и окружающей среды», Волгоград, 2011 г., 2012 г., 2014 г., 2016 г.; международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2011», Одесса 2011 г.

Публикации. Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 11 работах, в том числе в 4 статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ, и 3 патентах РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем работы -148 страницы в том числе: 113 – основной текст, содержащий 21 таблицы на 28 страницах, 44 рисунка на 52 странице; список литературы из 153 наименований на 18 страницах, приложения на 9 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследования и поставлены задачи для ее достижения, проанализированы научная новизна и практическая значимость исследования, а также приводятся сведения о положениях, выносимых на защиту.

Первая глава посвящена вопросу пылевого фактора как вредного фактора воздействия на организм работника. Анализ теоретических и практических исследований распространения пыли в бетоносмесительных цехах показал, что помещениям с подобным (многоярусным) планировочным решением посвящено небольшое количество работ. Нормирование параметров воздуха рабочей зоны в цехах данного типа является правильной организацией вентиляции как

общеобменной, так и локальной. Нормативы содержания взвешенных веществ для воздуха рабочих зон предприятий стройиндустрии установлены без учета их размера, в то время как нормирование именно мелких фракций пыли, а именно PM_{10} и $PM_{2,5}$, считается во всем мире наиболее целесообразным вследствие их различного действия на организм человека и длительности нахождения во взвешенном состоянии в воздухе. Установление данных нормативов для частиц определенного размера позволит четко определять местные фоновые концентрации, предъявлять ясные требования к предприятиям и получать достоверную аналитическую информацию, необходимую для эффективного контроля соблюдения установленных требований.

Вторая глава посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям пылевой обстановки в бетоносмесительном отделении. На примере ОАО «Промстройконструкция» (рисунок 1) путем исследования запыленности воздуха рабочей зоны были выявлены зоны с максимальной запыленностью атмосферы помещения. На площадке первого этажа пробы отбирались в четырех точках, одна из которых была взята в месте постоянного пребывания работников. Концентрация пыли на рассматриваемой площадке находится в диапазоне от 30 мг/м^3 до 55 мг/м^3 . На площадке второго этажа пробы были взяты также в четырех точках, одна из которых была взята в месте постоянного пребывания работников. Концентрация пыли на рассматриваемой площадке находится в диапазоне от 18 мг/м^3 до 82 мг/м^3 . На площадке третьего этажа замеры не проводились ввиду отсутствия рабочих мест. На площадке четвертого этажа пробы отбирались в шести точках, пять из которых были взяты в местах постоянного пребывания работников. Концентрация пыли на рассматриваемой площадке находится в диапазоне от 27 мг/м^3 до 173 мг/м^3 .

Полученные результаты показали, что максимальное значение запыленности воздуха превышает значение ПДК больше, чем в 25 раз и наблюдается она в надбункерном отделении.

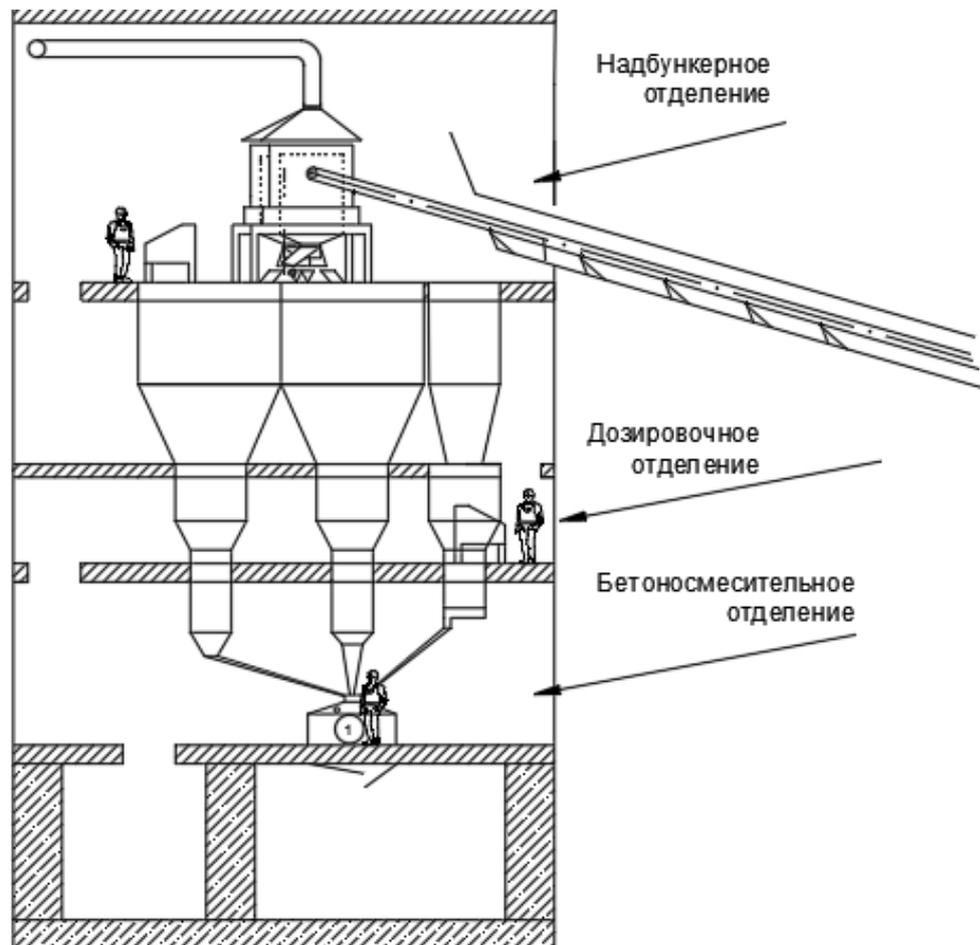


Рисунок 1 – Разрез цеха бетоносмесительного отделения

С целью разработки эффективных мер по борьбе с повышенной запыленностью воздуха рабочей зоны экспериментальным путем по методике Е.И. Богуславского и В.Н. Азарова определялась величина выделения пылевых загрязнений от технологического оборудования. Проведенное исследование так же показало, что наибольшие показатели средней плотности пылеоседания пришлись на надбункерное отделение.

В ходе натурных исследований влияния организации приточной вентиляции на концентрацию пыли в воздухе рабочей зоны, проведенных на ОАО «Промстройконструкция», были определены диапазоны изменения кратности воздухообмена и углов наклона воздухораспределителей, при которых значения концентраций пыли были минимальны. Для расчета трех других важных факторов, а именно расходов воздуха, подаваемого на технологические площадки: L_1 – количество подаваемого воздуха на первую технологическую площадку, $[м^3/ч]$; L_2 – количество

подаваемого воздуха на вторую технологическую площадку, $[м^3/ч]$; L_4 – количество подаваемого воздуха на четвертую технологическую площадку, $[м^3/ч]$, были проведены экспериментальные исследования. Учитывая, что на третьей технологической площадке рабочих мест с постоянным пребыванием людей нет, то и подача воздуха на нее не осуществлялась.

Экспериментальная модель (рисунок 2) выполнена в масштабе 1:20000, состоит из корпуса 1 имеющего прозрачную стенку 2 для визуального контроля и фиксации проведения эксперимента. Пространство корпуса разделено перекрытиями, имеющими межэтажные переходы, на 4 этажа в соответствии с типовым проектом бетоносмесительного отделения. Вентиляторы с натянутой капроновой тканью и навесками пыли имитируют её выброс в воздух рабочей зоны и располагаются на соответствующих этажах. Приточная вентиляция выполнена в виде воздуховодов, имеющие щелевые отверстия для подачи чистого воздуха и воздуховодки, позволяющей регулировать расход подаваемого воздуха. Воздуховоды закреплены таким образом, что позволяет менять угол приточной струи.

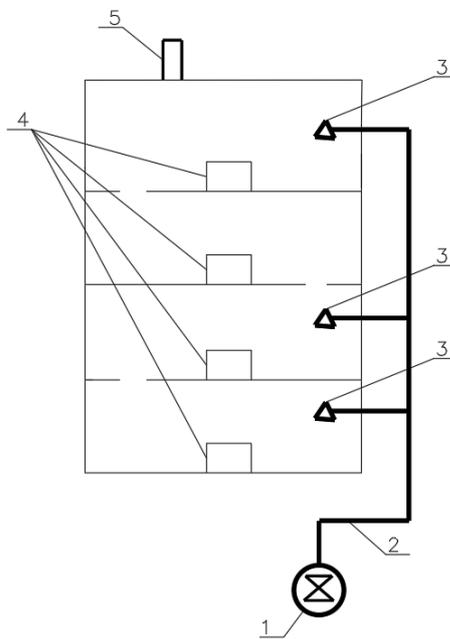


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки: 1 – вентилятор; 2 – воздуховод; 3 – воздухораспределительное устройство; 4 – теплоventильатор; 5 – естественная вытяжная вентиляция

Исследования проводились с учетом рандомизации и временного дрейфа. Был проведен факторный эксперимент порядка 3^3 (где 3 – число факторов), целью

которого было определение значения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны модели цеха и её зависимости от способа подачи приточного воздуха.

На основании проведенных экспериментальных исследований влияния организации воздухообмена на пылевую обстановку в рабочей зоне цеха получена регрессионная зависимость относительно безразмерных величин:

$$C = C(\overline{L}_1, \overline{L}_2, \overline{L}_4) \quad (1)$$

$$C = 14,18 - 1,13\overline{L}_1 - 0,44\overline{L}_2 - 0,45\overline{L}_4 - 0,12\overline{L}_1\overline{L}_2 + 0,29\overline{L}_1\overline{L}_4 + 0,02\overline{L}_2\overline{L}_4 + 0,05\overline{L}_1^2 - 0,04\overline{L}_2^2 + 0,04\overline{L}_4^2 \quad (2)$$

Оценка воспроизводимости экспериментальных исследований, произведена путем сопоставления значений расчетного и табличного критериев Кохрена, на уровне доверительной вероятности $p=0,05$ результаты экспериментальных исследований воспроизводимы. В качестве функции отклика определялось аэродинамическое сопротивление установки.

Значимость коэффициентов уравнения регрессии находилась с использованием критерия Стьюдента. Адекватность уравнений регрессии проверялась путем сопоставления расчетного и табличного (используя установленные значения L и числа степеней свободы) критерия Фишера F , который есть отношение дисперсии адекватности к ошибке опыта. Адекватность полученной модели подтверждается выполнением во всех случаях условий

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что для установления требуемых параметров воздушной среды помещения значения расхода приточного воздуха, подаваемого на каждую технологическую площадку, должно быть максимальным.

В третьей главе представлены результаты дисперсного анализа пыли, отбор проб которой осуществлялся из рабочей зоны на каждой технологической площадке бетоносмесительного отделения: в надбункерном отделении, 4 этаж; в дозирочном отделении, 2 этаж; в бетоносмесительном отделении, 1 этаж.

В качестве примера приведены результаты исследований в надбункерном и в бетоносмесительном отделении (рисунок 3а, б).

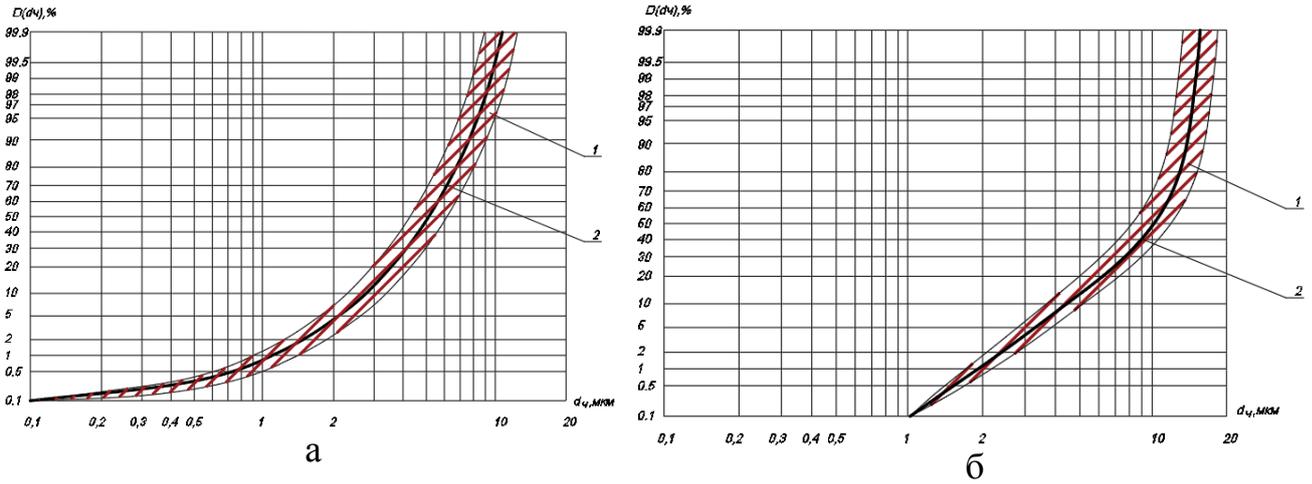


Рисунок 3 – Распределение массы частиц по диаметрам для пыли, отобранной в: а - надбункерном отделении при загрузке цемента; б - бетоносмесительном отделении в зоне дыхания 1 – область значений интегральной функции распределения массы частиц пыли; 2 – средняя интегральная функция распределения массы частиц пыли.

Результаты проведённого исследования (таблица 3) необходимы для определения доли оседающей пыли, пыли, которая переходит во взвешенное состояние в воздухе рабочей зоны, а также пыли, которая перетекает из одной технологической площадки на другую.

Таблица 1 – Диапазоны распределения значений массы частиц пыли по диаметрам в бетоносмесительном отделении ОАО «Промстройконструкция».

Участок бетоносмесительного отделения	Доля пыли, %		Медианный диаметр частиц d_{50} , мкм
	PM _{2,5}	PM ₁₀	
надбункерное отделение при загрузке цемента	4-15	95-100	3,3-5,2
надбункерное отделение при одновременной загрузке цемента и щебня	2-7	70-98	5,3-8,3
дозировочное отделение в зоне дыхания операторов	7-15	98,2-100	4-5
дозировочное отделение в рабочей зоне около пультовой	1,5-3	28-50	10-13
бетоносмесительное отделение в рабочей зоне	1-2,1	60-90	6,5-9,3
бетоносмесительное отделение в зоне дыхания операторов	1,5-3	37-70	8,2-13

Пользуясь методом оценивания Левенберга-Маркардта на уровне надежности 95%, направленным на решение задач о наименьших квадратах, функция описывающая графики распределения значений массы частиц пыли по диаметрам имеет вид:

$$D = \frac{1}{1 + Ae^{-5(\frac{d}{d_{50}})}} \quad (3)$$

По результатам исследования был сделан вывод, что на верхних технологических площадках преобладает мелкодисперсная пыль, что связано с её перетеканием с нижних площадок, более крупная пыли оседает на нижних технологических площадках соответственно.

Кроме того, большинство кривых можно аппроксимировать кусочно-линейной функцией. Графики распределения массы частиц пыли по диаметрам также можно представить в виде двух либо трехзвенной кусочно-линейной функции (рисунок 5).

Так связь между координатами в логарифмически нормальной сетке имеет вид:

$$x = \lg \delta, \quad D = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^y e^{-x^2/2} dx \quad (4)$$

То аппроксимируем функцию на каждом из участков линейной функцией и квантиль функции $y(D)$, например, для трехзвенной ломанной будет иметь вид уравнения

$$y = \begin{cases} b_1 + k_1(x - x_{кр1}), x \leq x_{кр1} \\ b_2 + k_2(x_{кр1} - x_{кр2}), x_{кр1} \leq x < x_{кр2} \\ b_3 + k_3(x_{кр2}), x > x_{кр2} \end{cases} \quad (5)$$

Сведем результаты расчетов в таблицу 2.

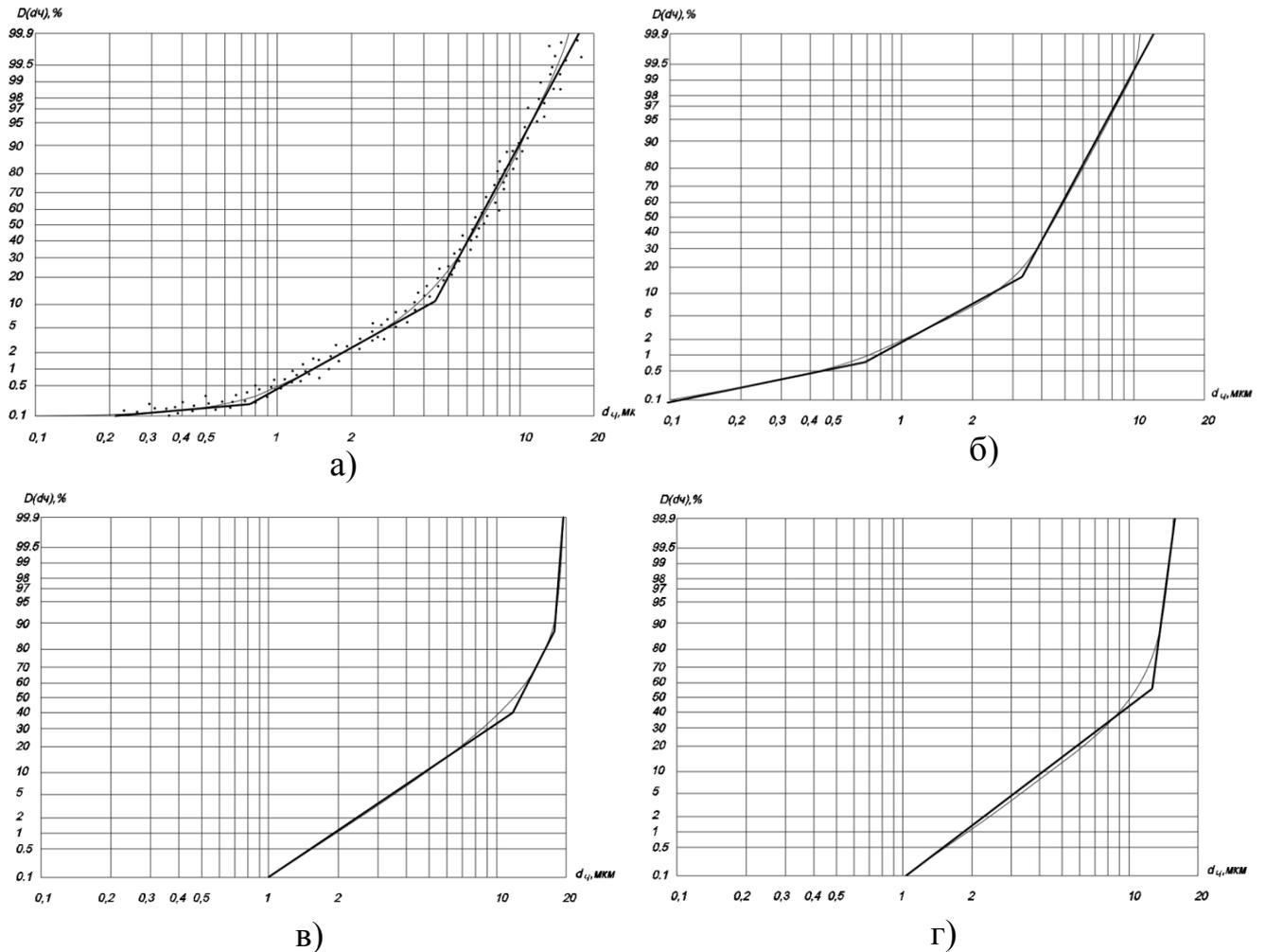


Рисунок 4 – Аппроксимация интегральной функции распределения дисперсного состава пыли линейной отобранной: а - в надбункерном отделении при загрузке пневмотранспортом цемента в рабочий бункер и одновременной загрузке щебня; б - в дозировочном отделении в зоне дыхания операторов пультовой; в - в дозировочном отделении в рабочей зоне около пультовой; г - в бетоносмесительном отделении в зоне дыхания.

При анализе приведенных графиков можно сделать вывод о том, что все кривые подчиняются усеченному логарифмически - нормальному закону, а наибольшее количество выделяющейся пыли имеет размер PM_{10} . Содержание частиц пыли PM_{10} в воздухе рабочей зоны в бетоносмесительном отделении колеблется от 59% до 99,5%, количество частиц пыли с размером $PM_{2,5}$ составляет 1,1% - 7,5%. Получили, что наиболее вредный размер частиц пыли для здоровья работников находится у операторов пультовой в зоне дыхания в дозировочном отделении.

Таблица 2 – Функции распределения массы частиц пыли по диаметрам.

Участок бетоносмесительного отделения	Аппроксимации функции распределения массы частиц пыли по диаметрам для указанного участка	
	интегральная	кусочно-линейная
надбункерное отделение при загрузке цемента	$D = \frac{100}{1 + 92,16 \cdot e^{-0,87(\frac{d}{d_{50}})}}$	выразить в виде кусочно-линейной функции не представляется возможным
надбункерное отделение при одновременной загрузке цемента и щебня	$D = \frac{100}{1 + 111,71 \cdot e^{-0,71(\frac{d}{d_{50}})}}$	$y = \begin{cases} -0,835 + 0,088(x - x_{kp1}), x \leq x_{kp1} \\ -0,566 + 0,553(x_{kp1} - x_{kp2})x_{kp1} \leq x < x_{kp2} \\ -1,293 + 1,881(x_{kp2}), x > x_{kp2} \end{cases}$
дозировочное отделение в зоне дыхания операторов	$D = \frac{100}{1 + 116,79 \cdot e^{-1,04(\frac{d}{d_{50}})}}$	$y = \begin{cases} -0,721 + 0,213(x - x_{kp1}), x \leq x_{kp1} \\ -0,414 + 0,553(x_{kp1} - x_{kp2})x_{kp1} \leq x < x_{kp2} \\ -1,425 + 1,881(x_{kp2}), x > x_{kp2} \end{cases}$
дозировочное отделение в рабочей зоне около пультовой	$D = \frac{100}{1 + 56,21 \cdot e^{-0,34(\frac{d}{d_{50}})}}$	$y = \begin{cases} -0,395 + 0,675(x - x_{kp1}), x \leq x_{kp1} \\ -0,626 + 1,962(x_{kp1} - x_{kp2})x_{kp1} \leq x < x_{kp2} \\ -5,620 + 14,301(x_{kp2}), x > x_{kp2} \end{cases}$
бетоносмесительное отделение в рабочей зоне	$D = \frac{100}{1 + 125,28 \cdot e^{-0,6(\frac{d}{d_{50}})}}$	выразить в виде кусочно-линейной функции не представляется возможным
бетоносмесительное отделение в зоне дыхания операторов	$D = \frac{100}{1 + 84,17 \cdot e^{-0,43(\frac{d}{d_{50}})}}$	$y = \begin{cases} 0,635 + 0,675(x - x_{kp1}), x \leq x_{kp1} \\ -12,899 + 14,301(x_{kp2}), x > x_{kp1} \end{cases}$

Проведенные экспериментальные исследования аэродинамических характеристик пыли показали, что около 75% всего выделяющегося количества пыли будет перетекать на нижние этажи и осаждаться на поверхности технологического оборудования, пола, а около 25% - витать в воздухе рабочей зоны помещения. Полученные значения дисперсности пыли являются данными для подбора класса респираторов для работников, как одного из мероприятия по снижению негативного воздействия пыли на здоровье работников.

Исследованы зависимости скорости оседания частиц пыли по критериям Лященко Lu и Рейнольдса Re для каждого материала, применяемого в технологиче-

ском процессе. По построенным графикам (рисунок 5) видно, что для пыли цемента перетекать на нижние технологические площадки будут частицы с размером более 72 мкм, а частицы пыли щебня и песка будут витать в воздухе по всему объему помещения и частично уноситься восходящим потоком на верхние технологические площадки.

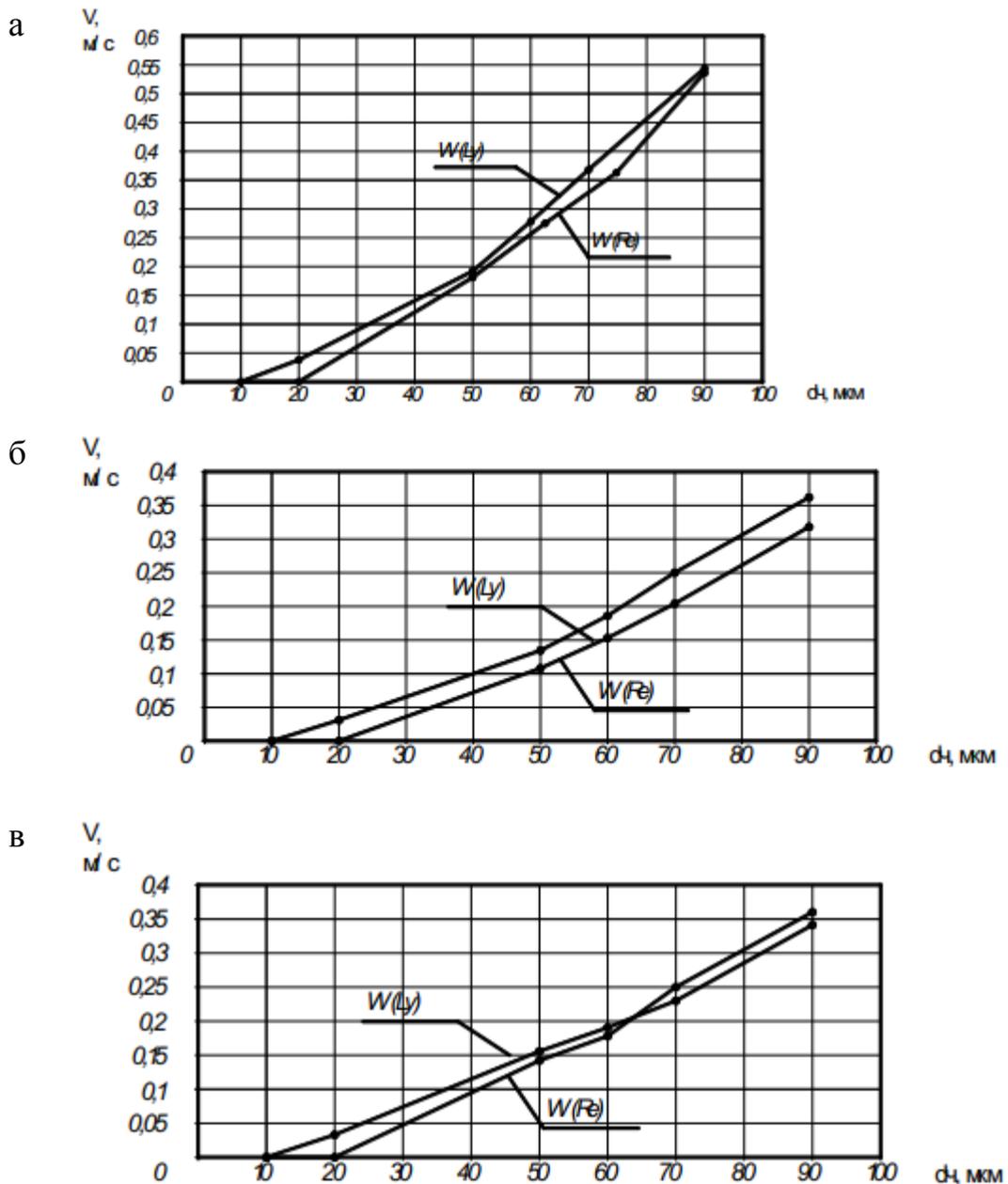


Рисунок 5- График зависимости скорости оседания частиц пыли, рассчитанной по критериям Лященко Lu и Рейнольдса Re ; а – для цемента, б – для щебня, в – для песка.

Так же в работе проводились исследования аэродинамических характеристик пыли в бетоносмесительном отделении, основанные на оседании пыли в седиментационной трубе высотой 1,2 м. На основе полученных результатов были построены интегральные кривые массы частиц пыли, по которым видно, что при скорости 0,5 м/с частицы имеют самый большой размер равный 28 мкм, средний размер 22 мкм и самый маленький размер 17 мкм.; при скорости 0,3 м/с частицы имеют самый большой размер 19 мкм, средний размер 15 мкм и самый маленький размер 5 мкм.; при скорости 0,1 м/с частицы имеют самый большой размер 5 мкм, средний размер 4 мкм и самый маленький размер 2 мкм.

Также зависимости скорости оседания частиц пыли от их эквивалентного диаметра можно представить в логарифмической сетке (рисунок 6).

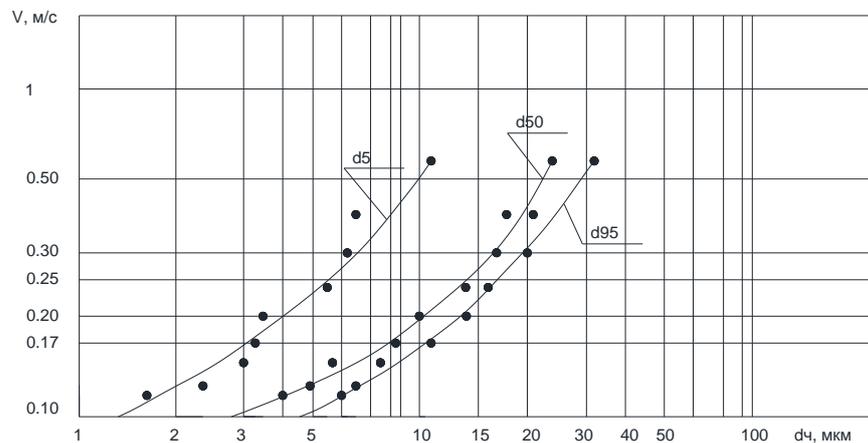


Рисунок 6— Зависимость скорости оседания от эквивалентного диаметра частицы, представленная в логарифмической сетке: 1 – минимальные эквивалентные диаметры; 2 – медианные эквивалентные диаметры; 3 – максимальные эквивалентные диаметры.

Проведенные исследования характеристик пыли дают нам представление о поведении частиц пыли в воздухе рабочей зоны как при нормальных условиях, так и при изменении кратности воздухообмена, расхода воздуха, при изменении способа подачи приточного воздуха, которые в свою очередь послужат основой для выбора мероприятий по улучшению качества воздуха рабочей зоны цеха.

В четвертой главе рассмотрены практические результаты проведенных исследований: разработана методика оценки пылевого фактора на рабочих местах, а

также методика для определения воздушного баланса помещения по пыли в бетоносмесительном отделении, предложена система для, предложена установка для моделирования движения воздушных масс в этажерочных цехах, а также предложены мероприятия по снижению запыленности воздуха на рабочих местах.

Для этого, исходя из конструктивных особенностей цеха и технологического процесса, а также опираясь на проведенные в работе аэродинамические характеристики пыли: интенсивность пылевыведения и пылеоседания, дисперсный анализ отобранной пыли и скорость её оседания составим движение пылевоздушных масс по всему объему бетоносмесительного отделения.

Составлено уравнение баланса по пыли с учетом перетекания ее с одной технологической площадки на другую, используя предложенный В.Н. Азаровым деление цеха с многоуровневым расположением рабочих зон на элементарные аэродинамические объемы.

$$\begin{cases} M_i + M_{(i+1);i} - M_{i;(i+1)} - M_{oi} - M_{BCi} = 0 \\ M_{oi} = \eta_i(M_i + M_{(i+1);i} - M_{i;(i+1)} - M_{BCi}) \\ M_{BCi} = M_{Bi} + M_{ACi} \\ M_{i;(i+1)} + M_{BCi} = (1 - \eta_i)(M_i + M_{(i+1);i}) \end{cases} \quad (6)$$

где i - номер технологической площадки;

M_i - масса выделившейся пыли от технологического оборудования на площадке;

M_{oi} - масса осевшей пыли на площадке.

Расчет массы пыли, перетекающей с i -ой технологической площадки технологическую площадку $i-1$ в общем виде:

$$M_{ii-1} = \frac{1}{M_i} \int_{v_{oci}}^{\infty} D_i(\delta) d\delta(v_{oc}) \quad (7)$$

где v_{oc} - скорость оседания частиц пыли на поверхность технологической площадки i .

В результате произведенного анализа движения воздуха в элементарных аэродинамических объемах была составлена система уравнений, отображающая баланс по пыли для всего объема цеха бетоносмесительного отделения:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_4 c_{p.3.4} + K_{взм4} K_{oc4} M_4 + (1 - K_{oc4}) M_4 = L_{асп4} c_{p.3.4} + \\ \quad + [(K_{подм4} + 1) L_4 - L_{асп4}] [c_{p.3.4} + \lambda (c_{yx3} - c_{p.3.4})] \\ L_3 c_{p.3.3} + K_{взм3} K_{oc3} M_3 + (1 - K_{oc3}) M_3 = L_{асп3} c_{p.3.3} + \\ \quad + [(K_{подм3} + 1) L_3 - L_{асп3}] [c_{p.3.3} + \lambda (c_{yx2} - c_{p.3.3})] \\ L_2 c_{p.3.2} + K_{взм2} K_{oc2} M_2 + (1 - K_{oc2}) M_2 = L_{асп2} c_{p.3.2} + \\ \quad + [(K_{подм2} + 1) L_2 - L_{асп2}] [c_{p.3.2} + \lambda (c_{yx1} - c_{p.3.2})] \\ L_1 c_{p.3.1} + K_{взм1} K_{oc1} M_1 + (1 - K_{oc1}) M_1 = L_{асп1} c_{p.3.1} + \\ \quad + [(K_{подм1} + 1) L_1 - L_{асп1}] [c_{p.3.1} + \lambda (-c_{p.3.1})] \end{array} \right. \quad (8)$$

где λ коэффициент, отображающий изменение значений концентрации пыли вне рабочей зоны (согласно опытно-промышленным исследованиям $\lambda = 0,5$ и $\lambda = 0,3$);

$M_{п}$ масса пыли, исходящей от оборудования;

$K_{взм}$ коэффициент, показывающий долю пыли, которая переходит во взвешенное состояние в рабочей зоне (для бетоносмесительных цехов – 4-5% от общего пылевыведения);

$K_{подм}$ коэффициент, показывающий долю пыли, которая подмешивается в рабочую зону из ствола воздуха.

Система включает в себя четыре уравнения с четырьмя неизвестными: $c_{p.3.2}$, $c_{p.3.3}$, $c_{p.3.4}$.

Концентрации пыли в уходящем потоке воздуха c_{yx1} , c_{yx2} , c_{yx3} можно вычислить зная массу выделившейся пыли от оборудования, массу осевшей пыли, которые были определены ранее в работе в главе 2, и объем технологической площадки:

$$c_{yxi} = \frac{M_1 - M_{oc1}}{V_1} \quad (9)$$

Зная расходы приточного и аспирационного воздуха, а также площадь проема между площадками i и $(i+1)$ рассчитываем скорость воздуха в проеме:

$$v_{при} = \frac{\sum_1^i (L_i - L_{аспi})}{F_i} \quad (10)$$

Частицы пыли, имеющие скорость оседания ниже полученной скорости v_i , будут перетекать на вышестоящие технологические площадки. Тем самым по интегральным кривым распределения массы частиц пыли по диаметрам, построенным в главе 3, мы можем численно оценить долю пыли, которая подмешивается в рабочую зону из ствола воздуха - коэффициент $K_{подмi}$.

По графику зависимости скорости оседания от эквивалентного диаметра частицы, полученного в ходе определения аэродинамических характеристик пыли в главе 3, и нормативному значению скорости движения воздуха в цеху ($w = 0,5 \text{ м/с} - 0,7 \text{ м/с}$) определим долю пыли, которая оседает на поверхности пола технологической площадки - коэффициент оседания пыли $K_{осi}$.

$$v_{осi} = \frac{h_i}{\tau} = \frac{h_i w_i}{l_i} \quad (11)$$

- где h_i - высота источник пылевыведения на технологической площадке;
 l_i - расстояние от источника пылевыведения до проема;
 τ время движения частицы пыли от источника пылевыведения до межэтажного проема.

Таким образом получаем, что содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны зависит от ряда факторов: расходов приточного и аспирационного воздуха, от значения массы пыли, выделяющейся из неплотностей оборудования, от коэффициента, описывающего изменение содержания пыли вне рабочей зоны, а также от коэффициентов, учитывающих долю подмешивания воздуха из ствола потока и долю пыли, которая находится во взвешенном состоянии в рабочей зоне.

Концентрация вредных веществ в переходящем потоке воздуха в свою очередь зависит от содержания вредных веществ в рабочей зоне, от расходов воздуха приточного и аспирационного, от массы пыли, выбивающейся от оборудования и от коэффициента, учитывающего долю пыли, которая переходит во взвешенное состояние в рабочей зоне.

На блок-схеме (рисунок 7) представлен подбор значений расходов приточного и аспирируемого воздуха для приведения параметров воздушной среды помещения до требуемых.



Рисунок 7 – Блок-схема расчета воздухообмена в бетоносмесительном отделе-
лении

На основании методики с применением патентов на установку по улавливаю и очистки выбросов от технологического оборудования (пат. №2416651), ис-

пытательной модели промышленного цеха (пат. №128657) и полезной модели системы вентиляции (пат. №144460) были разработаны и проведены мероприятия, которые позволили снизить запыленность воздуха рабочей зоны на ОАО «Промстройконструкция». На рисунках 8 и 9 изображены изменения значений концентрации пыли щебня и песка до и после введения рекомендуемых мероприятий.

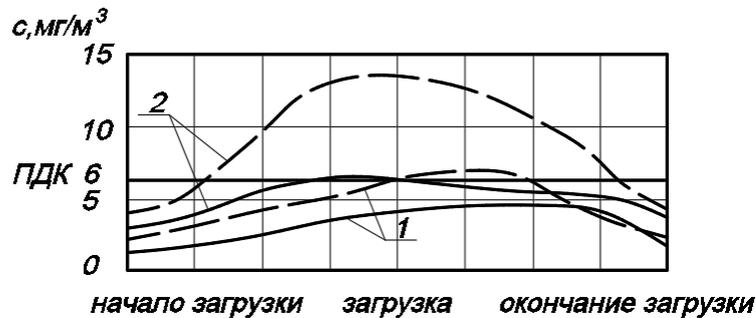


Рисунок 8 – Концентрации пыли щебня в воздухе рабочей зоны: 1 – площадка 1-го уровня; 2 – площадка 2-го уровня; 3 – площадка 4-го уровня; — — — до проведения мероприятий; — — — после проведения мероприятий.

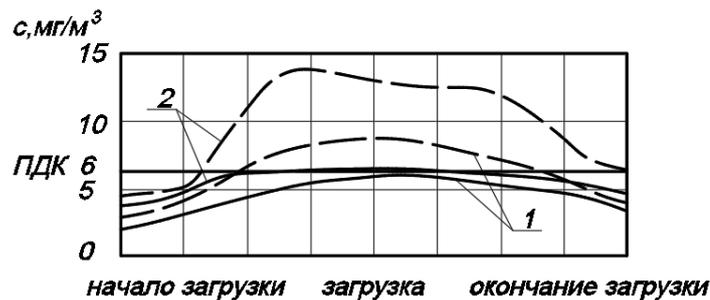


Рисунок 9 – Концентрации песчаной пыли в воздухе рабочей зоны: 1 – площадка 2-го уровня; 2 – площадка 4-го уровня; — — — до проведения мероприятий; — — — после проведения мероприятий.

Для данного исследования на каждой технологической площадке производились замеры концентрации пыли в воздухе рабочей зоны до применения мероприятий по снижению запыленности воздуха рабочей зоны и после них. Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что мероприятия по снижению запыленности воздуха рабочей зоны бетоносмесительного отделения позволили уменьшить концентрацию пыли щебня с $14,0 \text{ мг/м}^3$ до $5,7 \text{ мг/м}^3$; песчаной пыли с $14,3 \text{ мг/м}^3$ до $6,0 \text{ мг/м}^3$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе рассмотрены вопросы, посвященные исследованию пылевого фактора вредного воздействия на работников в бетоносмесительном отделении производств железобетонных изделий. На основании результатов выполненных исследований сформулированы основные **выводы** по работе:

1. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования аэродинамических характеристик пыли показали, что около 75% всего выделяющегося количества пыли будет перетекать на нижние этажи и осаждаться на поверхности технологического оборудования, пола, а около 25% - витать в воздухе рабочей зоны помещения. На основе результатов исследований по оценке пылевой обстановки в бетоносмесительном отделении было выявлено, что запыленность воздуха рабочей зоны превышает норматив ПДК в среднем в 3-4 раза, при осуществлении загрузки материала – в 10 и более раз. Проведенное исследование запыленности воздуха рабочей зоны бетоносмесительного отделения показало необходимость применения мер по снижению концентрации пыли.

2. По результатам дисперсного состава пыли, выделяющейся в ходе технологического процесса в бетоносмесительном отделении, установлено, что более 50% выделяющейся пыли является мелкодисперсной PM_{10} . Содержание частиц пыли PM_{10} в воздухе рабочей зоны в бетоносмесительном отделении колеблется от 59% до 99,5%, количество частиц пыли с размером $PM_{2,5}$ составляет 1,1% - 7,5%.

3. Исследование интенсивности пылеоседания позволило адаптировать методику Богуславского-Азарова оценке интенсивности пылеоседания для бетоносмесительных отделений, а также оценить герметичность технологического оборудования, оценить мощность и направление распространения пыли от каждого источника пылевыделения.

4. Проведенные экспериментальные исследования аэродинамических характеристик пыли показали, что около 75% всего выделяющегося количества пыли будет перетекать на нижние этажи и осаждаться на поверхности технологического оборудования, пола, а около 25% - витать в воздухе рабочей зоны помещения.

5. Определены теоретические зависимости скорости оседания частиц пыли на основании критериев Лященко Lu и Рейнольдса Re для каждого материала, применяемого в технологическом процессе. На основании теоретических расчетов следует, что перетекать на нижние технологические площадки будут только частицы щебня, цемента и песка с размером более 72 мкм, а частицы с размером до 71 мкм с будут витать в воздухе по всему объему помещения и частично уноситься восходящим потоком на верхние технологические площадки.

6. На основании экспериментальных аэродинамических исследований влияния организации воздухообмена на пылевую обстановку в рабочей зоне цеха можно сделать вывод, что наиболее оптимальной является максимальное значения расхода приточного воздуха, подаваемого на каждую технологическую площадку.

7. Предложены мероприятия по снижению запыленности воздуха рабочей зоны, которые позволили уменьшить значение концентраций пыли в воздушной среде помещения на 30%. Разработана методика оценки пылевого фактора по расчету концентрации пыли на рабочих местах, а также методика для определения воздушного баланса помещения по пыли в бетоносмесительном отделении.

8. Рекомендации внедрены и использованы на ОАО «Промстройконструкция» в бетоносмесительном отделении по снижению запыленности воздуха рабочей зоны бетоносмесительного отделения при реконструкции системы подачи сыпучих материалов; а также по расчету концентрации мелкодисперсной пыли (в том числе PM_{10} и $PM_{2,5}$) при разработке ПДВ.

В работе приведены практические **рекомендации** для оценки и возможности прогнозирования запыленности воздуха рабочей зоны помещений с многоуровневым расположением технологических площадок, а также для определения воздушного баланса помещения по пыли в бетоносмесительном отделении и для расчета систем вентиляции и аспирации в цехах данного типа с учетом перетекания частиц пыли в объеме цеха с одного технологического уровня на другой, на основании проведенных аэродинамических исследований состава пыли и выведенных коэф-

фициентов, дающих представление о движении пыли по всей высоте рассматриваемого цеха, кроме того в работе приведены рекомендации по снижению запыленности и приведению параметров воздушной среды помещения к требуемым.

Кроме того, **перспективы дальнейшей разработки темы** заключаются в применении методов расчета концентраций пыли в том числе и мелкодисперсной для цехов с многоярусным расположением технологических площадок не только в строительном производстве, но и на предприятиях нефтехимической промышленности, производств черной и цветной металлургии, а также в других отраслях, где присутствует перетекание пылевоздушных масс в большом незамкнутом объеме.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Работы, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях

1. Кораблина, Ю. В. Совершенствование методики расчета систем общеобменной вентиляции в цехах с многоярусными технологическими площадками [Текст] / Кораблина, Ю. В. [и др.] // Естественные и технические науки. – Москва: Изд-во Спутник +, 2012 Вып 1.-С. 393-397.
2. Кораблина, Ю. В. О распространении пыли в цехах с многоуровневым расположением рабочих зон [Электронный ресурс] / Ю. В. Кораблина [и др.] ; М-во образования и науки Рос. Федер., Волгогр. гос. арх.-строит. ун-т // Интернет-вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета; Сер. : Политематическая. – 2012. - Вып. 1 (20). - Режим доступа : www.vestnik.vgasu.ru.
3. Старцева, Ю. В. О пылевом загрязнении в бетоносмесительных отделениях заводов жби [Текст] / Ю. В. Старцева [и др.] // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. № 1 (13). С. 77-85.
4. Старцева, Ю. В. Движение воздушно пылевых потоков в бетоносмесительных отделениях производств железобетонных изделий [Текст] / Старцева,

Ю. В. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета; Сер.: Строительство и архитектура. - 2017. - Вып. 50 (69). - С. 153-167. - Библиогр.: с. 166 (21 назв.)

Патент на полезную модель

5. Пат. РФ № 2416651. Установка для улавливания и очистки газовых выбросов от технологического оборудования [Текст] / Теличенко В. И. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ООО "Проектно-технологическое бюро проектно-строительного объединения Волгоградгражданстрой". - № 2009132227/02 ; заявл. 26.08.09 ; опубл. 20.04.11, Бюл. № 11.
6. Пат. РФ № 128657. Испытательная модель промышленного цеха [Текст] / Азаров В. Н. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ООО "Проектно-технологическое бюро Волгоградгражданстрой". - № 2012121649/03 ; заявл. 25.05.12 ; опубл. 27.05.13.
- 7 Пат. РФ № 144460. Система аспирации [Текст] / Сергина Н. М. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ООО "Проектно-технологическое бюро Волгоградгражданстрой". –№ 2013106749/05 ; заявл.. 18.02.13 ; опубл. 17.07.14, Бюл. № 23.

Отраслевые издания и материалы конференций

8. Кораблина, Ю. В. О воздействии пыли на здоровье работников на предприятиях по производству строительных материалов [Текст] / Кораблина, Ю. В. [и др.] // Сборник научных трудов SWorld. По материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2011». Т. 5. Технические науки – Одесса: Черноморье С. 3-4.
9. Кораблина, Ю. В. Раскручиватель потока очищенного газа для аппаратов взп в системах аспирации и пневмоуборки [Текст] / Кораблина, Ю. В. [и др.] // Сборник научных трудов SWorld. По материалам международной

- научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2011». Т. 29. Искусствоведение, архитектура и строительство – Одесса: Черноморье. С. 66-68
- 10 Кораблина, Ю. В. О вредных факторах условий труда на предприятиях по производству строительных материалов [Текст] / Кораблина, Ю. В. [и др.] // Проблемы охраны производственной и окружающей среды : сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов. - Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2012. - Вып. 4. - С. 77-81.
- 11 Старцева, Ю. В. Об анализе технологического процесса как источника пылевыведения в бетоносмесительном отделении на предприятиях по производству железобетонных изделий [Текст] / Старцева, Ю. В. [и др.] // Проблемы охраны производственной и окружающей среды : сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов. - Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2013. - Вып. 5. - С. 104-107.

СТАРЦЕВА ЮЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕВОГО ФАКТОРА ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙ-
СТВИЯ НА РАБОТНИКОВ В БЕТОНОСМЕСИТЕЛЬНОМ ОТДЕЛЕНИИ
ПРОИЗВОДСТВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

05.26.01 Охрана труда (строительство)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Подписано в печать «19» декабря 2017 г. Заказ № 32 Тираж 100 экз. Печ. л. 1,0
Формат 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать плоская.

Институт архитектуры и строительства
Волгоградский государственный технический университет
Институт архитектуры и строительства
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
Отдел оперативной полиграфии