

На правах рукописи

**РГБ ОД**

**Пастухова Лилия Германовна**

2010000000

**Повышение экологической безопасности  
технологий свинцово-плавильного производства**

Специальность: 11.00.11 – Охрана окружающей среды и рациональное  
использование природных ресурсов

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург 2000

Работа выполнена на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции Уральского государственного технического университета.

Научный руководитель: кандидат технических наук,  
профессор Шумилов Р.Н.

Официальные оппоненты: доктор химических наук,  
профессор Никифоров А.Ф.  
кандидат технических наук,  
доцент Килин П.И.

Ведущая организация: Екатеринбургский институт  
охраны труда ФНПР.

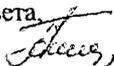
Защита состоится « 22 » июня 2000 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 063.35.02 по присуждению ученой степени кандидата технических наук по специальности 11.00.11 при Уральской государственной лесотехнической академии адресу Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, ауд. 1-401.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим присылать по адресу 620032, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, в диссертационный совет Д 063.35.02.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральской государственной лесотехнической академии.

Автореферат разослан « 10 » мая 2000 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



Никulina Г.В.

КЗ42.4-639,0

## Общая характеристика работы

**Актуальность проблемы.** Загрязнение атмосферы свинцом, обусловленное работой промышленных предприятий, составляет 24% от загрязнения антропогенными источниками, которое превышает естественное поступление свинца в атмосферу в 1,8 раза. В районе завода, выплавляющего свинец, содержание его в атмосферном воздухе в  $10^3 \dots 10^8$  раз превышает естественный фон. К вторичным эффектам процессов переноса свинцовых загрязнений из атмосферного воздуха можно отнести накопление его снежным покровом, почвой, водоемами. Ущерб от этого больше, чем первичное загрязнение атмосферы. Свинец – яд, действующий на все живое, вызывающий изменения во всех органах и системах человеческого тела. Свинец способен накапливаться в организме. Вдыхание свинцовой пыли является наиболее простым путем поступления свинца в организм человека. Поэтому проблема снижения выбросов свинцового производства в атмосферу представляется актуальной.

Получают свинец пирометаллургическим способом: черновой свинец путем шахтной или кивплетной плавки, особо чистый – рафинированием. При производстве свинца происходит загрязнение воздушной среды производственных помещений и атмосферы преимущественно соединениями свинца, что создает неблагоприятные условия труда и ведет к загрязнению атмосферы. К мероприятиям, направленным на улучшение состояния воздушной среды, относятся совершенствование технологии с целью сокращения выделения вредных веществ, вентиляция, а также мероприятия, сокращающие выбросы загрязнителей в атмосферу. Результаты обследования цехов свинцового производства свидетельствуют о недостаточной эффективности применяемых способов вентиляции. Загрязненный воздух выбрасывается через фонари без очистки, что способствует поступлению свинца в приземный слой атмосферы промышленных территорий и ограничивает использование наружного воздуха. Переход к механической вентиляции требует затрат на вентиляционное оборудование, обработку приточного и очистку удаляемого воздуха. Снижение затрат может быть достигнуто за счет минимизации объемов вентиляционных выбросов, сокращения затрат на очистку выбрасываемого воздуха, экономии производственных площадей. При этом возможно повышение экологической безопасности свинцового производства. Особую актуальность приобретают вопросы более детального учета всех источников выделения свинца и особенностей распространения его в воздушной среде помещений и в атмосфере.

В настоящее время отсутствуют данные о выделении свинца при его производстве на разных стадиях технологического процесса. Ввиду токсичности свинца предельно допустимая концентрация составляет  $0,01 \text{ мг/м}^3$ , и выделение его в воздух в количестве всего  $1 \text{ мг/с}$  требует для разбавления не менее  $360 \text{ 000 м}^3/\text{ч}$  свежего воздуха. Поэтому оценка интенсивности выделения свинца является весьма актуальной. Также недостаточно изучены и требуют дополни-

тельных исследований вопросы распространения загрязнений в воздухе помещений и атмосферы.

Исследования проводились по заданию института Казгипроцветмет для технико-экономического обоснования реконструкции вентиляции плавильного и рафинировочного цехов в связи с переводом свинцового завода Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината (УКСЦК) на автогенную технологию в соответствии с х/д НИР №19-88 от 02 ноября 1988 г. «Разработка решений по вентиляции плавильного цеха УКСЦК к ТЭО перевода свинцового завода на автогенную технологию» и х/д НИР №27д от 28 мая 1991 г. «Санитарно-гигиеническая оценка условий труда, исследования и разработка решений по вентиляции цеха рафинирования свинцового завода УК СЦК».

Проект НИР по рассматриваемой проблеме в 2000 г. включен на конкурсной основе в программу «Научные исследования высшей школы по экологии и рациональному природопользованию».

**Цель и задачи исследований.** Целью диссертационной работы явилось повышение экологической безопасности свинцового производства путем совершенствования методов организации технологического процесса и вентиляции.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

- изучение и совершенствование организации технологического процесса;
- разработка методов прогнозирования загрязнения воздуха свинцом;
- снижение загрязнения окружающей среды путем совершенствования вентиляции;
- разработка рекомендаций по повышению экологической безопасности свинцового производства.

**Объект исследования:** воздушная среда помещений плавильных и рафинировочных производств, а также приземный слой атмосферы промышленной зоны и жилой застройки.

**Предмет исследования:** процессы теплообмена на границе свинцового расплава и воздуха; процессы переноса свинец содержащих примесей в воздушной среде помещений; процессы рассеивания выбросов свинцовой пыли в атмосферном воздухе.

**Методы исследований.** Решение поставленных задач потребовало проведения экспериментальных исследований в производственных и лабораторных условиях с применением методов физического и математического моделирования.

**Научная новизна.** На основании положений кинетической теории газов получена зависимость для определения коэффициента диффузии паров металлов в азот с учетом температуры, молекулярной массы металла и размеров его молекул. Получены новые данные об интенсивности испарения свинца на разных стадиях технологического процесса получения и рафинирования свинца.

Разработана математическая модель остывания поверхности расплавов при их транспортировке в ковшах различной емкости, позволившая определить динамику испарения свинца с поверхностей расплавов с учетом нестационарных условий теплообмена.

**Научные положения, выносимые на защиту.**

1. Определение интенсивности поступления свинца от оборудования.
2. Определение концентраций свинца в воздушной среде помещений.
3. Определение экологического и экономического ущерба от загрязнения окружающей среды свинцом.
4. Рекомендации по повышению экологической безопасности свинцового производства.

**Достоверность** полученной аналитической зависимости для определения коэффициента диффузии металла в азот подтверждается хорошей сходимостью расчетных значений с опубликованными экспериментальными данными. Достоверность определения интенсивности выделения свинца от оборудования подтверждается совпадением результатов натуральных исследований концентраций свинца в воздухе помещений, проведенных как с участием автора, так и другими исследователями, с концентрациями, полученными в результате реализации математической модели воздухообмена.

**Основные научные и практические результаты, полученные лично автором.**

- На основании положений кинетической теории газов получена зависимость для определения коэффициента диффузии паров металлов в азот с учетом температуры, молекулярной массы металла и размеров его молекул.
- Разработана математическая модель остывания поверхности расплавов при их транспортировке в ковшах различной емкости, позволившая определить динамику испарения свинца с поверхностей расплавов с учетом нестационарных условий теплообмена.
- С использованием метода аналогии процессов тепло- и массообмена получены новые данные об интенсивности испарения свинца на разных стадиях технологического процесса его получения. На основе натуральных исследований получены данные об интенсивности загрязнения воздушной среды свинцом при его рафинировании.
- Количественно и качественно обоснована экологическая опасность свинцового производства, определены валовые поступления свинца в окружающую среду, что позволило определить экономический ущерб от загрязнения окружающей среды.
- Результаты исследований включены в ТЭО реконструкции плавильного цеха УКСЦК в связи с переходом на автогенную технологию. Разработан технологический регламент реконструкции вентиляции рафинировочного цеха УКСЦК, а также рекомендации по повышению экологической безопасности свинцового производства.

**Практическая ценность.** Предложена методика определения коэффициента диффузии паров металла с учетом температуры и его молекулярных характеристик. Разработаны предложения по изменению технологического регламента и рекомендаций по расчету и организации воздухообмена. Разработаны методы повышения экологической безопасности свинцового производства, позволяющие обеспечить нормируемые параметры внутреннего воздуха производственных помещений и предотвратить выбросы неочищенного воздуха плавильных и рафинировочных цехов через фонарь, содержащие соответственно 1,14 и 3,3 т свинца в год, формировавшие прирост концентраций свинца в приземном слое атмосферы до 0,12 мг/м<sup>3</sup>. Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых решений составит 3,234 млн. руб., предотвращенный ущерб - 6,804 млн. руб./год.

**Внедрение результатов исследований.** Результаты работы использованы институтом Казгипрцветмет в ТЭО реконструкции свинцового завода УК СЦК. Основные положения рекомендаций включены в "Санитарные правила для производства и применения свинца", разрабатываемые НИИ гигиены и профзаболеваний МЗ Казахстана. Результаты исследований внедрены и используются институтами Казгипроцветмет (г. Усть-Каменогорск), ЦНИПП (г. Березовский Свердловской обл.), НИИ охраны труда ВЦСПС (Санкт-Петербург), НИИ морской гигиены (Санкт-Петербург), заводом свинцовых аккумуляторов г. С.-Петербурга, включены в учебное пособие проф., к.т.н. Р.Н.Шумилова.

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались на межрегиональной конференции в г. Челябинске в 1990 г., на научно-практических конференциях УПИ в 1988, 1989, 1997 гг., на IV и V съездах Ассоциации инженеров по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизики (АВОК) в г. Москве в 1995 г. и 1996 г., на международных конференциях «Научно-практические аспекты управления качеством воздуха» - «Воздух-95» и «Воздух-98» в г. Санкт-Петербурге в 1995 г. и 1998 г., на региональной научно-практической конференции "Актуальные проблемы эколого-географического изучения Урала для целей оптимизации природопользования и регионализации образования" в г. Екатеринбурге в 1997 г., на научно-технических совещаниях при главном инженере Казгипроцветмет в 1990 и 1991 гг., совещаниях при директоре свинцового завода УК СЦК в 1990 и 1991 гг. Результаты работы представлялись на выставку НТО Стройиндустрии 1989 г., где была присуждена Первая премия, а также на всероссийский конкурс на лучшую научную работу студентов по разделу "Охрана труда" и были отмечены почетной грамотой.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, из которых 9 общим объемом 3,17 п.л. раскрывают основное ее содержание.

**Структура и объем работы.** Диссертация содержит 117 стр. текста, в том числе 21 таблицу, иллюстрирована 30 рисунками и состоит из введения, 5-ти

глав, заключения, 6-ти приложений на 30 стр. Список использованных литературных источников включает 115 наименований.

### Основное содержание работы

Производство свинца осуществляется в две стадии: получение черного свинца и последующее его рафинирование. Черновой свинец получают в плавильных цехах путем шахтной плавки свинцового агломерата либо путем автогенной плавки свинцовых концентратов в аппаратах КИВЦЭТ-ЦС.

Технологический процесс плавления свинца сопровождается выделением значительных объемов отходящих газов плавильных агрегатов. Для улавливания вредных веществ от узлов переливов расплавов используются вентилируемые укрытия, поворотные и стационарные зонты, бортовые отсосы и др. Вентиляционные выбросы и отходящие газы плавильных агрегатов подвергаются очистке и выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу. Однако основной воздухообмен в цехе осуществляется за счет аэрации через открытые ворота, оконные проемы и светоаэрационные фонари. При этом состояние атмосферы промышленной территории и воздушной среды производственных помещений не отвечает требованиям норм.

Рафинирование черного свинца – многостадийный, полностью открытый процесс, заключающийся в отстое расплавов и механическом удалении с помощью кранов всплывших шлаков и пен. При этом происходит интенсивное загрязнение производственной среды свинцовой пылью. Вентиляция рафинировочных цехов осуществляется путем аэрации, что приводит к интенсивному загрязнению приземного слоя промышленной площадки вредными веществами, выбрасываемыми через фонари.

Разработке теоретических основ вентиляции помещений с теплогазовыделениями и проблемам охраны атмосферы посвящены работы С.Е. Бутакова, В.М. Эльтермана, В.Н. Талиева, М.И. Гримитлина, Г.М. Позина, Р.Н. Шумилова, Ю.И. Толстовой, В.А. Четкова, Л.К. Энгелья, В.М. Рудмана и др.

Для прогнозирования загрязнения окружающей среды требуются данные об интенсивности выделения вредных веществ от оборудования. Зачастую технологический регламент не содержит подобных сведений, и проблема подготовки исходных данных для определения воздухообмена приобретает особую актуальность.

Температуры расплавов в плавильном цехе варьируют в пределах 800...1350 °С, а в рафинировочном 330...800 °С, что выше температуры плавления свинца 327,5 °С. Литературные данные о парциальном давлении свинца свидетельствуют о его летучести. Основным механизмом загрязнения воздуха свинцом является его испарение с поверхности расплавов. Для разработки методики расчета испарения свинца с поверхности расплава используем метод аналогии процессов массо- и теплопереноса. Массоперенос на границе двух фаз выразим через скорость переноса массы и разность концентраций

$$G = v_D \cdot S \cdot (c_S - c_0), \quad (1)$$

где  $G$  – интенсивность испарения, кг/с;  $v_D$  – скорость переноса массы, м/с;  $S$  – площадь поверхности расплава, занимаемая атомами свинца, м<sup>2</sup>;  $c_S$  – концентрация насыщенных паров свинца у поверхности расплава, кг/м<sup>3</sup>;  $c_0$  – концентрация паров свинца в окружающем воздухе, кг/м<sup>3</sup>.

Из аналогии процессов тепло- и массопереноса следует, что

$$v_D = v_S \cdot (D/a_S)^n, \quad (2)$$

где  $v_S$  – скорость переноса тепла, определенная по условиям на поверхности расплава, м/с;  $D$  – коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;  $a_S$  – коэффициент температуропроводности воздуха при температуре расплава, м<sup>2</sup>/с;  $n$  – показатель степени по критериальному уравнению теплообмена.

Концентрация насыщенных паров у поверхности расплава находится из уравнения газового состояния

$$c_S = \frac{\mu_{CB}}{\mu_B} \cdot \frac{P_{CB}}{B - P_{CB}} \cdot \rho_S, \quad (3)$$

где  $P_{CB}$  – парциальное давление насыщенных паров свинца над поверхностью расплава чистого свинца, Па;  $B$  – барометрическое давление, Па;  $\rho_S$  – плотность воздуха при температуре расплава, кг/м<sup>3</sup>.

Использование приведенной методики расчета предполагает знание коэффициента диффузии и парциального давления паров свинца. На основе кинетической теории газов была получена зависимость для определения коэффициента диффузии паров свинца в воздух.

$$D_{1-N_2} = a \cdot \frac{T^{3/2}}{\sqrt{\mu}(r_1 + b)^2}. \quad (4)$$

где  $a$ ,  $b$  – константы:  $a = 8,27 \cdot 10^{-29}$ ,  $b = 1,098 \cdot 10^{-10}$ ;  $r_1$  – радиус молекулы вещества паров, м.

Как видно из (4), коэффициент диффузии испаряющихся в воздух веществ зависит от температуры, молекулярной массы и радиуса молекул вещества паров. Коэффициенты диффузии в м<sup>2</sup>/с по (4) в сопоставлении с литературными данными (в скобках): натрий при  $T = 526,5 \text{ К} - 7,52 \cdot 10^{-5}$  ( $6,8 \cdot 10^{-5}$ ); калий при  $T = 723 \text{ К} - 7,2 \cdot 10^{-5}$  ( $10,3 \cdot 10^{-5}$ ); ртуть при  $T = 614 \text{ К} - 4,16 \cdot 10^{-5}$  ( $4,73 \cdot 10^{-5}$ ). Коэффициент диффузии паров свинца в воздух

$$D_{Pb-N_2} = 2,24 \cdot 10^{-9} T^{3/2}. \quad (5)$$

Предлагаемая методика позволяет определить интенсивности испарения свинца.

Разработана математическая модель остывания расплава в ковше, в основе которой лежит решение, полученное для температуры поверхности остывающего шара, дополненное учетом лучистого теплообмена. Данная математическая модель была реализована в расчете остывания расплавов шлака, штейна, свинца в ковшах различной емкости (рис.1). Полученные результаты подтвер-

ждают необходимость учета нестационарности при расчете количества испаряющегося свинца и позволяют определить динамику его испарения из ковшей (рис.2).

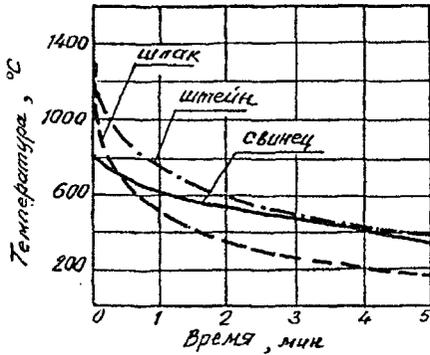


Рис. 1. Остывание поверхности расплава в ковшах объемом 4 м<sup>3</sup> (шлак), 3,2 м<sup>3</sup> (штейн) и 1,6 м<sup>3</sup> (свинец).

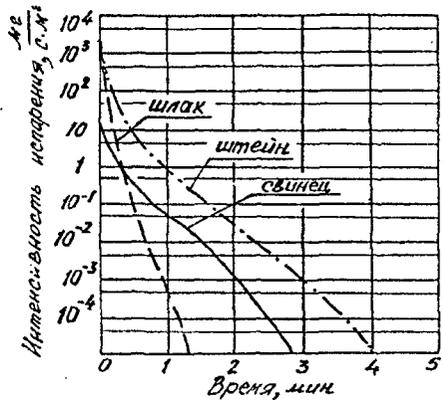


Рис. 2. Динамика испарения свинца с 1 м<sup>2</sup> поверхности расплавов.

Закономерности выделения свинца с поверхности расплава позволяют сделать вывод, что происходит быстрое остывание и снижение количества поступающего в воздух свинца. Выдержка ковшей под укрытием после заполнения способствуют уменьшению загрязнения воздушной среды.

С целью определения общего количества свинца, поступающего в плавильный цех, был проведен хронометраж транспортных потоков ковшей с расплавами между плавильными агрегатами. Рассчитано общее количество поступающего в воздух свинца для двух вариантов организации технологического процесса: с выдержкой ковшей под укрытием системы местной вытяжной вентиляции в течение 1 мин. и без выдержки. Выявлена возможность снижения выделений свинца с 36 до 1 мг/с.

Рафинирование ведется при сравнительно невысоких температурах, когда испарение не играет существенной роли в загрязнении воздушной среды. В то же время концентрации свинца в воздухе рафинировочного цеха значительно превышают ПДК. Для определения количественных характеристик загрязнения воздушной среды цеха рафинирования автором были выполнены натурные обследования. Выявлено, что интенсивным пылеобразованием сопровождается процесс механического разрушения шлаковых корок расплава в котлах. Перенос пыли свинца от рафинировочных котлов происходит конвективными потоками. Поступления свинца и пыли оценивались по разности концентраций в конвективном потоке и вне его и расходу воздуха в конвективном потоке (Таблица). Установлено, что общее количество свинца, выделяющегося в рафинировочном цехе, составляет 100 мг/с.

Полученные данные о количестве аэрозолей свинца, поступающих в пла-

вильный и рафинировочный цехи от оборудования, позволяют прогнозировать загрязнение воздушной среды помещения и атмосферы. С этой целью разработана методика расчета распределения концентраций по объему помещения.

**Выделение свинца по стадиям процесса рафинирования**

Наименование технологической операции	Максимальная температура расплава, °C	Выделения свинца от одного котла, мг/с
Набор свинца	800	23,3
Обезмеживание:	500...600	1,3...10,0
I щелочное рафинирование	600	4,8
Обессеребривание:	330...540	1,3...12,5
Обестеллурирование:	380	0,5...5,0
Обезвисмучивание:	380	0,7...6,5
II щелочное рафинирование:	380...550	0,4...16,0

В основу данной методики положен метод, использующий приближенные математические модели тепловоздушных процессов в помещениях. Эти модели представляют собой системы уравнений тепловых и материальных балансов для характерных объемов и поверхностей, на которые делятся помещения. Расчетная схема циркуляции воздушных потоков в **плавильном цехе** (рис.3) разработана в соответствии с данными натурных наблюдений. При транспортировке ковшей в верхнюю зону цеха поступают пары свинца и ассимилируются воздухом конвективного потока над укрытием технологического оборудования. Конвективный поток, имеющий на уровне покрытия цеха расход  $M_{\text{к}}$ , опускается вниз, где смешивается с воздухом, отсоединяющимся от приточных струй. В результате образуется смесь с концентрацией  $c_{\text{ср}}$ , которая идет на подпитку приточных струй и конвективного потока.

Минимальное количество воздуха, необходимое для разбавления свинца до ПДК определяется необходимостью компенсации приточным воздухом удаляемого местной вытяжной вентиляцией воздуха. Для компенсации удаляемого воздуха  $\sum M_{\text{выт}}$  в рабочую зону подается приточный воздух в количестве  $M_{\text{пр}} = \sum M_{\text{выт}}$  с концентрацией  $c_{\text{пр}}$ . На выходе из рабочей зоны расход в приточной струе составит  $M_{\text{пр}} + \Delta M_{\text{пр}}$ . Выделим в качестве характерных объемы рабочей зоны цеха, циркуляционного потока над оборудованием и помещения в целом и запишем для этих объемов уравнения газозвдушного баланса:

рабочая зона

$$\rho_{\text{пр}}^{-1} c_{\text{пр}} M_{\text{пр}} + \rho_{\text{ср}}^{-1} c_{\text{ср}} \Delta M_{\text{пр}} + \rho_{\text{ср}}^{-1} c_{\text{ср}} M_{\text{к}} = \rho_{\text{рз}}^{-1} c_{\text{рз}} (M_{\text{пр}} + \Delta M_{\text{пр}} + M_{\text{к}}), \quad (6)$$

циркуляционный поток

$$\rho_{\text{ц}}^{-1} c_{\text{ц}} M_{\text{ц}} + \rho_{\text{рз}}^{-1} c_{\text{рз}} \Delta M_{\text{пр}} = \rho_{\text{ср}}^{-1} c_{\text{ср}} (M_{\text{ц}} + \Delta M_{\text{пр}}), \quad (7)$$

объем помещения

$$\rho_{\text{пр}}^{-1} c_{\text{пр}} M_{\text{пр}} + G = \rho_{\text{лх}}^{-1} c_{\text{лх}} M_{\text{пр}}. \quad (8)$$

Решение системы уравнений позволяет определить концентрации свинца в

воздухе рабочих зон. Если полученное значение  $C_{P3}$  превышает ПДК в рабочей зоне, необходимо увеличивать воздухообмен. Однако это потребует устройства дополнительных вентиляционных систем и оборудования, что связано с капитальными затратами и с энергозатратами на подготовку (нагревание), транспортировку и очистку дополнительного количества воздуха.

Другим способом уменьшения загрязнения воздушной среды цехов является совершенствование технологии. Так, реализация предложения по отстою ковшей с расплавами под вентиляционным укрытием не менее 1 мин. позволяет снизить поступление аэрозолей свинца в воздух плавильного цеха с 36 мг/с до 1 мг/с. При этом предельно допустимые концентрации в рабочих зонах цеха обеспечиваются без дополнительного количества чистого воздуха для разбавления вредных веществ до ПДК.

Однако в **рафинировочном цехе** снизить количество свинца, поступающего в воздушную среду, за счет отстоя не удастся, так как здесь причиной загрязнения воздушной среды являются конвективные потоки над котлами, выносящие пыль свинца при операциях перемешивания расплавов, удаления шлаковых корок с помощью кранов и др. Решая систему уравнений (6) – (8) для условий рафинировочного цеха при заданных значениях концентраций в рабочей зоне, определяли количество воздуха для разбавления поступившего свинца до ПДК. При этом установлено, что если количество удаляемого воздуха будет равно расходу в конвективных потоках на уровне покрытия 660 кг/ч, то нормируемые концентрации свинца будут достигнуты при любом значении интенсивности загрязнения воздуха свинцом.

Необходимость подачи больших объемов воздуха связана с проблемой его распределения без нарушения сложившейся в помещении циркуляции при соблюдении нормируемой подвижности воздуха рабочей зоны. Выбор способа подачи воздуха осуществлялся на основании данных физического моделирования. Целью исследований на физической модели было получение качественной картины циркуляции воздушных потоков при различных схемах распре-

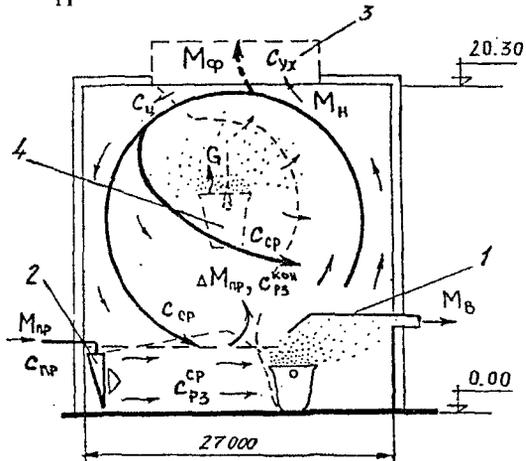


Рис. 3. Обобщенная схема циркуляции воздушных потоков в плавильном цехе: 1 - укрытие оборудования с местным отсосом; 2 - воздухораспределитель; 3 - общеобменная вытяжка; 4 - транспортирующий ковш; - - - - границы рабочих зон и конвективных потоков.

ления воздуха в рафинировочном отделении, а также выбор оптимального варианта воздухораспределения, при котором не происходит сдува конвективных струй над котлами.

Для этого использовали метод визуализации воздушных течений, основанный на изменении коэффициента преломления светового луча в воздухе разной плотности. Исследования проводили на теневом приборе ИАБ-451, оптическая система которого позволяет вести непосредственное наблюдение при проектировании изображения на экран, а также фотосъемку процессов. Модель рафинировочного отделения была изготовлена в масштабе 1:200 (рис. 4). В соответствии с принципами приближенного моделирования выполнялись условия подобию теплопотерь и тепловыделений.

Нагреватели, имитирующие котлы, были сконструированы из электроламп необходимого диаметра и мощности. Для измерения расхода приточного воздуха применяли ротаметры и камеру давления с коллектором. Подача воздуха производилась от аспираторов А-422, позволяющих регулировать расход в необходимых пределах.

Модель помещалась в пространственную рамку с плоскопараллельными оптическими стеклами. Визуальные наблюдения и фотографирование производили при установившемся тепловом режиме после прогрева модели. В результате выполненных исследований уточнена схема воздухораспределения и определены максимальные объемы подаваемого воздуха в рабочую и в верхнюю зоны (рис. 5).

Для определения экологического ущерба от загрязнения окружающей среды выбросами через фанари плавильного и рафинировочного цехов свинцового производства в количестве соответственно 36 и 100 мг/с сделан расчет рас-

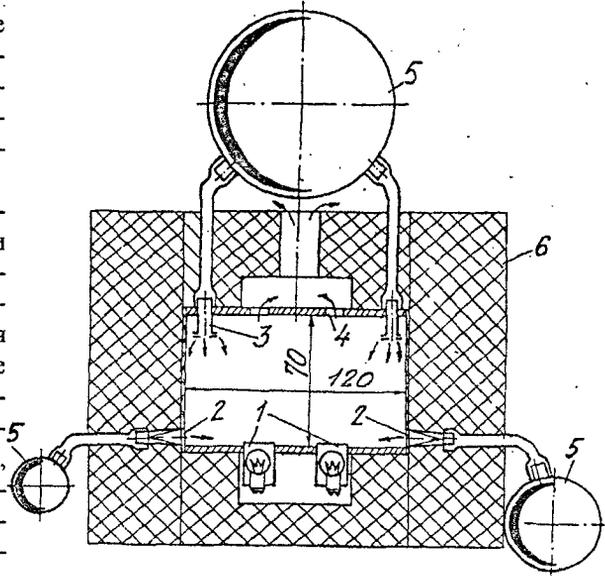


Рис. 4. Схема экспериментальной установки. 1 - электронагреватели; 2 - воздухораспределители панельного типа; 3 - воздухораспределители для подачи воздуха в верхнюю зону; 4 - вытяжной проем; 5 - коллекторы приточного воздуха; 6 - тепловая изоляция.

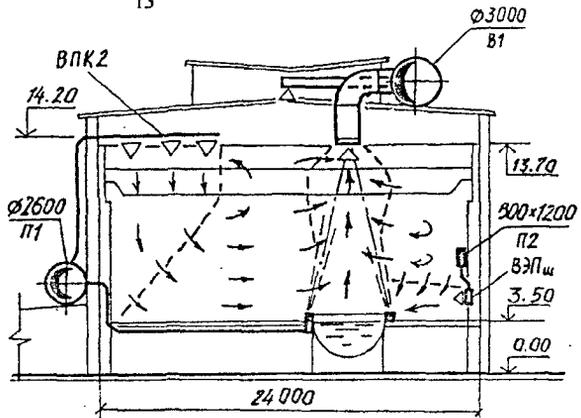


Рис. 5. Схема циркуляции воздушных потоков в рафинировочном цехе: 1 — рафинировочный котел; 2 — приточная система; 3 — воздухораспределители; 4 — вытяжная система; 5 — управляющие струны.

сеивания выбросов в атмосферном воздухе с учетом влияния застройки и определены концентрации свинца в приземном слое атмосферы. Результаты расчетов показали, что максимальный суммарный прирост концентрации свинца, формируемый за счет выбросов из аэрационных фанарей плавильного и рафинировочного цехов, составляет  $0,12 \text{ мг/м}^3$ , что в 40 раз превышает норму. Прирост концентрации свинца в приземном слое атмосферы в наиболее удаленных точках промышленной территории от рассматриваемых источников выбросов, при неблагоприятном направлении ветра составляет  $0,035 \text{ мг/м}^3$ , что превышает предельно-допустимое значение для промышленных территорий почти в 12 раз. Это обстоятельство исключает использование воздуха территории предприятия в качестве приточного для вентиляции цехов без предварительной очистки.

Прирост концентрации свинца в атмосферном воздухе по мере удаления от источника загрязнения снижается крайне медленно. Так, на границе жилой зоны оба рассматриваемых цеха формируют прирост концентрации  $0,003 \text{ мг/м}^3$ , а в центре населенного пункта —  $0,0004 \text{ мг/м}^3$ . Это выше допустимых значений соответственно в 11 и 1,3 раза. Достижение предельно допустимого значения прироста концентрации свинца для населенного пункта происходит только на расстоянии 5 км от источника выброса. При этом следует иметь в виду, что такая загрязненность, составляющая 100% от допустимого уровня ( $0,0003 \text{ мг/м}^3$ ), не учитывает вклад других источников выделения свинца. Отсюда можно заключить, что использование аэрации как способа вентиляции цехов свинцово-плавильного производства недопустимо по условиям рассеивания выбросов.

В результате загрязнения атмосферного воздуха при производстве свинца происходит загрязнение почв и водоемов. Это связано с выпадением аэрозоль свинца в почву, а затем, с дождевыми стоками в открытые водоемы. По нашим оценкам только за счет выбросов плавильного и рафинировочного цехов в водоемы и почву поступает до 4,5 т свинца в год.

Выбросы неочищенного воздуха плавильного и рафинировочного цеха наносят экономический ущерб. Величина совокупного ущерба от загрязнения атмосферы и вторичного загрязнения водоемов составляет 2,198 млн. руб/год для

плавильного и 5,068 млн. руб./год для рафинировочного в текущих ценах. Сумма ущерба взимается с предприятий в виде платы за выбросы с целью финансирования программ, направленных на восстановление природных ресурсов и совершенствование технологии.

Выполненные исследования позволили предложить мероприятия, направленные на повышение экологической безопасности свинцового производства. К ним относятся исключение выбросов неочищенного воздуха через фонари, снижение объемов удаляемого воздуха, выдержка ковшей с расплавами перед их транспортировкой, позволяющая снизить поток загрязнения воздуха свинцом с 36 до 1 мг/с.

Полученные результаты включены в технико-экономическое обоснование реконструкции свинцового завода УК СЦК в связи с переходом на автогенную технологию. На основе проведенных исследований разработан технологический регламент проектирования реконструкции вентиляции цеха рафинирования свинца УК СЦК. Разработанные рекомендации переданы в НИИ гигиены и профзаболеваний МЗ Казахстана для включения в «Санитарные правила для производства и применения свинца».

Результаты выполненных исследований были реализованы в рекомендациях по повышению экологической безопасности свинцового производства и переданы в Казгипроцветмет в виде технологического регламента реконструкции вентиляции цеха рафинирования, а также в виде материалов для включения в «Санитарные правила для производства и применения свинца».

**Экологический эффект** от предлагаемых мероприятий заключается в предотвращении выбросов через аэрационный фонарь плавильного цеха, составлявший 36 мг/с (1,14 т/год). Замена аэрационного фонаря в рафинировочном цехе системой вытяжной вентиляции с последующей очисткой позволяет устранить выброс свинца в количестве 100 мг/с (3,3 т/год). В результате этого снижается загрязнение приземного слоя атмосферы промплощадки и зоны жилой застройки.

Разработанные решения позволяют снизить экономической ущерб от загрязнения окружающей среды с 7,266 до 0,462 млн. руб./год и получить **экономической эффект** в размере 3,234 млн. руб./год в текущих ценах.

### **Основные выводы**

1. Производство свинца сопровождается интенсивным загрязнением окружающей среды. В результате обследования плавильного и рафинировочного цехов установлены количественные характеристики и динамика загрязнения воздушной среды свинцом на разных стадиях технологического процесса. Установлено, что применяемые способы снижения загрязнения воздуха с помощью местной и естественной вентиляции не обеспечивают нормируемых параметров воздушной среды.
2. На основе кинетической теории газов и аналогии процессов теплообмена разработана методика расчета коэффициента диффузии свинца в воз-

- дух и раскрыты закономерности испарения свинца с поверхности расплавов. Установлена существенная зависимость интенсивности испарения от температуры.
3. Разработанная математическая модель движения воздушных потоков, позволяющая прогнозировать распределение концентраций свинца в объеме помещения. Для плавильного цеха обоснована возможность минимизации расхода воздуха на вентиляцию за счет снижения поступления свинца при выдержке ковшей под вентилируемыми укрытиями. Для рафинировочного цеха определено количество приточного воздуха, необходимого для разбавления загрязнений до ПДК.
  4. Расчетом рассеивания выбросов аэрозолей свинца установлено, что аэрационные фонари плавильного и рафинировочного цеха являются источниками загрязнения окружающей среды. Так, максимальный прирост концентрации свинца, наблюдаемый на промышленной территории предприятия, составляет  $0,12 \text{ мг/м}^3$ , что выше допустимого значения в 40 раз. Прирост концентрации на прилегающей территории населенного пункта может достигать  $0,0033 \text{ мг/м}^3$ , что выше нормы в 11 раз.
  5. Выявлено, что загрязнение атмосферного воздуха свинцом приводит также к вторичному загрязнению водоемов и почв. Так в результате выпадения осадков в водоемы и почвы только за счет выбросов плавильного и рафинировочного цехов поступает до 4,5 т свинца в год.
  6. Предложены мероприятия, направленные на повышение экологической безопасности свинцового производства: выдержка ковшей с расплавами перед их транспортировкой, позволяющая снизить поток загрязнения воздуха свинцом с 36 до 1 мг/с; исключение выбросов неочищенного воздуха через фонари; снижение объемов удаляемого воздуха. Разработанные решения позволяют снизить ущерб от загрязнения окружающей среды в 15,7 раза и получить экономической эффект в размере 3,234 млн. руб./год в текущих ценах.
  7. Результаты работы использованы институтом Казгипрцветмет в ТЭО реконструкции свинцового завода УК СЦК и включены в "Санитарные правила для производства и применения свинца". Проект НИР по рассматриваемой проблеме в 2000 г. включен на конкурсной основе в программу «Научные исследования высшей школы по экологии и рациональному природопользованию».

### **Список основных публикаций по теме диссертации**

1. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Пастухова Л.Г. Методика расчета испарения свинца с поверхности расплава. Деп. в ЦВЕТМЕТ - ИНФОРМАЦИЯ, №1922-90 // Деп. науч. раб., №10, 1990. 0,5 п.л.
2. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Пастухова Л.Г. Математическое моделирование вентиляции цехов с источником тепла и газа (статья) // Экология,

- энергосбережение, экономика: Межвуз. сб. Пермь: АВОК, 1994. С. 93-99. 0,5 п.л.
3. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Пастухова Л.Г. Новые данные по расчету загрязнения внутреннего воздуха при производстве свинца // Научно-практические аспекты управления качеством воздуха: Тез. докл. Междунар. конф. «ВОЗДУХ-95». С.-Пб., 1995. С. 227. 0,05 п.л.
  4. Пастухова Л.Г., Толстова Ю.И. Повышение экологической безопасности свинцового производства // Материалы 4 съезда АВОК: М.: АВОК, 1995. С.181-186. 0,3 п.л.
  5. Толстова Ю.И., Пастухова Л.Г. Расчет коэффициента диффузии при испарении веществ на основе кинетической теории газов // Материалы 5 съезда АВОК. М.: АВОК, 1996. С. 181-185. 0,4 п.л.
  6. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Пастухова Л.Г. Снижение загрязнения атмосферы выбросами свинцового производства // Достижения в теории и практике теплогасоснабжения, вентиляции, кондиц. воздуха и охраны воздушного бассейна: Междунар. конференция: С.-Пб.: СПбГАСУ, 1997. С. 118-124. 0,16 п.л.
  7. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Пастухова Л.Г. Загрязнение окружающей среды выбросами свинцового производства // Эколого-водохозяйственный вестник. Екатеринбург: Свердлов. отд. Экологич. академии, 1998. С. 124-131. 0,96 п.л.
  8. Пастухова Л.Г., Толстова Ю.И. Снижение экономического ущерба от загрязнения атмосферы при производстве свинца // Строительство и образование: Сб. науч. трудов. Екатеринбург: УГТУ, 1998. С.122-126. 0,25 п.л.
  9. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Пастухова Л.Г. Уменьшение потребления воздуха для вентиляции цехов свинцового производства // Научно-технические проблемы рационального потребления воздуха: Междунар. конф. «Воздух-98». С.-Пб., 1998. С. 176-178. 0,05 п.л.

### Условные обозначения

$\mu$  – молекулярная масса, кг/моль;  $T$  – температура, К;  $c$  – концентрация свинца в воздухе, мг/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $M$  – расход воздуха, кг/с;  $G$  – количество аэрозолей свинца, мг/с.

### Индексы

в – воздуха; выг – вытяжных систем; к – конвективного потока; пр – приточного воздуха; рз – воздуха рабочей зоны; св – свинца; ср – среднее; ух – уходящего воздуха; ц – циркуляционного воздуха; Н – воздуха на уровне покрытия.

