

СОБОЛЕВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УБОРКИ ОСЕВШЕЙ ПЫЛИ  
В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ  
С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА**

05.26.01 – охрана труда (металлургия)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2007

Работа выполнена кафедре «Механика и инженерная защита окружающей среды» Тольяттинского государственного университета

Научный руководитель:

д.т.н., профессор

Васильев А.В.

Официальные оппоненты:

д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ,  
президент МАНЭБ Русак О.Н.

к.т.н., доцент

Воронцов В.И.

Ведущая организация:

ОАО «АВТОВАЗ», г. Тольятти

Защита диссертации состоится «17» мая 2007 г. в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д.212.132.04 в Государственном технологическом университете (МИСиС) по адресу: 117936, г. Москва, Крымский вал, д. 3, ауд. К131.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного Технологического университета (МИСиС).

Автореферат разослан

«\_\_» марта 2007г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета:

к.т.н., профессор В.А. Муравьев.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа посвящена совершенствованию методов уборки просыпей формовочной смеси и осевшей пыли в помещениях литейного производства с целью улучшения условий труда.

### **Актуальность темы**

В помещениях литейных производств в рабочую зону поступают значительные выделения вредных веществ (пыли, газов, избыточной влаги, теплоты и др.), что оказывает отрицательное воздействие на здоровье работающих, а также на срок службы оборудования и качество выпускаемой продукции.

Основными источниками образования просыпей формовочной смеси в литейном производстве являются нарушения технологической эксплуатации, некачественного и несвоевременного ремонта оборудования, а также операции связанные с переработкой, транспортировкой, погрузкой и разгрузкой формовочной смеси. К просыпи добавляется пыль, оседающая из рабочей зоны, которая образуется в результате многих причин: несовершенства оборудования и технологии производства, отсутствия герметизации и аспирации источников пылевыведений, механизации и автоматизации трудоемких операций и применение сухих высокодисперсных материалов.

Вторичными источниками пылеобразования и выделения пыли в воздух рабочей зоны являются вибрация, движение воздуха, технологический транспорт, уборка просыпей формовочной смеси лопатами, очистка воздуховодов, оборудования, полов и т. п. вручную щетками, метлами или путем обдувки сжатым воздухом.

Пыль присутствует во взвешенном состоянии в помещениях литейного производства, оседает на пол, стены, металлоконструкции и т.п., неблагоприятно влияет на организм человека.

Пыль проникает в поры потовых и сальных желез, попадает на слизистые оболочки полости рта, глаз, верхних дыхательных путей, заглатывается в пищеварительный тракт, а мелкодисперсная пыль попадает в более глубокие участки органов дыхания (включая легкие), вызывая профессиональные заболевания, легочную и кожную патологию.

Таким образом, необходимо совершенствование системы уборки (сбора) просыпи формовочной смеси и осевшей пыли для подачи на регенерацию во вторичное использование с целью улучшения условий труда в производственных помещениях литейных предприятий является актуальной проблемой.

В крупных производственных помещениях наиболее целесообразно применять стационарные вакуумные пылеуборочные системы. Они имеют

большую производительность, надежность и удобство в эксплуатации, не требуют большого количества обслуживающего персонала и позволяют значительно уменьшить или полностью устранить вторичное пылеобразование.

Однако, недостаточно изучен процесс уборки просыпи и осевшей пыли вакуумным способом, нет типовых конструкторских и проектных разработок.

#### **Цель работы и задачи исследования**

Целью работы является совершенствование методов уборки (сбора) просыпи формовочной смеси и осевшей пыли в помещениях литейного производства для подачи на регенерацию во вторичное использование с целью улучшения условий труда.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать состояние запыленности, свойств пыли, влияние производственной пыли на здоровье персонала и методы уборки просыпи формовочной смеси и осевшей пыли на примере литейного производства ОАО «АВТОВАЗ»;
2. Исследовать отрыв и унос частиц пыли с запыленной поверхности и движение частиц пыли на разгонном участке;
3. Провести экспериментальные исследования аэродинамических характеристик частиц пыли и просыпи на примере сметы металлургического производства ОАО «АВТОВАЗ»;
4. Провести исследования скорости воздушного потока всасывающего факела в щель заборного устройства;
5. Определить оптимальные конструктивные параметры разработанных заборных устройств;
6. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработать и внедрить централизованную вакуумную пылеуборочную систему в МтП ОАО «АВТОВАЗ».

#### **Объект исследования**

Объектом исследования являются состояние условий труда и снижение запыленности на примере литейного производства ОАО «АВТОВАЗ».

#### **Научная новизна**

Впервые исследованы и определены аэродинамические характеристики частиц пыли и просыпи металлургического производства, параметры процесса отрыва и уноса частиц на разгонном участке, предложен метод расчета скорости всасывающего факела, установлены оптимальные параметры разработанных пылезаборных устройств и вакуумной пылеуборочной системы.

Новизна разработанных конструкций защищена шестью патентами РФ (№2190342 от 17.08.2001, №23434 от 27.11.2001, №27899 от 22.08.2002, №2260366 от 20.01.2003, №47639 от 20.10.2003, №51351 от 14.09.2005).

### **Практическое значение работы**

Разработаны, испытаны и внедрены оборудование и технология централизованной вакуумной уборки пыли, позволяющие уменьшить запыленность в литейном производстве ОАО «АВТОВАЗ». Запыленность в цехах снижена в среднем в 12,5раз, а при самой уборке пыли снижена на 92,1%. Заболеваемость кожных покровов снижена на 37,5%, легких и верхних дыхательных путей снижена на 76,2%. Разработано несколько типов пылезаборных устройств и пылеуловителей. Организовано штучное производство нестандартного пылеуборочного оборудования. Нароботан опыт эксплуатации стационарных вакуумных установок. Разработаны рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации вакуумной пылеуборочной системы. Выполнен расчет экономической эффективности за 2005 год от внедрения пяти эксплуатируемых вакуумных установок в литейном производстве МтП ОАО «АВТОВАЗ». Экономический эффект составил 4483,0 тыс. руб.

### **На защиту выносятся:**

- Способ снижения запыленности рабочих мест в помещении литейного производства с целью улучшения условий труда;
- Метод расчета скорости воздушного потока всасывающего факела;
- Аэродинамические характеристики, скорость витания, критическая скорость и сдувание пыли на примере частиц пыли и просыпи металлургического производства ОАО «АВТОВАЗ»;
- Параметры процесса отрыва и уноса частиц пыли воздушным потоком с запыленной поверхности;
- Конструкции и оптимальные параметры новых разработанных пылезаборных устройств и вакуумной пылеуборочной системы.

### **Апробация работы**

Результаты работы были представлены на:

I международной научно-технической конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ЕЛРПТ-2003», г.Тольятти, сентябрь 2003 г., VIII международной экологической конференции «Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития», г.Москва, апрель 2004 г., IV городской научно-практической конференции «Экологические проблемы Тольятти в контексте экологической безопасности России», г.Тольятти, ноябрь 2004 г., II международной научно-технической конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ЕЛРПТ-2005», г.Тольятти, сентябрь 2005 г., научных чтениях студентов и аспирантов Тольяттинского государственного университета, заседаниях научно-технического совета и

кафедры «Механика и инженерная защита окружающей среды» Тольяттинского государственного университета, кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Государственного технологического университета (МИСиС).

### Публикации

По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, из которых 5 статьи в центральных изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки, и 6 патентов РФ.

### Объем и структура диссертации

Работа изложена на 187 страницах, содержит 33 рисунка, 10 таблиц и 7 приложений. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка использованной литературы, который содержит 152 наименования.

### Содержание работы

**Во введении** дается обоснование актуальности темы работы, излагаются цель и задачи работы.

**В первой главе** описан процесс возникновения просыпей формовочной смеси и пыли в условиях литейного производства. Рассмотрены вопросы воздействия пыли на здоровье работающих на примере металлургического производства ОАО «АВТОВАЗ». Проанализированы мероприятия по снижению запыленности в литейных цехах, проведен литературный анализ методов уборки просыпей формовочной смеси и осевшей пыли, выполнен обзор и сделан анализ пневматической уборки пыли, определены достоинства и недостатки каждого из типов пневматической уборки. Существующие устройства уборки пыли недостаточно эффективны. Рассмотрен централизованный вакуумный способ, который может обеспечить уборку значительного количества

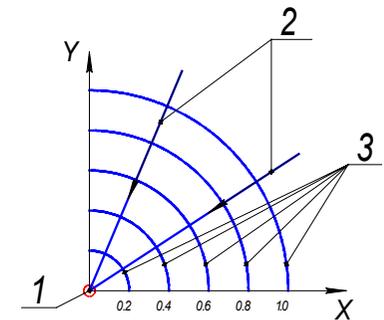


Рис. 1. Схема поверхностей с одинаковыми скоростями. 1 - сечение щели; 2 - струйки воздуха поступающего из пространства; 3 - поверхность с одинаковыми скоростями.

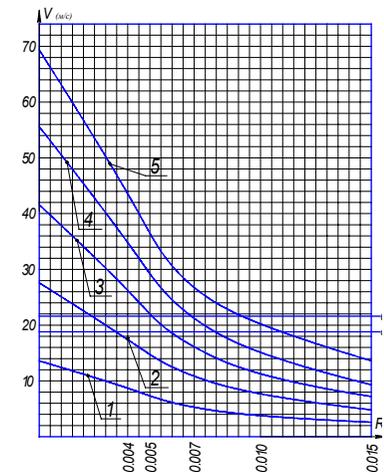


Рис. 2. График зависимости скорости воздушного потока аэродинамического факела от расстояния до щели насадки. 1 -  $100\text{ м}^3/\text{ч}$ ; 2 -  $200\text{ м}^3/\text{ч}$ ; 3 -  $300\text{ м}^3/\text{ч}$ ; 4 -  $400\text{ м}^3/\text{ч}$ ; 5 -  $500\text{ м}^3/\text{ч}$ .

пыли в крупных промышленных помещениях, а также технические проблемы, связанные с осуществлением этого способа. Выполнен анализ работы пылезаборных насадок. На основании проведенных исследований сформулированы цель и задачи диссертации.

**Во второй главе** приведены результаты теоретических исследований основных параметров процесса и оборудования вакуумных систем для уборки осевшей пыли и просыпи. Теоретические исследования заключались в определении аэродинамических свойств частиц, к которым относятся скорость витания и скорость трогания (критическая скорость), аэродинамические характеристики всасывающего факела, силы действующие на частицу в воздушном потоке, которыми являются сила веса, лобовая сила, силы адгезии, подъемная сила и сила трения, движение частиц на разгонном участке, отрыв частиц от поверхности и затраты энергии и потери давления на разгонном участке.

Автором представлена методика определения численного значения скоростей витания частиц расчетным и графическим путями. Дано понятие критической скорости, которое имеет два значения  $U_{кр1}$  и  $U_{кр2}$ . При значении скорости  $U_{кр1}$  частица скользит или перекачивается по поверхности, т.е. явление переноса. При значении скорости  $U_{кр2}$  частица отрывается и уносится от поверхности, т.е. явление уноса.

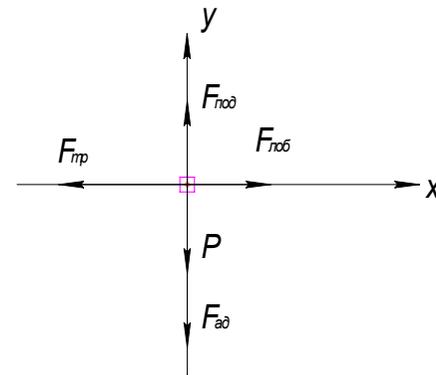
Приведены аэродинамические характеристики всасывающего факела пылезаборной насадки. Для определения скорости воздушного потока сделано допущение, что проходящий воздушный поток через насадку ограничен в пространстве обеспыливаемой поверхностью и верхней стенкой щели насадки и составляет  $\frac{1}{4}$  поверхности цилиндра. На рис. 1. помещена схема поверхностей с одинаковыми скоростями в пространстве. Количество отсасываемого воздуха через щель насадки определено по следующей формуле:

$$V = \frac{2\pi R l v}{4} = \frac{\pi R l v}{2} \quad (1)$$

Из уравнения (1) следует:  $v = \frac{2V}{\pi l R} \quad (2)$

На рис. 2. представлен график зависимости скорости воздушного потока всасывающего факела от расстояния до щели насадки длиной  $L=0,5м.$ , шириной равной  $0,004м.$  и расходом воздуха –  $100м^3/ч;$   $200м^3/ч;$   $300м^3/ч;$   $400м^3/ч;$   $500м^3/ч.$

Впервые проведены аналитические и экспериментальные исследования движения и отрыва твердых частиц, неподвижно лежащих на поверхности, под действием воздушного потока на разгонном участке, где движение происходит ускоренно и впоследствии может достигнуть постоянной скорости.



На неподвижную частицу в воздушном потоке действует сила веса, лобовая сила, сила трения, подъемная сила и сила адгезии в момент отрыва.

$$F = P + F_{\text{лоб}} + F_{\text{тр}} + F_{\text{под}} + F_{\text{ад}} \quad (3) \quad \text{Рис. 3. Силы, действующие на частицу}$$

Схема действия сил приведена на рис. 3.

Проекция на оси прямоугольной системы координат равнодействующей силы  $F$  имеет вид:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = F_x; \quad m \frac{d^2y}{dt^2} = F_y \quad (4)$$

Под действием силы  $F_x$  частицы будут двигаться в горизонтальном направлении, а под действием силы  $F_y$  в вертикальной плоскости, тогда:

$$F_x = F_{\text{лоб}} - F_{\text{тр}} = F_{\text{лоб}} - k(F_{\text{ад}} + P) \quad (5)$$

$$F_y = F_{\text{под}} - F_{\text{ад}} - P \quad (6)$$

Подставив в уравнение (5) и (6) выражения сил, получим систему уравнений, описывающих движение частицы на разгонном участке.

$$\begin{cases} \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 \frac{d^2x}{dt^2} = c s \rho_2 \frac{(\bar{u})^2}{2} - k \left( \frac{h \omega r}{8 \pi^2 \rho_1 z_0^2} + \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 q \right) \\ \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 \frac{d^2y}{dt^2} = \rho_2 \frac{\pi r^3 - d \bar{u}}{2} \frac{d \bar{u}}{dy} - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 q - \frac{h \omega r}{8 \pi z_0^2} \end{cases} \quad (7)$$

Решив систему уравнений (7), получим:

$$\begin{cases} x = \left[ \frac{3 c \rho_2 (\bar{u})^2}{8 r \rho_1} - k \left( \frac{3 h \omega}{32 \pi^2 r^2 \rho_1 z_0^2} + q \right) \right] \frac{t^2}{2} \\ y = \left( \frac{3 \rho_2 - d \bar{u}}{8 \rho_1} \frac{d \bar{u}}{dy} - q - \frac{3 h \omega}{32 \pi^2 r^2 \rho_1 z_0^2} \right) \frac{t^2}{2} \end{cases} \quad (8)$$

Таким образом, впервые получена система уравнений (8), которая описывает движение частицы на разгонном участке.

На графиках (рис. 4 и рис. 5) представлены расстояния переноса частицы воздушным потоком относительно горизонтальной и вертикальной оси в зависимости от времени движения.

Преобразовав систему уравнений (8), получим:

$$y = \left[ \frac{\frac{3 \rho_2 - d \bar{u}}{8 \rho_1} \frac{d \bar{u}}{dy} - q - \frac{3 h \omega}{32 \pi^2 r^2 \rho_1 z_0^2}}{\frac{3 \tilde{n} \rho_2 (\bar{u})^2}{8 \rho_1} - k \left( \frac{3 h \omega}{32 \pi^2 r^2 \rho_1 z_0^2} + q \right)} \right] \cdot x \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что путь частицы в вертикальном направлении под действием воздушного потока прямо пропорционально пути в горизонтальном направлении, т.е.  $y = f x$ . На рис. 6 приведен график зависимости подъема частицы от горизонтального пробега.

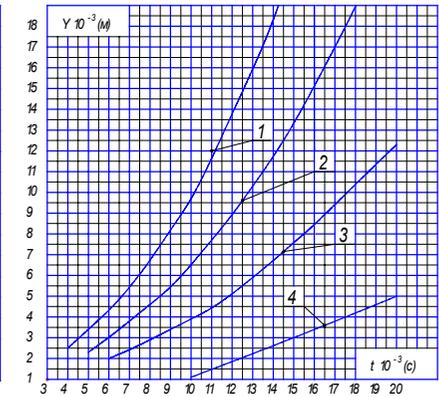
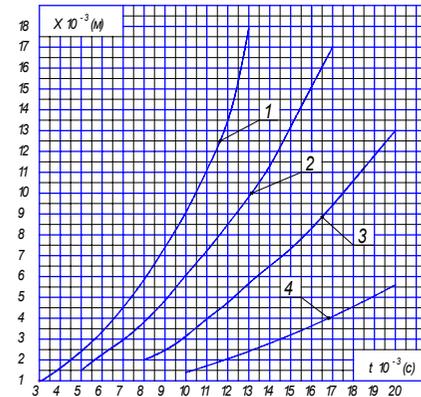


Рис. 4. График переноса частицы на ось  $X$  в зависимости от времени  
1 - 50 м/с; 2 - 40 м/с; 3 - 30 м/с; 4 - 20 м/с.

Рис. 5. График переноса частицы на ось  $Y$  в зависимости от времени  
1 - 50 м/с; 2 - 40 м/с; 3 - 30 м/с; 4 - 20 м/с.

Описано явление отрыва частиц с поверхности, которое происходит при скорости воздушного потока  $v_{в.п.} \geq U_{кр2}$  и начинается со скольжения и перекачивания при  $F_{под} \geq P$ . При  $F_{под} < P$  подъем частицы невозможен. При  $F_{под} = P + F_{ад}$  - предел отрыва частицы. При этом скорость воздушного потока является критической.

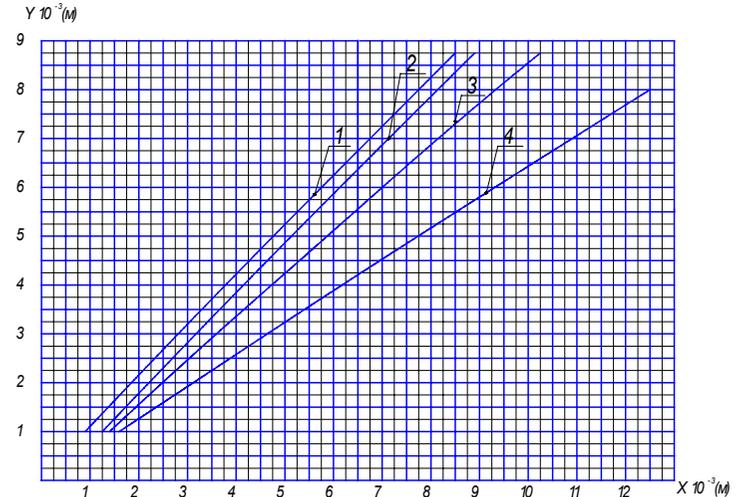


Рис. 6. График зависимости подъема частицы линейным размером 0,001 м. от горизонтального пробега на разгонном участке при скорости воздушного потока  $V_0$ : 1 - 50 м/с, 2 - 40 м/с, 3 - 30 м/с, 4 - 20 м/с.

Отрыв сыпучего материала от запыленной поверхности происходит следующим образом. Сначала отрываются верхние более крупные частицы, т.е.

преодолеваются силы аутогезии, потом отрываются мелкие частицы, т.е. преодолеваются силы адгезии слоя. Удаление верхних частиц возможно при  $F_{под} > F_{аут}$ . Аутогезионный процесс отрыва частиц называется эрозией. При  $F_{под} < F_{аут}$  происходит отрыв слоя по границе раздела поверхность – слой. В этом случае преодолеваются силы адгезии. Этот процесс называется денудацией.

Приведена формула для расчета затрат энергии воздушного потока на разгонном участке частицы:

$$E = \frac{\rho L v_k}{2} \quad (10)$$

**В третьей главе** представлена методика проведения экспериментальных исследований, цель которых заключалась в получении оптимальных параметров процесса и оборудования вакуумной уборки пыли с непроницаемой поверхности.

Результаты экспериментальных исследований заключались в проверки теоретических расчетных параметров процесса и оборудования. При выявлении оптимальных параметров процесса вакуумной уборки пыли определена скорость воздушного потока в зависимости от зернового состава исходного материала, состояния и вида запыленной поверхности.

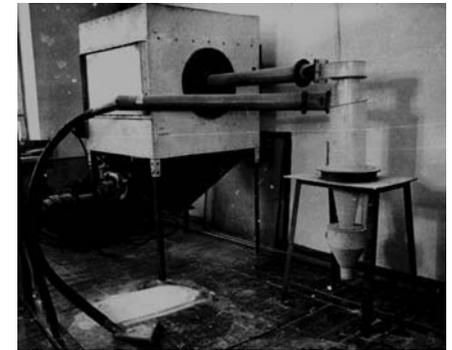


Рис. 7. Стационарный универсальный стенд.

Физико-механические свойства исходного материала, отобранного в цехах металлургического производства ОАО «АВТОВАЗ», определены путем испытания представительных проб. Отбор производился методом квартования: материал тщательно перемешивался, разделялся на четыре части и отбрасывались четвертинки, расположенные диаметрально противоположно. Процесс продолжается до получения количества материала, необходимого для проведения исследований.

Определение зернового состава материала производилось путем рассева просушенных проб весом в 1 кг. Рассев выполнялся на песчаных ситах по Гост 8735-58.

Влажность материала определялась путем взвешивания и просушивания проб согласно Гост 8735-58.

Для проведения исследований разработан и смонтирован специальный стационарный универсальный стенд со сменным оборудованием (рис. 7,8).

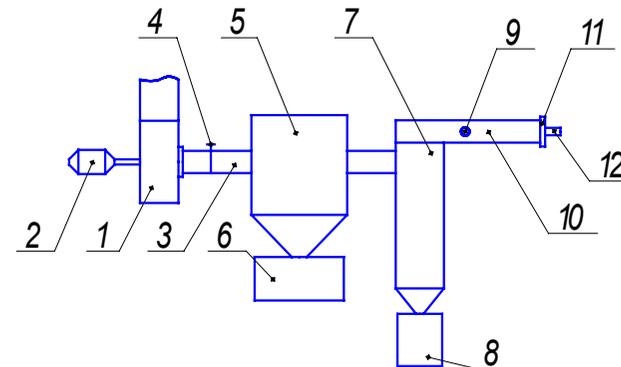


Рис. 8. Стационарный стенд

1 - вентилятор; 2 - электродвигатель; 3 - патрубок; 4 - дроссельная заслонка; 5 - матерчатый фильтр; 6, 8 - бункер; 7 - циклон; 9 - штуцер; 10 - воздуховод; 11 - клапан; 12 - штуцер.

При последующих исследованиях определены параметры воздушного потока. Скорость воздушного потока в данной точке рассчитывалась по динамическому давлению, которое определялось микроманометром типа ЦАГИ и пневматической трубкой типа Пито-Брандтля. Объем проходящего воздуха определялся по средней скорости воздушного потока и площади сечения. Скорость воздуха в точке воздуховода определялась по величине динамического давления по формуле:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot F \cdot k}{\gamma}}$$

Количество воздуха, протекающего через трубопровод, определялось по формуле:  $W = V \cdot S$ .

Найденное количество воздуха, проходящее через данное сечение воздуховода, относится к рабочим условиям, т.е. к данной температуре, давлению и влажосодержанию. Для расчета параметров процесса вакуумной уборки расход воздуха приводился к нормальным условиям (0°C и 760 мм. рт. ст.) и к нормальному сухому воздуху ( $W_0$ ).

При обработке результатов исследований использован метод математической статистики.

**В четвертой главе** представлены результаты исследований процесса вакуумной пылеуборки.

Приведены результаты исследований отложений пыли и просыпи в помещениях литейного производства, что составляет  $0,24 \div 0,96 \text{ кг/м}^2 \text{ сут}$ . Запыленность на рабочих местах превышала санитарные нормы в десятки и более раз. Одним из источников загрязнения воздушной среды рабочей зоны является несвоевременная уборка помещений, использование ручной уборки,

что порождало вторичное пыление. Приведен гранулометрический и химический состав смета в литейном производстве.

Описаны экспериментальные исследования, проведенные на разработанном стенде, скоростей витания, критической скорости и величины уноса сыпучего материала с поверхности воздушным потоком.

На рис. 9. представлен график процентного содержания частиц по скоростям витания в исходном материале.

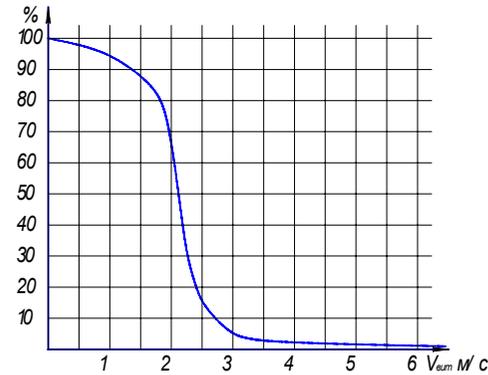


Рис. 9. Процентное содержание частиц со скоростями витания в исходном материале.

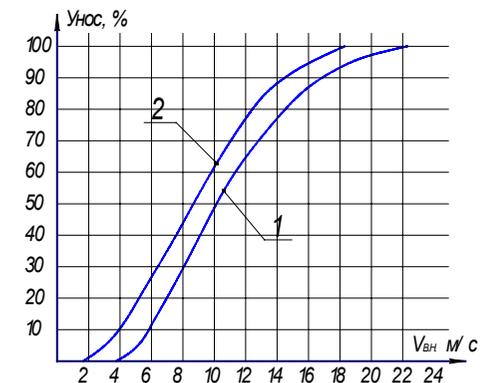


Рис. 10. Зависимость уноса частиц от скорости воздушного потока с 1 - бетонной поверхности; 2 - железной поверхности.

Результаты исследований показали, что критическая скорость  $U_{кр1}$  на железной поверхности составляет  $1,2 \div 3,5$  м/с, а на бетонной –  $3,5 \div 4,0$  м/с. Частицы полностью отрываются и уносятся ( $U_{кр2}$ ) при  $18,0 \div 18,3$  м/с с железной поверхности, а с бетонной –  $22,0 \div 22,2$  м/с.

На рис. 10. представлен график зависимости величины уноса частиц с поверхности от скорости воздушного потока.

Сравнивая зависимости скорости воздушного потока от расстояния до щели насадка (рис 2.) и необходимой скорости для полного уноса частиц (рис. 10) получим расстояния от щели насадки, где происходит унос частиц. На рис. 2 это показано горизонтальными прямыми “бетон”, “металл”. Результаты данных исследований приведены в прилагаемой таблице.

Таким образом, среднее отклонение экспериментальных исследований от теоретических составляют 15,5%, что является допустимым для исследовательских работ. Эти отклонения получены в результате погрешности приборов и человеческого фактора.

Приведены результаты исследований впервые разработанных пылеуборочных насадок. Предметом исследований являлись определения влияния конструктивных особенностей и линейных параметров на производительность уборки пыли с поверхности.

Расход воздуха, $m^3/c$ , $(m^3/ч)$	Скорость воздушно-го потока при входе в щель, $m/c$	Расстояние от щели до полного уноса частиц				Отклонения экспер-ных от теорет-ких исследований			
		Теор-кие исслед. $m \cdot 10^{-3}$		Эксп-ные исслед. $m \cdot 10^{-3}$		бетон		металл	
		бет.	мет.	бет.	мет.	$m \cdot 10^{-3}$	%	$m \cdot 10^{-3}$	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1/24 (200)	27,7	2,4	3,5	2,6	3,2	0,2	13,3	0,3	20,0
1/12 (300)	41,6	5,1	5,9	5,9	6,8	0,8	16,0	0,9	18,0
1/9 (400)	55,6	6,8	8,0	7,7	8,8	0,9	12,0	0,8	16,0
5/36 (500)	69,4	9,2	10,9	10,4	12,0	1,2	15,0	1,1	13,8

Данные исследования проведены на разработанном устройстве. На подложку насыпалась ровным слоем навеска пыли, которая убиралась при помощи заборной насадки с рукояткой. Насадка посредством клапана через шланги и штуцера соединялась со стационарным стендом рис. 8.

На рис. 11. приведена схема коллекторной насадки, которая состоит из трапециевидного корпуса 1, меньшее основание которого посредством патрубка 2 соединена с трубой-рукояткой 3, подключенной к системе отсоса, а большее основание выполнено с всасывающей щелью 4. На этой щели по периметру смонтирована трубка 5 со своей всасывающей щелью 6. При работе данной насадки воздушный поток, двигаясь с большой скоростью над слоем сыпучего материала, воздействует на него, срывает с поверхности и транспортирует во взвешенном состоянии в щель заборного устройства 6.

Исследования проведены в пределах выбранных значений факторов:  
 $x_1$  – высота щели (0,004 ÷ 0,006 м);  
 $x_2$  – ширина щели (0,3 ÷ 0,5 м);  
 $x_3$  – расход воздуха (100 ÷ 300 м<sup>3</sup>/ч).  
Составлена план-матрица эксперимента.  
Проведены три серии по 8 опытов.

Составлено уравнение линейной модели:  
 $y = 244,67 - 6,66x_1 + 22,83x_2 + 80,58x_3$ .

Анализ полученной модели коллекторной насадки показал, что на ее производительность наибольшее влияние оказывает расход воздуха 73,26%, что определяет его скорость при прохождении над пылью, в меньшей степени длина всасывающей щели 22,75% и уменьшает производительность ширина щели на 6,05%.

Проведены исследования аналогично, как для коллекторной насадки, заборного устройства с полкой, принципиальная схема которой показана на рис. 12.

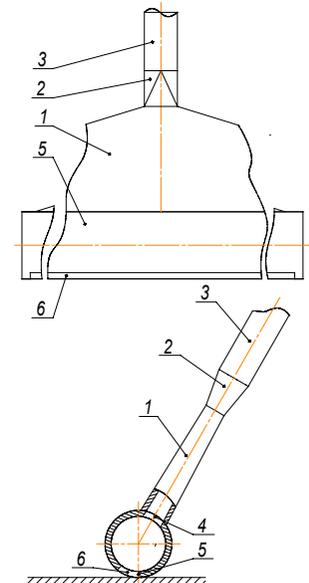


Рис. 11. Коллекторная насадка  
1 - трапециевидный корпус;  
2 - патрубок; 3 - труба-рукоятка;  
4 - всасывающая щель; 5 - трубка;  
6 - всасывающая щель.

Насадка состоит из трапециевидного патрубка 1, меньшее основание которого связано через рукоятку с системой отсоса 2, а большее основание примыкает к полке 3, имеющей поперечную щель 4 и ребра жесткости 5. Во входное отверстие между полкой и очищаемой поверхности поступает воздушный поток. При этом воздух, двигаясь под полкой 3 над слоем пыли, срывает ее с поверхности и транспортирует во взвешенном состоянии во всасывающую щель 4, а затем в систему отсоса.

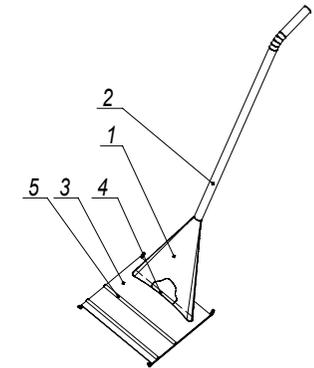


Рис. 12. Насадка с полкой  
1 - трапециевидный патрубок;  
2 - рукоятка с системой отсоса;  
3 - полка; 4 - поперечная щель;  
5 - ребра жесткости.

Исследования проведены в пределах выбранных значений факторов:

$x_1$  – ширина всасывающей щели ( $0,3 \div 0,5 м$ );

$x_2$  – длина полки ( $0,1 \div 0,3 м$ );

$x_3$  – высота полки ( $0,004 \div 0,006 м$ );

$x_4$  – расход воздуха ( $100 \div 300 м^3/ч$ ).

Полученное уравнение линейной модели имеет следующий вид:  
 $y = 231,29 + 15,29x_1 - 8,37x_2 + 2,87x_3 + 93,54x_4$ .

Анализ полученной модели насадки с полкой показал, что на ее производительность наибольшее влияние оказывает расход воздуха 77,88%, что определяет его скорость при прохождении над запыленной поверхностью, в меньшей степени ширина всасывающей щели, 12,74% еще меньше высота полки 2,41% и уменьшает производительность длина самой полки на 6,97%.

Эжекторная пылеуборочная насадка, предназначена для уборки пыли и просыпи из вороха (кучи), схема которой приведена на рис.13. Насадка содержит корпус 1 цилиндрической формы, на нижнем торце которого смонтирована ограничительная перегородка 2, выполненная в виде решетки, всасывающий патрубок 3, нижний торец которого отстоит от нижнего торца корпуса 1 на некотором регулируемом расстоянии, втулкой 4, через которую проходит всасывающий патрубок, который может перемещаться вверх-вниз, ребер жесткости 6, с помощью которых втулка 4 жестко закрепляется с внутренней стороны корпуса 1 насадки с использованием фиксатора 5.

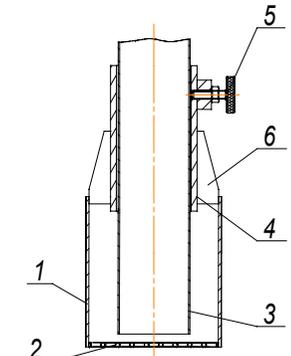


Рис. 13. Эжекторная насадка  
1 - корпус;  
2 - ограничительная перегородка;  
3 - всасывающий патрубок;  
4 - втулка; 5 - фиксатор;  
6 - ребра жесткости.

Цель исследования заключалась в выявлении производительности насадки от расхода воздуха.

Насадка имела следующие параметры: всасывающий патрубок диаметром 50 мм; диаметр корпуса - 90 мм; расстояние между перегородкой и патрубком регулировалось в пределах 7 ÷ 20 мм. При расходе воздуха 100 ÷ 300 м<sup>3</sup>/ч количество убираемой пыли из вороха – 230 ÷ 752 кг/ч.

Исследуемые насадки производительны, просты в изготовлении и эксплуатации.

Результаты исследований в производственных условиях показали, что скорость движения заборного устройства лежит в пределах 0,1 ÷ 0,2 м/с при уборке пыли и зависит в основном от физических возможностей уборщика-оператора, от состояния и вида поверхности и от количества и физико-химического состава пыли.

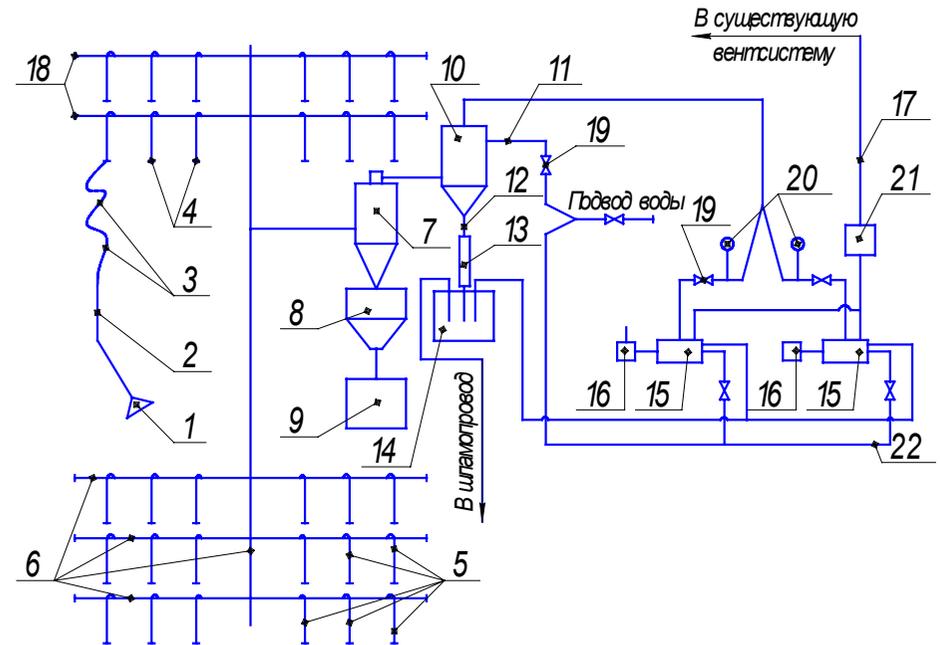


Рис. 14. Схема вакуумной пылеуборочной системы.

1 - насадка; 2 - рукоятка; 3 - рукав; 4 - присоединительный штуцер; 5 - опуски; 6 - трубопровод; 7 - сухой пылеуловитель; 8 - бункер; 9 - контейнер; 10 - мокрый пылеуловитель; 11 - патрубок воды; 12 - разгрузочный патрубок; 13 - стабилизирующая камера; 14 - емкость; 15 - вакуум-насос; 16 - электродвигатель; 17 - патрубок; 18 - заглушка; 19 - вентиль; 20 - манометр; 21 - влагоуловитель; 22 - выброс воды из насосов; 23 - магистральный трубопровод.

Натурные исследования промышленной пылеуборочной вакуумной системы проведены в цехе 11/1 на отметке 7,2 м.

Техническая характеристика системы, приведенной на рис. 14:

- Мощность 75 ÷ 150 кВт;
- Масса 14000 кг;
- Габариты 9000х8000х5000 мм;
- Общая площадь уборки 10000 ÷ 30000 м<sup>2</sup>;
- Количество пыли и просыпи подлежащей уборке – до 6 тонн/сутки;
- Производительность установки по убираемой площади одной насадкой – 250-300 м<sup>2</sup>/час;
- Одновременно могут работать до 10 насадок;
- Производительность по воздуху 1500 ÷ 3000 м<sup>3</sup>/час.

Система включает в себя:

- Рабочий инструмент (насадки, рукоятки и шланги);
- Систему трубопроводов, включая тройники, опуски, фланцы для чистки и штуцера;
- Пылеуловители (сухой со специальным бункером и мокрый со стабилизирующей камерой);
- Побудитель тяги.

Получены следующие результаты исследований: Уборка продолжалась 3 часа. За первый час убрано 297 м<sup>2</sup>, за второй – 260 м<sup>2</sup>, за третий – 308 м<sup>2</sup>. В среднем производительность составляет 288 м<sup>2</sup>/ч. На лабораторном стенде, при такой же скорости воздушного потока на входе в насадку, производительность составила 328 м<sup>2</sup>/ч. Погрешность составила 12,2%. Эта погрешность получилась за счет того, что не были учтены физические возможности уборщика.

**В пятой главе** даны рекомендации:

- по расчету стационарной вакуумной пылеуборочной системы предназначенной для уборки пыли и просыпи с поверхности полов, стен, потолка, металлоконструкций, оборудования, трубопроводов и т.д. в помещениях литейного производства машиностроительных предприятий. Разработанные рекомендации по расчету основаны на результатах лабораторных и натурных исследованиях, опыта эксплуатации стационарной вакуумной пылеуборочной системы в металлургическом производстве ОАО «АВТОВАЗ». Расчет вакуумной пылеуборочной системы включает определение производительности по приведенной площади уборки, количеству убираемой пыли, необходимого количества воздуха, числа одновременно работающих насадок, гидравлического сопротивления системы.
- по проектированию стационарной вакуумной пылеуборочной системы, включающие выбор насадки в зависимости от состояния убираемой поверхности, штуцера, трубопроводов, пылеуловителя и побудителя тяги. Рекомендованная разработанная система пылеулавливания, результаты

исследования которой показали высокую эффективность, которая составляет 98,8-99,9%.

- по эксплуатации стационарной пылеуборочной системы, предназначенной для уборки пыли и просыпи в литейном производстве.

Выполнен расчет экономического эффекта от внедрения пяти стационарных вакуумных пылеуборочных систем в металлургическом производстве ОАО «АВТОВАЗ» за 2005 год.

Экономия от внедрения складывается из следующих факторов:

- снижение платежей за загрязнение окружающей среды;
- рост производительности труда уборщиков, занятых на уборке пыли и просыпи;
- снижение уровня заболеваемости рабочих в цехе;
- снижение текущих затрат;
- сокращение между сменными простоями оборудования;
- устранение части социального материального и производственного ущерба, наносимого предприятию пылевым фактором;
- увеличения качества выпускаемой продукции;
- возврат отходов (пыли и просыпи) в производство;
- увеличение срока службы оборудования, механизмов и строительных конструкций.

Экономический эффект составил: 4483,0 тыс. руб.

## Общие выводы

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Проанализировано возникновение пыли и просыпи в литейном производстве, влияние производственной пыли на здоровье персонала на примере литейного производства ОАО «АВТОВАЗ» и мероприятия по снижению запыленности. Показано, что уборка и утилизация просыпи формовочной смеси и осевшей пыли в помещениях литейного производства является актуальной проблемой. Проанализированы способы уборки осевшей пыли и показано, что наиболее эффективным методом уборки значительного количества просыпи и осевшей пыли являются стационарные вакуумные пылеуборочные системы, которые не нашли широкого распространения из-за отсутствия разработанных высокоэффективных пылеуборочных систем и оборудования, в частности пылеуборочных насадок и пылеуловителей. От конструкции насадки зависят аэродинамические характеристики всасывающего факела, качество и производительность уборки пыли вакуумным способом. Выполнен анализ коллекторных, полочных, эжекторных и комбинированных насадок. Показано, что существующие пылеуборочные насадки громоздки, имеют низкую эффективность и производительность. Разработка пылезаборных насадок и пылеуловителей для вакуумной уборки просыпи и осевшей пыли является актуальной проблемой.

2. Проведены теоретические исследования аэродинамических свойств частиц, скоростей витания и критической скорости и величины уноса воздушным потоком. Получены зависимости скорости воздушного потока всасывающего факела от расстояния до щели заборного устройства. Приведены данные перемещения и отрыва частиц под действием воздушного потока. Составлено и решено уравнение движения частицы на разгонном участке. Построен график движения частицы в зависимости от скорости воздушного потока в горизонтальной и вертикальной плоскостях в зависимости от времени.

3. Разработана методика проведения экспериментальных исследований. Разработан и смонтирован стенд для проведения исследований. Методика отбора представительных проб и определение физико-механических свойств пыли, параметров воздушного потока и методика обработки результатов исследований методом математической статистики.

- Экспериментальные исследования на разработанном стенде показали, что в исходном материале 95% частиц имеют скорость витания менее 3 м/с. Критическая скорость  $U_{кр1}$  с железной поверхности составляет  $1,2 \div 3,5$  м/с, а с бетонной –  $3,5 \div 4,0$  м/с. Частицы полностью уносятся с железной поверхности при скорости воздушного потока  $18,0 \div 18,3$  м/с, а с бетонной –  $22,0 \div 22,2$  м/с.
- Составлено уравнение линейной модели разработанной коллекторной и полочной насадки, результаты исследований коллекторной насадки показали, что на производительность наибольшее влияние оказывает расход воздуха 73,26%, что определяет скорость воздушного потока при прохождении над

пылью, в меньшей степени длина всасывающей щели 22,75% и уменьшает производительность ширина щели на 6,05%, а насадки с полкой – влияние расхода воздуха 77,88%, ширины всасывающей щели 12,74%, высоты полки 2,41% и уменьшает производительность длина самой полки на 6,97%.

- Результаты исследования разработанной эжекторной насадки показали, что при скорости воздушного потока во всасывающей щели –  $14,1 \div 42,3 \text{ м/с}$  количество убранного материала из вороха составляет  $230 \div 752 \text{ кг/ч}$ .

**4.** Исследованы некоторые вопросы процесса вакуумной пылеуборки. Приведены результаты отбора представительной пробы исходного материала для исследований. Определены физико-механические свойства пылеотложений. Приведены данные запыленности в помещения литейного производства ОАО «АВТОВАЗ». Получены скорости витания, критическая скорость и величины уноса частиц на экспериментальном стенде. Приведены данные экспериментальных исследований коллекторных, полочных и эжекторных разработанных насадок. При этом составлено уравнение линейной модели для коллекторных и полочных насадок, полученных методом математической статистики. Приведены результаты исследований эжекторной насадки. Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что среднее расхождение результатов составляет 15,5%. Эти отклонения получены в результате неточности приборов и измерений. Приведены натурные исследования вакуумной пылеуборочной системы в цехе 11/1 на отметке 7,2м, результаты которых показали, что производительность в среднем составляет –  $288 \text{ м}^3/\text{час}$  при расходе воздуха на одну насадку не более  $300 \text{ м}^3/\text{час}$ .

**5.** Разработаны рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации вакуумной пылеуборочной системы. Выполнен расчет экономической эффективности за 2005 год от внедрения 5 вакуумных установок в литейном производстве МтП ОАО «АВТОВАЗ», который составил 4483,0 тыс. руб.

**6.** После внедрения централизованной вакуумной уборки пыли и просыпи в литейном производстве на ОАО «АВТОВАЗ» запыленность в цехах снижена в среднем в 12,5раз, а при самой уборке пыли снижена на 92,1%. Заболеваемость кожных покровов снижена на 37,5%, легких и верхних дыхательных путей снижена на 76,2%.

Цель работы и задачи исследования полностью выполнены. Новизна разработанных конструкций защищена шестью патентами РФ. Внедрено пять централизованных вакуумных систем в МтП ОАО «АВТОВАЗ».

Дальнейшие работы будут продолжены по разработке заборных устройств с неровных поверхностей, комбинированных насадок и новых пылеуловителей.

В перспективе работы будут проведены по разработке оборудования для уборки металлической и древесной стружки, отсоса и утилизации паров масла при закаливании, утилизации смета в металлургическом производстве, регенерации и классификации песков для формовочной смеси.

### Список публикаций

1. А.А. Соболев, А.В. Васильев. К вопросу о вакуумной уборке пыли // I Международная научно-технической конференция «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ELPIT 2003». – Тольятти, 2003, с.89-91.
  2. А.А. Соболев, А.В. Васильев. Проблемы воздействия и уборки пыли в условиях г. Тольятти // IV научно-практическая конференция «Экологические проблемы Тольятти в контексте экологической безопасности России». – Тольятти, 2004, с. 118-121.
  3. А.А. Соболев, В.А. Соболев, П.Г. Чечушкин. Установка для уборки пыли металлургическое производство АО «АВТОВАЗ» // IV научно-практическая конференция «Экологические проблемы Тольятти в контексте экологической безопасности России». – Тольятти, 2004, с. 122-123.
  4. А.А. Соболев. К вопросу об очистке воздуха в пылеуборочных установках // VIII-я Международная экологическая конференция «Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития». – М.: 2004, том 2, с. 220-221.
  5. А.А. Соболев, А.В. Васильев. Исследование некоторых параметров насадок-сопел для уборки пыли // II Международная научно-технической конференция «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ELPIT 2005». – Тольятти, 2005, с. 122-125.
  6. А.А. Соболев, А.В. Васильев. К вопросу о критической скорости частиц при движении воздушного потока над запыленной поверхностью // II Международная научно-технической конференция «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ELPIT 2005». – Тольятти, 2005, с. 126-128.
  7. А.А. Соболев, А.В. Васильев. Особенности отрыва и уноса частиц от запыленной поверхности воздушным потоком // II Международная научно-технической конференция «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ELPIT 2005». – Тольятти, 2005, с. 128-133.
  8. А.А. Соболев. Штуцер // Изобретатели машиностроению. – М.: № 3, 2005, с. 3-4.
- Рекомендуемые ВАК Минобразования**
9. В.А. Соболев, А.А. Соболев. Установка для уборки пыли и просыпей в производственных помещениях // Литейщик России. – М.: №1, 2003, с. 31.
  10. А.А. Соболев. К вопросу об аэродинамических свойствах частиц сыпучего материала // Литейщик России. – М.: №11, 2005, с. 38-39.
  11. А.А. Соболев. Опыт эксплуатации стационарной вакуумной пылеуборочной установки на «ОАО АВТОВАЗ»// Литейщик России. – М.: №11, 2005, с. 40-41.
  12. А.А. Соболев. К вопросу о процессе уноса и переноса частиц воздушным потоком // Литейщик России. – М.: №5, 2006, с. 36-37.

13. А.А. Соболев. Рекомендации по проектированию стационарной вакуумной пылеборочной системы // Литейщик России. – М.: №2, 2007, с. 44-45.

**Патенты РФ**

14. А.А. Соболев, В.А. Соболев, П.Г. Чечушкин. Установка для уборки пыли. Патент РФ №2190342 от 17.08.2001.

15. А.А. Соболев, В.А. Соболев, П.Г. Чечушкин. Бункер. Патент РФ №23434 от 27.11.2001.

16. А.А. Соболев, В.А. Соболев, П.Г. Чечушкин. Мокрый пылеулавливатель. Патент РФ №27899 от 22.08.2002.

17. А.А. Соболев, В.А. Соболев, П.Г. Чечушкин. Пылеборочная насадка. Патент РФ №2260366 от 20.01.2003.

18. А.А. Соболев. Пылеборочная насадка. Патент РФ №47639 от 20.10.2003.

19. И.В. Бачурин, А.А. Соболев, В.А. Соболев. Пылеотделитель. Патент РФ №51351 от 14.09.2005.