

## Повышение эффективности обеспыливания воздуха рабочих зон металлообрабатывающих и деревообрабатывающих производств \*

Ю. И. Булыгин, О. С. Панченко, В. А. Романов, О. В. Денисов

(Донской государственный технический университет)

*Создана новая конструкция циклонного аппарата, в которой предусмотрена возможность регулирования конструктивных параметров в зависимости от свойств и характеристик пылевоздушной среды. За счёт этого повышается эффективность процесса пылеулавливания отходящих газов технологических процессов. Представлены результаты экспериментальных исследований и установлена связь между геометрическими параметрами циклонных аппаратов разной формы и эффективностью пылеулавливания. Показано, что у циклонов с обратным конусом (ЦОК) эффективность улавливания пыли выше, чем у цилиндрических аппаратов. Найдены оптимальные конструктивные параметры ЦОК (глубина погружения выхлопного патрубка и соотношение объёмов рабочей части циклона и бункера), повышающие степень пылеочистки. Предложено устройство ЦОК с регулируемыми параметрами и саморазгружающимся бункером. Разработанный ЦОК позволяет значительно повысить эффективность предварительной очистки воздуха от пыли металлообрабатывающих и деревообрабатывающих производств.*

**Ключевые слова:** циклон с обратным конусом, бункер, конструктивные особенности циклонных аппаратов, эффективность пылеулавливания.

**Введение.** В настоящее время на металлообрабатывающих и деревообрабатывающих предприятиях России циклоны являются основным оборудованием для отделения воздуха от металлической пыли и древесных частиц в аспирационных и пневмотранспортных системах. Применяются они как индивидуально, в виде навесного оборудования на станках, так и с системами пневмотранспорта.

Эффективность газоочистки в циклонах, как правило, невысока и не превышает 92—97 %. Поэтому весьма актуальными являются исследования, направленные на поиск методов и способов повышения эффективности пылеулавливания первой ступени очистки. При повышении степени предварительной очистки становится более эффективной работа тканевых фильтров, осуществляющих окончательную доочистку газов [1].

**Постановка задачи.** Повышение эффективности процесса пылеулавливания отходящих газов технологических процессов за счёт создания новой конструкции циклонного аппарата, предусматривающей возможность регулирования конструктивных параметров в зависимости от свойств и характеристик пылевоздушной среды.

**Обзор различных систем обеспыливания воздуха рабочих зон.** Существует большое разнообразие пылеотсасывающих устройств: индивидуальные, навесные на станок; индивидуальные, приставные к станкам; стационарные, обслуживающие группу станков [2].

Двухступенчатая очистка воздуха от пыли, применённая в рассматриваемом отсасывающем устройстве, даёт возможность соблюдать санитарные нормы в рабочей зоне станка. Такое индивидуальное отсасывающее устройство применяется не только на токарных, но и на других металлорежущих станках, при наличии соответствующих пылеотсасывающих приёмников и расчёта всей системы для конкретных условий.

\* Работа выполнялась в рамках ФЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (2012—2014 гг.) мероприятие 1.1. по заданию Рособразования по теме: «Разработка фундаментальных основ методологии математического моделирования формирования опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ)».

Из отечественного и зарубежного опыта следует, что в последние годы наибольшее внимание уделяется разработке групповых отсасывающих устройств. Групповая система удаления пыли и стружки может состоять из пылеотсосов, встроенных в корпус станка под обрабатываемым изделием, транспортной сети, пылеотсоса, циклона (вторая ступень очистки воздуха от пыли) с бункером, вентилятора и электродвигателя. Отличительной особенностью этой групповой системы является расположение пылеотсосов и их конструкция, а также использование пылеотсосов в качестве первой ступени отделения элементарной стружки и пыли от воздуха. Подобные автоматические системы для улавливания и транспортирования древесной пыли одновременно от нескольких деревообрабатывающих станков за счёт применения пневмотранспортных установок существуют и на деревообрабатывающих предприятиях. Здесь, как правило, используется двухступенчатая очистка «циклон — рукавный тканевый фильтр».

**Совершенствование современных конструкций циклонных аппаратов.** В настоящее время нет единого критерия для выбора оптимальной формы циклонов, однако в конструкциях наиболее современных циклонов всё чётче проявляется тенденция развития конусной части [3]. Между геометрической формой циклонов и их эффективностью существует целый ряд связей, которые проявляются через сложную аэродинамику течений, возникающих в этих аппаратах [4, 5].

В верхней части аппарата вторичные токи сливаются с парным вихрем, образующимся при тангенциальном втекании струи в циклон. Образование парного вихря объясняется тем, что по мере удаления от оси вращения скорость газа уменьшается, вызывая возрастание давления. Повышение давления достигает наибольшей величины в слоях воздуха, прилегающих к внешней границе потока. Под влиянием этого давления воздух перетекает вдоль внешних границ в сторону низких давлений, образуя парный вихрь, вторичный поток. Верхняя часть вторичного вихря устремляется по кратчайшему пути к устью выхлопной трубы, а нижняя, распространяясь вдоль образующих циклона, формирует восходящий поток циклона [3].

Вторичные токи оказывают большое влияние на эффективность циклонных аппаратов. Верхняя ветвь вихря является кратчайшим путём для выноса пыли в выхлопную трубу. Для ослабления этого влияния увеличивают глубину погружения выхлопной трубы. Исследования показали, что с увеличением глубины погружения выхлопной трубы действительно наблюдается повышение эффективности, связанное, по-видимому, с уменьшением выноса вторичным течением пыли, не успевшей при меньшем погружении за короткое время формирования вращающегося потока перейти из слоёв воздуха, опускающихся вдоль выхлопной трубы, в более удалённые слои. При дальнейшем погружении эффективность пылеулавливания вновь падает, что может быть объяснено увеличением радиальных составляющих скоростей.

**Натурные испытания циклонных аппаратов разной формы. Описание экспериментальной установки.** На кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета в течение последних лет ведётся НИР по исследованию аэродинамических характеристик и эффективности пылеулавливания циклонных аппаратов различной формы [4, 5].

Одним из предлагаемых технических решений является циклонный аппарат, выполненный в виде обратного конуса без цилиндрической части. Для решения поставленной задачи была собрана экспериментальная установка «Циклон» (рис. 6), на которой проводились испытания цилиндрического и конического циклонных аппаратов.

**Влияние дисперсного состава частиц и глубины погружения патрубка на эффективность пылеулавливания.** Для определения влияния формы циклона на эффективность процессов осаждения в исследуемых циклонных аппаратах был проведён ряд опытов. На вход циклонных аппаратов подавалась смесь воздуха с материалами различной грануляции — электрокорунд,

древесные опилки. Размеры фракций определялись с помощью ситового анализа [6]. В результате материал был разделён на фракции, в каждой из которых частицы незначительно различаются размерами. Были определены значения расхода и скорости подаваемого воздуха в циклон  $Q = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $V = 15 \text{ м/с}$ ) при входных концентрациях древесной пыли  $9,45 \text{ г/м}^3$ , электрокорунда  $37,79 \text{ г/м}^3$ , когда не происходит выброс сыпучего материала из выхлопного патрубка. Далее измерялась масса опилок в бункере и рассчитывался коэффициент пылеочистки. Результаты экспериментальных исследований для древесной пыли и для электрокорунда показали, что коэффициент пылеочистки конического циклона выше, чем цилиндрического. Эффективность пылеулавливания коническим циклоном оказалась на 10—15 % выше, чем цилиндрическим аппаратом. Высота циклонных аппаратов одинакова и составляет 500 мм. Были проведены исследования влияния глубины погружения патрубка на эффективность пылеулавливания в диапазоне частиц от 40 до 315 мкм. Отношение высоты погружения патрубка  $Hп$  к высоте циклона  $Hц$  составляет: для глубины погружения 200 мм —  $Hп/Hц = 0,4$ ; для глубины погружения 250 мм —  $Hп/Hц = 0,5$ ; для глубины погружения 300 мм —  $Hп/Hц = 0,6$ ; для глубины погружения 350 мм —  $Hп/Hц = 0,7$  (рис. 1, 2).

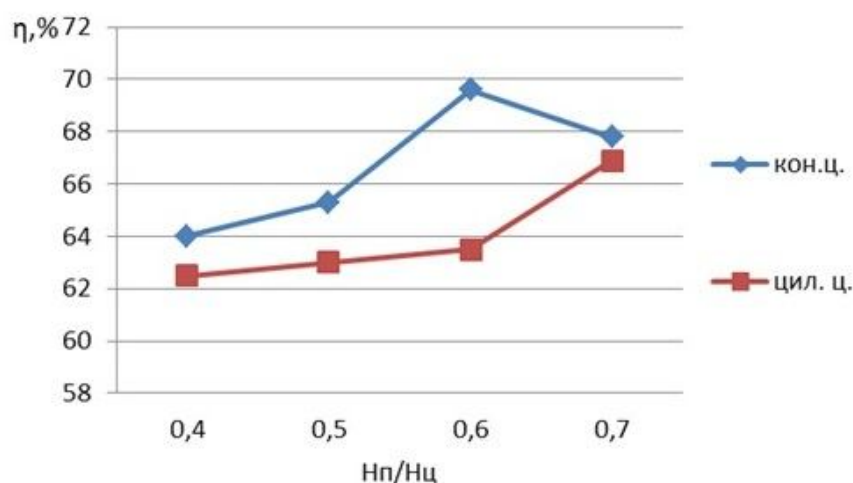


Рис. 1. Эффективность пылеулавливания древесной пыли коническим и цилиндрическим циклонами в зависимости от отношения глубины погружения выхлопного патрубка к высоте рабочей части циклонов при среднем медианном размере частиц пыли  $d = 40 \text{ мкм}$  и  $V_б/V_{кц} = 0,18$

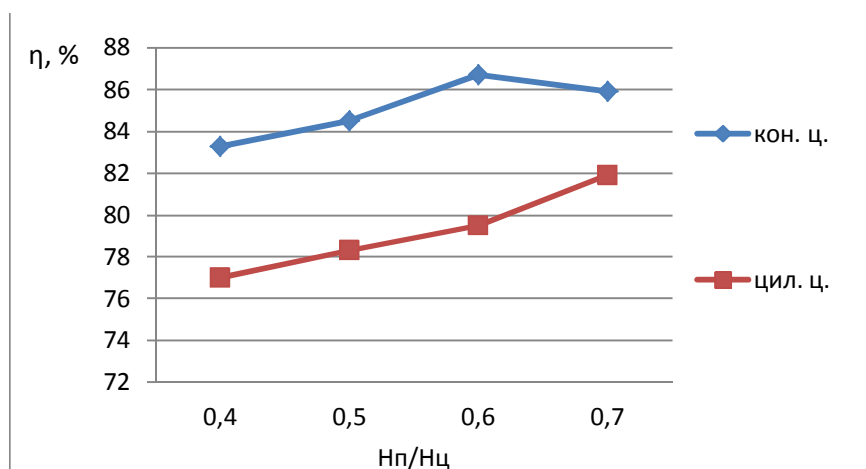


Рис. 2. Эффективность пылеулавливания электрокорунда коническим и цилиндрическим циклонами в зависимости от отношения глубины погружения выхлопного патрубка к высоте рабочей части циклонов при среднем медианном размере частиц пыли  $d = 63 \text{ мкм}$  и  $V_б/V_{кц} = 0,18$

При увеличении глубины погружения выхлопного патрубка значения изменения сопротивления циклона у конического аппарата становятся больше, чем у цилиндрического. Наиболее чётко данный эффект просматривается при скоростях 15—20 м/с. Отметим, что при глубине погружения выходного патрубка  $h = 300$  мм сопротивление конического циклонного аппарата принимает свои максимальные значения, что свидетельствует о наибольшей эффективности конического циклонного аппарата данной конструкции при погружении выхлопного патрубка на указанную глубину. Цилиндрический циклон обладает максимальным сопротивлением при глубине погружения выхлопного патрубка  $h = 350$  мм, что свидетельствует о наибольшей эффективности цилиндрического циклонного аппарата данной конструкции при погружении выхлопного патрубка на указанную глубину.

**Влияние объёма и высоты бункера на эффективность пылеулавливания.** Бункер участвует в аэродинамике циклонного процесса, поэтому использование циклонов без бункера или с уменьшенным по сравнению с рекомендуемыми размерами бункером снижает КПД аппаратов. Существенное влияние на циклонный процесс оказывает турбулентность, которая во многом определяет степень очистки. Поток, поступающий в выхлопную трубу, продолжает интенсивно вращаться. Затухание этого вращательного движения, связанное с невосполнимыми потерями энергии, происходит сравнительно медленно. Влияние аэродинамических процессов, происходящих в бункере циклона, на степень очистки подтверждается результатами испытания двух циклонов, присоединённых к общему бункеру.

Вследствие интенсивного вращения газа в корпусе циклона статическое давление понижается от его периферии к центру. Такая же картина наблюдается и в пылесборном бункере. Отсюда следует, что герметичность бункера должна быть полностью обеспечена при установке циклона как на всасывающей, так и на нагнетающей стороне вентилятора. Несоблюдение этого условия приводит к резкому снижению пылеотделения в циклоне и даже к полному его нарушению [7].

Своеобразный смерч, образующийся в циклоне, пятой опирается о дно пылесборного бункера. При этом в центре смерча винтообразное движение пылегазового потока направлено вверх. Нарушение вращательного движения потока в бункере (в результате уменьшения его высоты или объёма) приводит к заметному снижению степени очистки, поэтому эффективность группового циклона с общим бункером несколько ниже, чем одиночного аппарата.

Бункер играет немаловажную роль в процессах пылеосаждения в циклонных аппаратах, поэтому одной из целей настоящего проекта является исследование влияния объёма бункера на эффективность пылеулавливания и аэродинамические характеристики циклонных аппаратов. Исследования производились как для аэродинамических характеристик, так и для эффективности улавливания древесной пыли (рис. 3) и электрокорунда (рис. 4) в диапазоне частиц 40—315 мкм, при объёме циклона 27 л, с объёмами бункеров 19, 30 и 60 л. Соотношение объёма бункера к рабочему объёму циклона составляет: для бункера объёмом 19 л —  $V_б/V_{кц} = 0,7$ ; для 30 л —  $V_б/V_{кц} = 1,11$ ; для 60 л —  $V_б/V_{кц} = 2,22$ . Как выяснилось, эффективность пылеочистки выше у конического и цилиндрического циклонов при объёме бункера, равном 60 л.

Таким образом, характеристики циклонов зависят не только от их конструктивных особенностей и величины расхода пылевоздушного потока, но и от объёма и конструкции пылесборного бункера и можно предположить, что чем больше объём бункера, тем выше эффективность пылеулавливания.

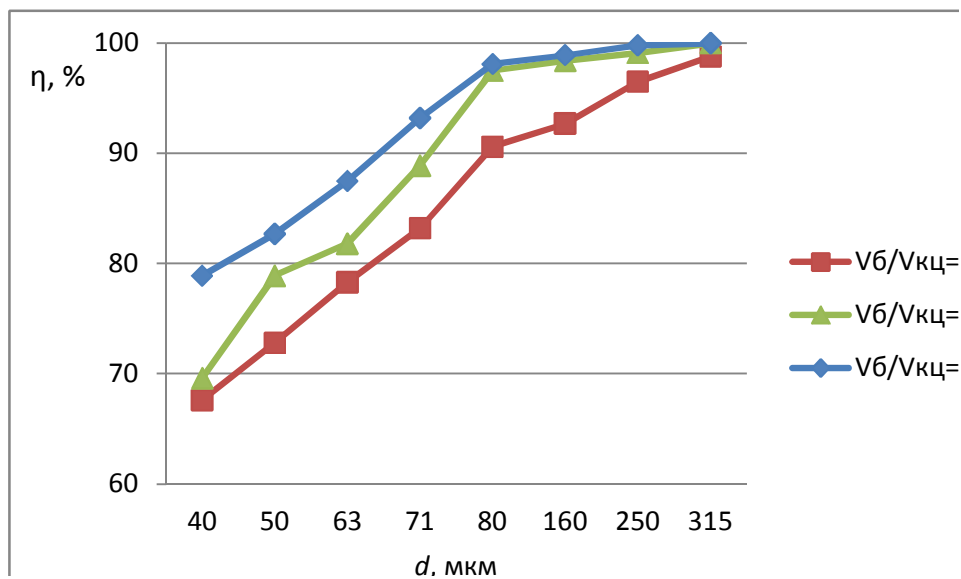


Рис. 3. Эффективность пылеулавливания древесной пыли коническим циклоном в зависимости от дисперсного состава, отношения объёма бункера к рабочему объёму циклона при оптимальном соотношении  $Hп/Hц = 0,6$

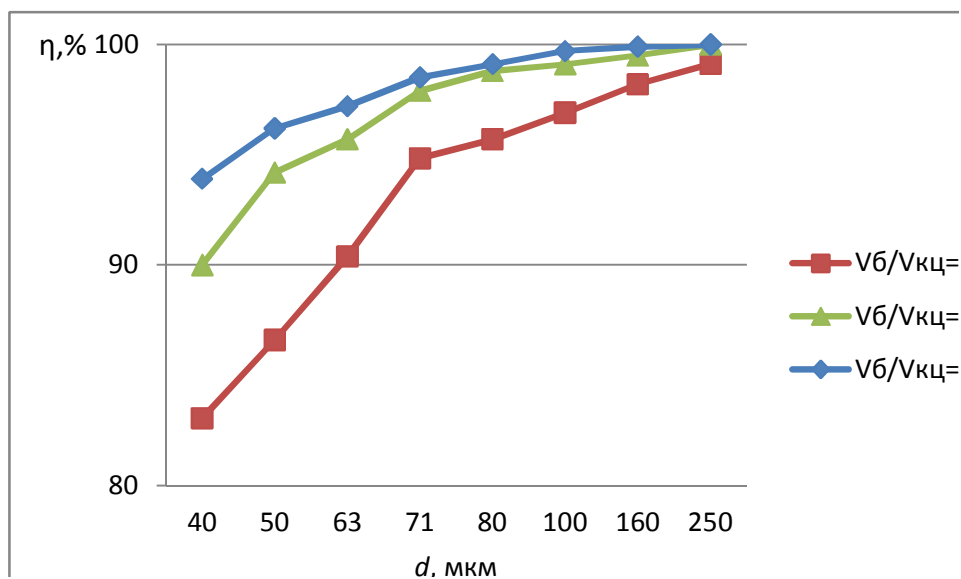


Рис. 4. Эффективность пылеулавливания электрокорунда коническим циклоном в зависимости от дисперсного состава, отношения объёма бункера к рабочему объёму циклона при оптимальном соотношении  $Hп/Hц = 0,6$

**Новое конструктивное решение циклонного аппарата с регулируемыми параметрами.**

Экспериментальные исследования выявили ряд параметров циклонного аппарата, которые, в зависимости от вида и свойств пылевоздушной среды, необходимо в конструктивном отношении существенно изменить.

На основе изученных аналогов предложен пылеулавливатель с обратным конусом, представленный на рис. 5. Пылеулавливатель обладает существенными достоинствами по сравнению с циклоном, имеющим цилиндрический корпус и пылесборник для удаления улавливаемой пыли. К ним относятся более высокая эффективность предварительной очистки воздуха от пыли металлообрабатывающих и деревообрабатывающих производств. Данные преимущества достигаются за счёт ряда конструктивных решений: циклон выполнен в виде обратного конуса, соединённого с прямым усечённым конусом по их основаниям; входной патрубок размещён в верхней части боко-

вой поверхности обратного усечённого конуса; верхний вертикальный выхлопной патрубок выполнен с возможностью вертикального перемещения; нижний прямой усечённый конус соединён с патрубком, погружённым через конус внутрь пылесборника, разделённого перегородкой на верхний и нижний отсеки. Ряд параметров уточнён в процессе эксперимента. Например, соотношение объёмов циклона и рабочей зоны пылесборника выбраны в пределах от 1,0 до 1,8.

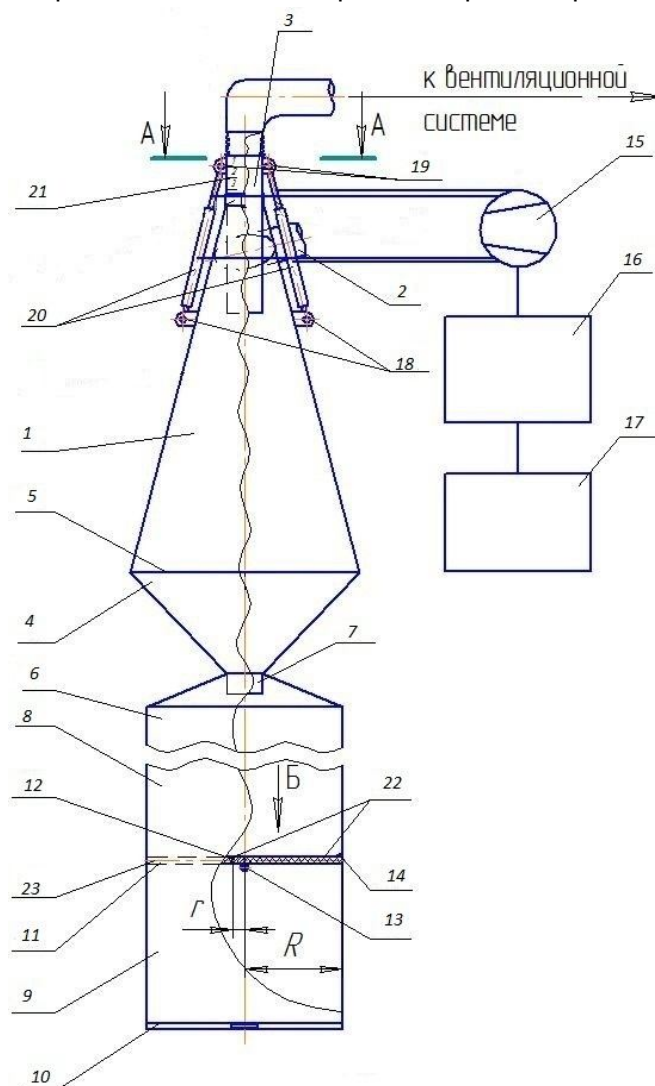


Рис. 5. Пылеулавливатель: 1 — верхний конус циклона; 2 — входной патрубок; 3 — выхлопной патрубок; 4 — нижний конус циклона; 5 — основания конусов; 6 — пылесборник; 7 — патрубок; 8 — верхний отсек пылесборника; 9 — нижний отсек пылесборника; 10 — задвижка; 11 — перегородка; 12 — полукруглые люки; 13 — противовесы; 14 — ось, относительно которой вращается перегородка; 15 — нагнетательное устройство; 16 — блок управления; 17 — источник питания; 18 — кольцевой упор; 19 — проушины; 20 — основания пневмоцилиндров; 21 — выдвигаемые штоки пневмоцилиндров; 22 — шкала с делениями; 23 — кольцевой упор

Новая конструкция циклона потребовала инновационных решений. К ним относятся снабжение обратного усечённого конуса циклона пневмоцилиндрами, соединённым с ними нагнетательным устройством, блоком управления и источником питания. Для оперативного определения и контроля режимов пылеулавливания на внешней стороне верхнего вертикального выхлопного патрубка предусмотрена индикаторная шкала с делениями. От циклона требуется высокая эффективность пылеулавливания. Под этим требованием понимается, в том числе, высокая скорость осаждения частиц пыли, что возможно при размещении входного патрубка на конической боко-

вой поверхности, то есть под углом к корпусу циклона. Данное техническое решение позволяет усилить спиралеобразное движение входящего воздуха и, тем самым, приводит к увеличению скорости осаждения частиц пыли.

Техническая реализация идеи оказания влияния на вынос пыли вторичных вихревых потоков, образующихся за счёт аэродинамических процессов внутри циклонного аппарата, может быть осуществлена выполнением выхлопного патрубка с возможностью вертикального перемещения с изменением глубины погружения патрубка в зависимости от плотности пыли. Экспериментально подтвердилось, что с увеличением глубины погружения выхлопной трубы наблюдается повышение эффективности, связанное с уменьшением выноса вторичным течением пыли, не успевшей при меньшем погружении за короткое время формирования вращающегося потока перейти из слоёв воздуха, опускающихся вдоль выхлопной трубы, в более удалённые слои. При дальнейшем погружении эффективность вновь падает. Экспериментально определено, что оптимальная глубина погружения не должна превышать 0,2—0,6 высоты рабочей части циклона. Кроме того, соединение прямого конуса циклона с обратным конусом бункера выполнено за счёт патрубка. Это имеет существенное значение для снижения турбулентности на входе в пылеприёмник и обеспечения равномерного осаждения пыли на горизонтальную поверхность. Сужение перехода между циклоном и бункером целесообразно для уменьшения обратного выноса пылевидных частиц в тело циклона.

Конструктивной особенностью аппарата является также то, что соотношение объёмов циклона и рабочей зоны пылесборника выбирается в оптимальных пределах, определённых для разной пыли. Соотношения объёмов циклона и рабочей зоны пылесборника оказывают влияние на динамическое поведение своеобразного смерча, образующегося в циклоне. Смерч продолжает своё движение в пылесборнике и имеет в центре винтообразное движение пылегазового потока, направленное вверх. Изменение соотношения этих объёмов приводит к увеличению этого движения вверх и, тем самым, к снижению степени очистки.

Процессу выделения пылинок из потока в циклоне предшествует его закручивание за счёт спирального ввода и движение далее по нисходящей винтовой линии вдоль стенок аппарата. В зависимости от вида и плотности пыли выбирается оптимальная высота выхлопной трубы (глубина её погружения в тело аппарата) за счёт подъёма патрубка пневмоцилиндрами.

Следует заметить, что конструкция пылесборника предусматривает выполнение условия поддержания его объёма в заданных пределах. Пыль, прежде чем попасть в нижний отсек пылесборника, двигаясь спиралеобразно, оседает на поверхности, например, самооткрывающейся перегородки в верхнем отсеке пылесборника. Пыль равномерным слоем опускается на полукруглые люки из сотового углекласта и уравнивающие их полукруглые стальные противовесы. При этом на небольшие поверхности противовесов действует значительно меньший вес пыли. Конструктивно противовес выполняется с массой, позволяющей в пустом пылесборнике поддерживать равновесие самооткрывающейся перегородки. При достижении высоты допустимого слоя пыли в верхнем отсеке пылесборника, полукруглые люки поворачиваются за счёт действия веса пыли относительно продольной оси циклона. Пыль сбрасывается в нижний отсек пылесборника и полукруглые люки возвращаются в исходное положение, обеспечивая заданный объём пылесборника и эффективную очистку воздуха.

#### **Выводы.**

1. Предложенный ЦОК с регулируемыми конструктивными параметрами позволяет значительно повысить эффективность предварительной очистки воздуха от пыли металлообрабатывающих и деревообрабатывающих производств.
2. Круг задач, решаемых ЦОК с регулируемыми параметрами и саморазгружающимся бункером, достаточно широк. Например, его можно встраивать в технологическую пневмотранспорт-

ную систему для передачи специально производимых или сопутствующих деревообрабатывающему процессу древесных дисперсных продуктов (щепа, стружка, опилки, древесная мука).

3. Выбор в пользу централизованных или местных аспирационных устройств зависит от постоянства одновременно задействованных станков. Если в цехе одновременно не работают все станки, то централизованная аспирационная система действует не на полную мощность, что обуславливает её малоэффективность и неэкономичность. В этом случае выбор должен быть сделан в пользу локальной системы и местных аспирационных устройств.

#### **Библиографический список**

1. Ветошкин, А. Г. Процессы и аппараты пылеочистки / А. Г. Ветошкин. — Пенза : Изд-во Пензен. гос. ун-та, 2005. — 210 с.
2. Власов, А. Ф. Удаление пыли и стружки от режущих инструментов / А. Ф. Власов. — 3-е изд. перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 1982 — 240 с.
3. Пирумов, А. И. Обеспыливание воздуха / А. И. Пирумов. — Москва : Стройиздат, 1981. — 296 с.
4. Влияние конструктивных особенностей циклонных аппаратов на их аэродинамические свойства / Б. Ч. Месхи [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. — 2010. — № 12. — С. 22–28.
5. Потёмкина, А. В. Теоретические и экспериментальные исследования влияния глубины погружения выхлопного патрубка на аэродинамические свойства и эффективность циклонных аппаратов / А. В. Потёмкина, Е. С. Лукаш // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 10. — № 4 (47). — С. 526–533.
6. Иванова, И. А. Оценка дисперсного состава пыли участка чёрного литья / И. А. Иванова, В. Я. Манохин // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 10. — № 2 (45). — С. 200–204.
7. Логачёв, И. Н. Аэродинамические основы аспирации / И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв. — Санкт-Петербург : Химиздат, 2005. — 659 с.

Материал потупил в редакцию 20.05.2013.

#### **References**

1. Vetoshkin, A. G. Protsessy i apparaty pyleochistki. [Dust cleaning processes and devices.] Penza : Izdatelstvo Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2005, 210 p. (in Russian).
2. Vlasov, A. F. Udalenie pyli i struzhki ot rezhushchikh instrumentov. [Cutter dust and swarf removal.] 3rd revised and enlarged ed. Moscow : Mashinostroyeniye, 1982, 240 p. (in Russian).
3. Pirumov, A. I. Obespylivaniye vozdukha. [Air dedusting.] Moscow : Stroyizdat, 1981. — 296 s. (in Russian).
4. Meskhi, B. C., et al. Vliyaniye konstruktivnykh osobennostey tsiklonnykh apparatov na ikh aerodinamicheskiye svoystva. [Effect of cyclone unit design features on their aerodynamic properties.] Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti, 2010, no. 12, pp. 22–28 (in Russian).
5. Potemkina, A. V., Lukash, E. S. Teoreticheskiye i eksperimentalnyye issledovaniya vliyaniya glubiny pogruzheniya vykhlopnoy trubki na aerodinamicheskiye svoystva i effektivnost tsiklonnykh apparatov. [Theoretical and experimental study of the influence of immersion depth of the exhaust pipe on the cyclone apparatus aerodynamic properties and efficiency.] Vestnik of DSTU, 2010, vol. 10, no. 4 (47), pp. 526–533 (in Russian).
6. Ivanova, I. A., Manokhin, V. Y. Otsenka dispersnogo sostava pyli uchastka chernogo litya. [Estimation of dust disperse composition of ferrous casting section.] Vestnik of DSTU, 2010, vol. 10, no. 2 (45), pp. 200–204 (in Russian).
7. Logachev, I. N. Aerodinamicheskiye osnovy aspiratsii. [Aspiration aerodynamic basics.] Sankt-Peterburg : Ximizdat, 2005, 659 p. (in Russian).



## INCREASE OF AIR DEDUSTING EFFECTIVENESS IN FUNCTIONAL ZONES OF METAL- AND WOODWORKING PRODUCTIONS\*

**Y. I. Bulygin, V. A. Romanov, O. S. Panchenko, O. V. Denisov**

(Don State Technical University)

*A new cyclone apparatus enable to control the part specifications depending on the dust environment properties and characteristics is designed. This leads to the increase of the processing off-gas collection efficiency. The experimental study is resulted, and the geometrics of the diversiform cyclonic devices is related to the dedusting effectiveness. It is shown that the dedusting efficiency is higher in the inverted-cone cyclones (ICC) than in the cylinder devices. The ICC optimal design factors (the immersion depth of an exhaust branch pipe, and the cyclone working part/bunker volume ratio) raising the dust cleaning degree are found. The ICC with controlled parameters and with the gravity-discharge bin is offered. The developed ICC allows the considerable efficiency increase of the preliminary air cleaning from the metal- and woodworking production dust.*

**Keywords:** *inverted-cone cyclone, bunker, design features of cyclonic devices, dedusting efficiency.*

---

\* The research is done within the frame of the Federal Target Program "Development of scientific potential of higher school" (2012—2014), measure 1.1, according to the Federal Education Agency task on the theme "Development of methodology fundamental principles of mathematical simulation of occupational hazards".