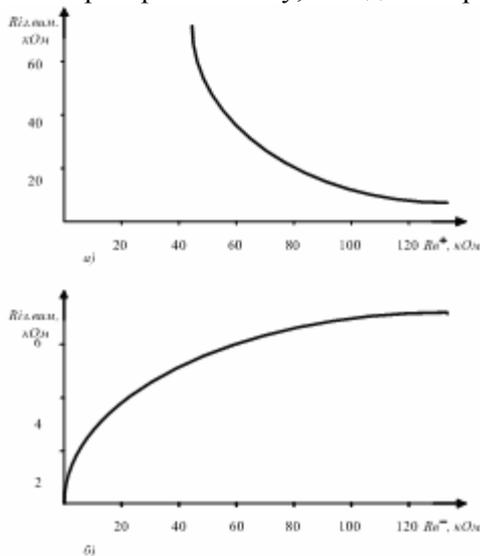


$$R_{из.вум} = \frac{(E_{on} - I_{cn} \cdot R_{cn})R_g^-}{(E_1 - E_{on}) + I_{cn}(E_{cx} + R_g^-)} \quad (4)$$

Здійснивши аналогічні перетворювання для випадку, коли  $R_g^+ = \infty$ , отримаємо

$$R_{из.вум} = \frac{(E_{on} - I_{cn} \cdot R_{cn})R_g^-}{I_{cn}(R_{cx} + R_g^+) - (E_{on} + E_2)} \quad (5)$$

Графіки залежностей, які отримані з виразів (4) та (5) з урахуванням реальних параметрів схем пристроїв захисту, наведені на рис. 2.



**Рис.2.** Графіки залежностей уставок спрацювання пристроїв захисту від опору ізоляції позитивного полюсу перетворювача ділянки постійного струму (а) та його негативного полюсу (б)

Аналіз наведених графіків показує, що при струмах витоку з позитивного полюсу ділянки постійного струму комбінованої мережі (рис. 2а), починаючи із значення  $R_g^+ \leq 50$  кОм експлуатація мережі стає практично неможливою – спостерігається перезахист мережі. В той же час зниження ізоляції на негативному полюсі мережі після перетворювача (рис. 2б) знижує уставки спрацювання пристроїв захисту до неприпустимих значень за умовами електробезпеки і у разі глухого замикання полюса на землю повністю приводить пристрій захисту до відмови спрацювання.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Наведені дослідження переконливо показують неефективність в комбінованих мережах існуючих пристроїв захисту від струмів витоку, в яких в якості оперативного джерела використовується постійний струм.

Таким чином для захисту комбінованих мереж від струмів витоку необхідно розроблення пристрою захисту, в якому в якості оперативного джерела повинен використовуватися змінний струм непромислової частоти.

Таким чином для захисту комбінованих мереж від струмів витоку необхідно розроблення пристрою захисту, в якому в якості оперативного джерела повинен використовуватися змінний струм непромислової частоти.

### Список літератури

1. Колосюк В.П., Миц В.Н., Регьян А.К. Расчет токов утечки в трехфазной сети, питающей нагрузку через выпрямитель. – Электричество. 1985, № 7. - С. 54-56.
2. Колосюк В.П. Метод определения токов утечки комбинированных электрических сетей. - Горная электромеханика и автоматика. Днепропетровск. 1985, вып. 46. - С. 12-16.
3. Бойко В.С., Бойко В.В., Видолоб Ю.Ф. Теоретичні основи електротехніки. – К.: Політехніка, 2004. - 272 с.

Рукопис подано до редакції 22.01.14

УДК 628.511:534

О.Е. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., М.В. АНДРЕЙЧИКОВ, аспирант  
Криворожский национальный университет

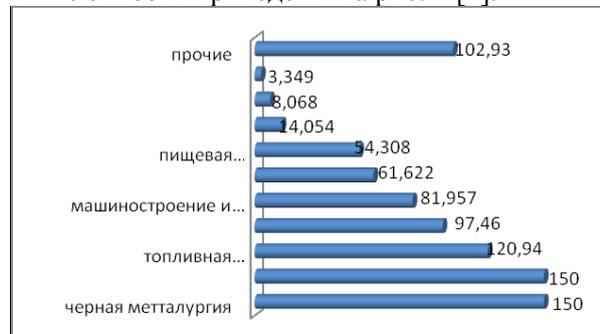
### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУХОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Статья посвящена вопросу эффективности пылеулавливания. Содержатся теоретические исследования инерционного осаждения в средствах пылеулавливания в зависимости от начальной концентрации пыли и ее дисперсности, а также результаты экспериментальных исследований. В этой статье заостряется внимание на условиях работы на горно-обогатительных фабриках.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Стабилизация и экономический подъем горно-металлургического комплекса страны требует поиска новых эффектив-

ных решений по увеличению добычи, переработки и реализации минерального сырья в условиях жесткой рыночной конкуренции. Успешное решение этих задач невозможно без выполнения мероприятий социального развития регионов, улучшения условий и безопасности труда. Несмотря на снижение общего количества профессиональных заболеваний и травматизма за годы экономических реформ, их уровень в железорудной промышленности остается высоким.

Распределение величины выбросов загрязняющих веществ (тыс. т) по основным отраслям промышленности приведены на рис. 1 [4].



**Рис. 1.** Распределение величины выбросов загрязняющих веществ по основным отраслям промышленности, тыс. т

«Основной вклад» в выброс аэрозолей в атмосферный воздух на территории Украины вносят предприятия черной металлургии и теплоэнергетика (тепловые и атомные электростанции, промышленные и городские котельные). Далее следуют топливная промышленность и промышленность строительных материалов, машиностроение, химическая и

пищевая промышленность.

По количеству около 11,4 % выбросов в атмосферу от всех стационарных источников загрязнения приходится на предприятия черной металлургии. Более 17,3 % выбросов атмосферы от всех стационарных источников загрязнения приходится на предприятия электроэнергетики. Около 3,18 % выбросов в атмосферу от всех стационарных источников загрязнения приходится на предприятия топливной (нефтеперерабатывающей) промышленности. Среди других отраслей - промышленность строительных материалов - 2,23 %; машиностроение и металлообработка - 4,8 %; химическая и нефтехимическая промышленность - 3,6 %; пищевая промышленность - 3,17 %. Деревообрабатывающая и легкая промышленность вместе с цветной металлургией дают около 1,5 %.

В промышленности в результате переработки различного сырья и полуфабрикатов путем механического, термического и химического воздействия на них образуются отходящие промышленные газы, в которых содержатся как твердые, так и жидкие частицы.

Анализ состава загрязнений, выбрасываемых в атмосферу различными предприятиями, показывает, что в их выбросах содержится большое количество вредных и токсичных соединений и веществ.

Концентрация вредных веществ в вентиляционных (промышленных) выбросах часто невелика, но из-за больших объемов вентиляционного (промышленного) воздуха валовые количества вредных веществ, поступающих в атмосферу, значительны.

В течение суток выбросы производятся неравномерно из-за небольшой высоты выброса, большой рассредоточенности и, как правило, плохой очистки, они сильно загрязняют воздух на территории предприятий.

Пыль оказывает вредное действие на органы дыхания, зрения кожу, а при проникновении в организм человека - также на пищеварительный тракт. Пылевые частицы с острыми зазубренными краями оказывают механическое воздействие на слизистую оболочку, они травмируют и раздражают ее.

Особенно сильное травмирующее воздействие оказывают пылинки твердого материала, например, пыль металлическая, стеклянная, кварцевая и др.

Следует отметить, что многочисленные атмосферные загрязнения могут способствовать возникновению различных заболеваний у людей. Многие виды пыли, проникая глубоко в легкие, вызывают развитие в них патологических процессов.

К основным заболеваниям, вызванным превышением предельно допустимой концентрации вредных веществ (ПДК), относятся:

пневмокониозы - болезни легких, возникающие при вдыхании пыли. Наиболее часто встречаются следующие виды пневмокониозов: силикоз - наиболее тяжелая форма пневмокониоза, развивающаяся при вдыхании пыли, содержащей свободный кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ), и сопровождающаяся изменениями легочной ткани; силикатоз - склеротическое заболевание легких,

развивающееся при вдыхании пыли, которая содержит  $\text{SiO}_2$  в связном с другими элементами состоянии (Mg, Ca, Al, Fe и др.); электросварочный пневмокониоз развивается при высокой концентрации сварочного аэрозоля, со-держашего оксид железа, соединения марганца или фтора; асбестоз возникает при вдыхании пыли асбеста и др.;

хронический бронхит, ларингиты (развитию заболевания, связанного с воспалением гортани, способствуют запыленный воздух), трахеиты (воспаление слизистой оболочки трахеи);

пневмонит, представляет собой особую форму пневмонии, вызываемую действием аэрозолей марганца, ванадия, кадмия и бериллия;

отравление токсичными пылями (соединений свинца, хрома, мышьяка и ртути). Такого рода пыли оказывают ядовитое воздействие на человека при вдыхании, проглатывании и оседании на открытых участках кожи. Растворяясь в слюне, задерживаясь на слизистых оболочках дыхательных путей и пищевого тракта, она действует как жидкий яд;

конъюнктивит – воспаление органа зрения в результате воздействия пыли, дыма, химической примеси в воздухе.

Безусловно, основной задачей очистки промышленных газов от дисперсных примесей является предотвращение аэрозольного загрязнения окружающей среды и атмосферы. Однако наряду с безопасным выбросом очистка отходящих газов от дисперсных примесей позволяет решить ряд задач, возникающих в технологических процессах.

**Анализ исследований и публикаций.** В процессе производства ряда веществ и материалов часть готового продукта переходит в аэрозольное состояние и удаляется (выбрасывается) в атмосферу вместе отходящими газами. Такие потери продукта на производстве составляют до 15 % от массы готового продукта.

Характерным примером является пищевая промышленность. Применение пылеулавливающего оборудования позволит сохранить значительное количество ценных продуктов.

Некоторые виды пыли могут быть непосредственно возвращены в производство.

Другие пыли могут быть использованы для переработки с целью получения вторичных продуктов или извлечения из пыли полезных веществ. Пыль (или туман), выделяющийся в технологическом процессе при производстве какого-либо вещества (материала), может оказывать неблагоприятное влияние на последующие стадии, ухудшая качество конечной продукции.

Для решения вышеобозначенных проблем, связанных с выделением разнообразных аэрозолей во многих отраслях промышленности, используют широкий класс газоочистного оборудования.

Так, например, в горнообогатительном производстве проблему улавливания дисперсных примесей из газового потока решают с помощью использования мокрой одноступенчатой электрической газоочистки, состоящей из скруббера и вертикального трубчатого электрофильтра, скомпонованных в одном корпусе, установленных после циклонного аппарата. Мокрое удаление уловленной пыли в шламоохранилища приводит к большим потерям полезного продукта, который при горячем спекании концентрата на фабриках горнообогатительных комбинатов составляет 5-10 % исходного материала (1).

Поэтому создание и внедрение инновационных технологий и технических средств для пылеподавления на горно-обогатительных предприятиях на основе теоретического обоснования процессов сухого улавливания пыли, разработка аппарата нового поколения, которые позволят улучшить охрану труда на горных предприятиях и окружающую среду - важная научная, практическая и социальная задача, нуждающаяся в экстренном решении действие инерционных уловителей основано на резком изменении направления движения газового потока. астицы вследствие момента инерции, которым они обладают, сохраняют первоначальное направление движения и попадают в сборный бункер, в то время как газовый поток, освобожденный от крупных частиц, выходит из уловителя. нерционные уловители несколько сложнее по конструкции, чем простые пылеосадительные устройства, но их преимуществами являются меньшие размеры осадительных камер, а также тот факт, что они могут улавливать с достаточной эффективностью частицы размером до 20 мкм.

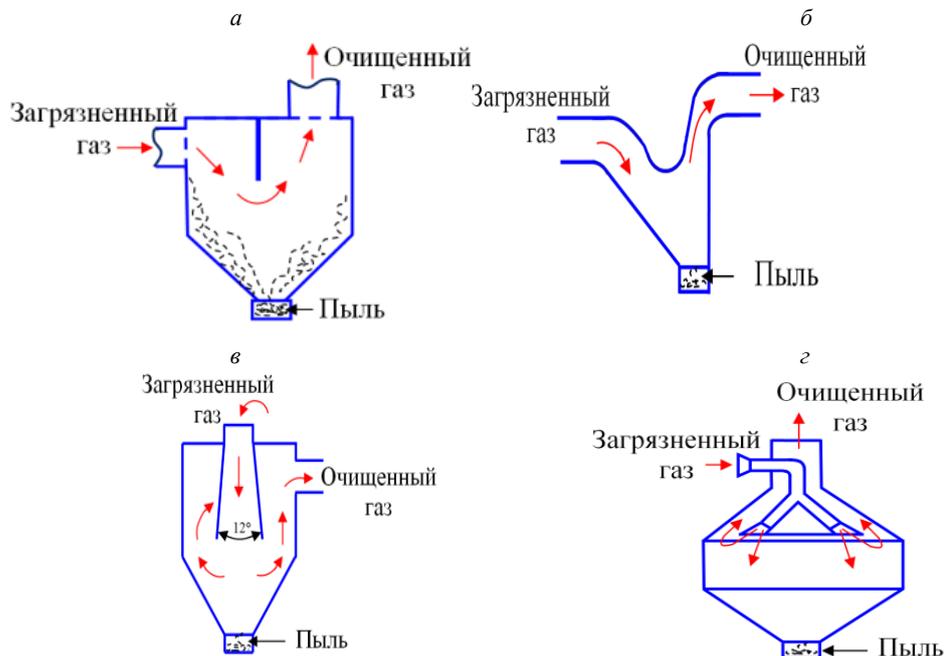
В таком аппарате входная цилиндрическая труба придает частицам дополнительно к гравитационной силе момент, равный примерно трети от ускорения свободного падения ( $g/3$ ) [1,10].

Например, такой пылеуловитель, установленный за доменной печью, обеспечивает степень улавливания частиц  $>30$  мкм до 65-80 %.

Типичным представителем этого класса пылеуловителей являются «пылевые мешки» (рис.

2), которые нашли применение в металлургии [4].

Инерционный пылеуловитель, показанный на рис. 2б, встраивается в газопровод диаметром  $>2$  м [1]. Выпадение крупных частиц в бункер происходит вследствие отклонения потока от прямолинейного движения.



**Рис. 2.** Инерционные пылеуловители: а - камера с перегородкой; б - камера с плавным поворотом газового затвора; в - камера с расширяющимся конусом; г - камера с заглубленным бункером

На рис. 2в показан инерционный пылеуловитель, основанный на использовании конуса с постепенно увеличивающимся диаметром. Скорость газа у дна пылеуловителя уменьшается, снижается и увлечение частиц.

Подобные соображения лежат и в основе усовершенствованной пылеотделительной камеры Проккэта, напоминающей воронку с высокой цилиндрической частью (рис. 2г). Есть все основания утверждать, что циклоны являются наиболее распространенным видом пылеулавливающего оборудования.

Это в основном объясняется простотой их устройства, надежностью в эксплуатации при сравнительно небольших капитальных и эксплуатационных затратах.

Эти затраты значительно меньше соответствующих затрат на рукавные фильтры, а тем более на электрофильтры.

Однако основным недостатком циклона является сравнительно невысокая фракционная эффективность при улавливании пыли до 5-10 мкм.

Также недостатками аппаратов сухого пылеулавливания является сложность применения при повышенной влажности газов и сложность, а иногда и невозможность применения к взрывоопасным газам.

В результате исследований необходимо:

выполнить анализ технических и эксплуатационных характеристик существующих пылеуловителей и средств для снижения выбросов пыли в атмосферу и современных методов пылеочистки;

разработать новые средства и аппараты и деления на компоненты, испытать и определить их эффективность.

**Изложение материала и результаты.** Для решения поставленной задачи авторами был использован комплексный метод, включающий анализ литературных источников, метод теоретических обобщений физических свойств пыли, результаты лабораторных и промышленных исследований, общепринятые методики.

Ультразвуковая коагуляция представляет собой процесс сближения и укрупнения, взвешенных в газе или жидкости мелких твердых частиц, жидких капелек и газовых пузырьков под

действием акустических колебаний звуковых или ультразвуковых частот.

Скорость коагуляции, т.е. эффективность процесса очистки промышленных газов от дисперсных примесей с помощью наложения ультразвуковых колебаний высокой интенсивности определяются:

- интенсивностью колебаний;
- временем экспозиции;
- частотой;
- исходной концентрацией.

Представленный далее теоретический анализ модели проведен для аэрозолей с размером частиц менее 10 мкм, поскольку улавливание, или осаждение, мелкодисперсных аэрозолей является основной проблемой современной техники и технологий коагуляции, а применение акустической коагуляции наиболее целесообразно для аэрозольных частиц именно таких размеров.

Для определения оптимальных режимов акустического воздействия требуется знание зависимости времени разрушения газодисперсной системы от величин, характеризующих воздействие, таких как частота создаваемых акустических колебаний и уровень звукового давления.

Эти зависимости определяются физическими свойствами двухфазной среды, такими как плотность и давление несущей (газовой) фазы, плотность жидкой фазы (аэрозольных частиц) и дисперсный состав обрабатываемого аэрозоля.

В настоящее время фильтр «Циклон» используется для улавливания крупно- и среднedisперстной пыли, при этом его эффективность составляет не больше 80 %.

Для повышения эффективности очистки воздуха вместе с фильтром «Циклон», конечно, используют рукавные или тканевые фильтры, которые способны улавливать мелкодисперсную пыль.

Для снижения расходов на оборудование и экономии электроэнергии предложено оборудовать фильтр «Циклон» инфразвуковыми панелями (рис. 3) для повышения эффективности очистки воздуха примерно, до 95 %.

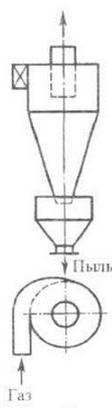


Рис. 3

Расчет эффективности с ориентированной погрешностью 15 % можно привести по выражению

$$\dot{\epsilon} = q \dot{\omega} / dxv \cdot VP$$

где  $q$  - концентрация рудничного воздуха, г/м<sup>3</sup>;  $w$  - тангенциальных ускорения воздуха, м/с<sup>2</sup>;  $v$  частота звуковых волн, Гц;  $V_{зв}$  - скорость распространения звуковых волн, м/с;  $P$  - звуковое давление, дБ.

Рассматриваемый фильтр работает следующим образом, загрязненный воздух поступает через вводный патрубок в корпус фильтра с помощью всасывающего вентилятора, под действием центробежной силы и инфразвуковых панелей частицы пыли прижимаются к внутренней стенке корпуса и осаждаются в пылесборнике.

При этом возникает проблема влияния инфразвукового излучения на человека. Для снижения влияния инфразвукового излучения на организм человека необходимо корпус фильтра оборудовать звукоизолирующим материалом.

**Выводы.** Все это позволяет констатировать, что с помощью разработанного пылеуловителя при транспортировке, дроблении и обогащении сырья созданы нормальные санитарно-гигиенические условия труда по пылевым факторам.

### Список литературы

1. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело / [Н.О. Каледина, Б.Ф. Кирил, М.А. Сребный и др.]; под ред. К.З. Ушакова - М.: МГГУ, 2002. - 487 с.
2. Бизов В.Ф. Охорона праці в гірництві / В.Ф. Бизов, О.Є. Лапшин - Кривий Ріг: Мінерал, 2001.-251 с.
3. Сокол Г.И. Особенности акустических процессов в инфразвуковом диапазоне частот. Днепропетровск: Проминь, 2000. - 143 с.
4. Врейкат Абдель Кхалех Ибрагим. Исследование запыленности воздуха на участке транспортирования сырья Аль-Фукайского цементного завода / Врейкат Абдель Кхалех Ибрагим ДГМИ // Сб. науч. тр. - Алчевск, 1998. - Вып. 7. - С. 27-30.
5. Хмелев, В.Н. Ультразвуковая коагуляция аэрозолей: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова, С.Н. Цыганок, Р.В. Барсуков, А.Н. Сливин; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. - 241 с.

Рукопись поступила в редакцию 12.02.14