

**ХОЛДИНГОВАЯ ГРУППА  
«КОНДОР ЭКО – СФ НИИОГАЗ»:**

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЭКОТЕХНИКА:  
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И МЕХАНИЧЕСКАЯ  
ОЧИСТКА ГАЗОВ**

**Электрофильтры,  
матерчатые фильтры,  
циклоны**



**ПАТЕНТ**  
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**Семибратово  
«Кондор-Эко»  
2008**

# **Практическая экотехника: электрическая и механическая очистка газов**

## **Электрофильтры, матерчатые фильтры, циклоны**

В 2003–2007 гг. холдинговой группой «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» было издано несколько брошюр, посвященных вопросам газоочистки: «Семибратовские фильтры: разработки и внедрения», «Новое оборудование для промышленной очистки газов от твердых веществ», «От типоразмерного ряда – к эксклюзивным конструкциям», «Современное оборудование для промышленной очистки газов от твердых веществ», два выпуска сборника «Новейшие разработки холдинговой группы «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ»». Предлагаем переиздание этих материалов, дополненное новыми научно-техническими статьями и информацией о последних патентах сотрудников холдинга, совершенствующих аппараты электрической и механической очистки газов: электрофильтры, матерчатые фильтры, циклоны.

Научный редактор и составитель  
**Л.В.Чекалов**,  
доктор технических наук,  
Президент холдинга «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ»

*Редактор Б.М.Сударушкин  
Компьютерная верстка А.А.Репьёвой*

© «Кондор-Эко», 2008

На 1-й стр. обложки:

Рукавный фильтр ФРМИ-9600  
(«Красный Октябрь», Волгоград)

Электрофильтр ЭГАВ 2-56  
(«Северсталь», Череповец)

Сдано в набор 5.02.2008. Подписано в печать 15.02.2008.  
Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная № 1. Тираж 100 экз.  
Холдинговая группа «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ».  
152101, п. Семибратово Ярославской обл., ул. Павлова, д. 5.

## **Техническая политика разработки и внедрения нового экотехнического оборудования**

Экотехникой называется совокупность технических средств и устройств, обеспечивающих экологическую безопасность, которая является составной частью экологии – науки об отношениях растительных и животных организмов. В XX в. деятельность человека стала оказывать существенное влияние на экологию, возникли ситуации взаимодействия общества и окружающей среды, представляющие опасность для жизнедеятельности человека. Сегодня приходится говорить об экологической безопасности для человека в целом. Вопрос из плоскости влияния деятельности человека на природу перерос в обеспечение безопасности воздействия изменений природы на человека.

Применение современных экотехнических средств и устройств, снижающих загрязнение воздушной среды вредными продуктами и отходами, повышает экологическую безопасность человека. При этом загрязнение воды и почвы вредными веществами в большей степени происходит не непосредственно, а через воздух: выбросы вредных веществ в воздух легко разносятся на огромные расстояния и загрязняют обширные водные и почвенные территории. Таким образом, экотехнические средства, снижающие выбросы в воздух, защищают не только атмосферу, но и воду, и почву.

Экотехнические устройства, снижающие вредные выбросы, могут объединяться в экотехнические установки и системы.

Процесс обеспечения экологической безопасности начинается с разработки экотехнического устройства. Только опытный разработчик экотехнического устройства в полной мере знает область его применения и технические характеристики, обеспечивающие требуемое снижение вредных выбросов. В настоящее время, даже с учетом современных технических средств, помогающих разработчику в творческом процессе, нет возможности дать однозначные инструкции по выбору и применению экотехнических устройств. Такие, на первый взгляд, простейшие экотехнические устройства, как циклоны, при практическом их применении в экотехнических установках и системах преподносят столько неожиданностей, что только опыт разработчика позволяет их преодолевать и достигать поставленной цели обеспечения экологической безопасности.

Производитель экотехнических устройств или оборудования для них может обеспечить только их соответствие технической документации, которую передал разработчик. Если технология изготовления не соответствует технической документации или часть документации выполнена не по требованиям разработчика, технические устройства не обеспечат требуемых показателей. Проектные организации по специфике своей деятельности только привязывают существующее экотехническое оборудование, но гарантировать правильность его выбора и обеспечить выбор его с показателями, определенными разработчиком, без рекомендаций разработчика не могут.

Экотехнические устройства часто невозможно доставить на место строительства, в собранном в заводских условиях виде. Важным этапом достижения экологической безопасности является организация строительства экотехнических установок и систем. Часто именно на этой стадии теряются существенные возможности в обеспечении экологической безопасности. Появляется необходимость дополнительных мероприятий по устранению ошибок, нарушений требований техдокументации, а иногда и ошибок проекта для достижения требуемых экологических показателей и обеспечения экологической безопасности. Поэтому монтаж экотехнических устройств требует не только специальной подготовки и обучения персонала монтажной организации, но и обязательного присутствия и приемки работ представителем разработчика. Только в этом случае может быть обеспечено соответствие смонтированного устройства требованиям разработчика и обеспечение этим устройством экологических показателей, заложенных в проект экотехнической установки. Таким образом, экологическая безопасность обеспечивается разработчиком и на стадии монтажа экотехнического устройства.

Каждое экотехническое устройство имеет свой ресурс по обеспечению постоянства экологической безопасности. Чтобы поддерживать экологическую безопасность на требуемом уровне, необходим контроль за эксплуатацией экотехнического устройства и обеспечение текущих, плановых и капитальных ремонтов. Контроль за работой экотехнического устройства должен быть фискальным и независимым от эксплуатационной службы предприятия. Наиболее рационально, когда эти функции возлагаются на службы государственного контроля за работой экотехнического устройства. При этом функции сервисного обслуживания устройства должны возлагаться на представителей разработчика. Только тогда эксплуатация экотехнического устройства будет наиболее эффективной, с оптимальными затратами на все виды ремонтов и

снижением затрат на эксплуатационные службы. Уровень экологической безопасности будет обеспечиваться на протяжении всего срока службы экотехнического устройства. Экотехнические установки и системы более сложные по сравнению с устройствами, поэтому роль сервисного обслуживания представителями разработчика и выгода для эксплуатирующего предприятия будут возрастать.

В 1962 г. в пос. Семибратово Ярославской области был создан Семибратовский филиал Научно-исследовательского института по санитарной и промышленной очистке газов, ныне – ОАО «СФ НИИОГАЗ». На протяжении многих лет Семибратовский филиал совместно с головным институтом НИИОГАЗ являлся ведущей межотраслевой организацией в стране по координации работ в области газоочистки, одним из ведущих научно-исследовательских институтов по разработке и усовершенствованию пылеулавливающего оборудования и систем газоочистки для основных отраслей народного хозяйства страны: энергетики, промышленности строительных материалов, машиностроения и др.

Среди основных итогов научно-технической деятельности ОАО "СФ НИИОГАЗ" следует назвать создание широкопрофильной экспериментально-стендовой базы, позволяющей в лабораторных условиях проводить уникальные исследования электрофизических, аэродинамических, прочностных характеристик разрабатываемых процессов и аппаратов газоочистки.

Подобной базы не имеет ни один научно-исследовательский институт аналогичного профиля в России и странах СНГ, она позволила создать целый ряд основополагающих методик, необходимых для понимания процессов газоочистки и выбора оптимальных технологических и конструкторских параметров при разработке новой техники. К этим стендам и методикам следует отнести:

- лабораторная зондовая установка электрофизического исследования движения частиц в поле коронного разряда;
- лабораторная модель установки электрофильтра для исследования процесса электрогазоочистки в реальном поле;
- физическая модель реального поля электрофильтра для исследования агрегатов и режимов питания электрофильтра на воздухе;
- полномасштабный стенд реального поля электрофильтра для исследования динамических характеристик осадительных и коронирующих электродов, отработка вопросов надежности разрабатываемых аппаратов;
- лабораторная установка по исследованию аэродинамики промышленных аппаратов и систем газоочистки;
- стендовая установка по исследованию надежности фильтровальных элементов;
- уточненный метод расчета эффективности электрофильтров на предпроектной стадии;
- метод повышения эффективности работы действующих электрофильтров на основе оптимизации режимов питания аппарата и режимов регенерации (отряхивания) его полей;
- метод расчета и выбора динамических характеристик систем отряхивания осадительных электродов.

За годы существования ОАО "СФ НИИОГАЗ" при участии проектных организаций и производственников были разработаны десятки типов аппаратов газоочистки, часть из которых сегодня является основными образцами высокоэффективной газоочисточной техники, применяемыми в отечественной и зарубежной промышленности. Это типоразмерные ряды электрофильтров ЭГА, рукавных фильтров ФРО, ФРИ, ФРКИ, ФРКН, кассетные фильтры ФКИ, дымососы-пылеуловители ДП, циклоны СЦН-49 и др.

Однако новые экономические условия потребовали новых подходов к решению экотехнических проблем. В 1991 г. в Москве было создано товарищество с ограниченной ответственностью «Кондор», его учредителями выступили бывшие сотрудники Семибратовского филиала НИИОГАЗ. Это было самовыражение людей, которые не находили места в существовавших тогда рамках; специалистов, имеющих богатый опыт в разработке, внедрении, реконструкции и обеспечении надежности газоочисточного и пылеулавливающего оборудования.

В 1993 г. было зарегистрировано созданное в пос. Семибратово ТОО фирма «Кондор-Эко», которое явилось правопреемником ТОО «Кондор». Организация фирмы «Кондор-Эко» была закономерным этапом в развитии структуры организаций, занимающихся экотехникой. Начавшиеся в стране экономические преобразования вызвали необходимость создания новых форм хозяйствования, поиск новых деловых связей с заказчиками на основе рыночных отношений.

Когда начался процесс приватизации ОАО СФ НИИОГАЗ, ЗАО «Кондор-Эко» выкупило контрольный пакет акций и в результате стало основным акционером ОАО «СФ НИИОГАЗ».

С этого этапа ЗАО «Кондор-Эко» начинает разработку нового экотехнического оборудования – конкурентоспособного, отвечающего современным экологическим требованиям. Это электрофильтры ЭГАВ с коронирующими электродами пониженного напряжения зажигания, с современными приводами механизмов встряхивания и микропроцессорными системами управления, которые по показателям назначения на 20–40% превышают электрофильтры типа ЭГБМ. Внедряются в производство новые рукавные

фильтры типа ФРМИ, представляющие собой типоразмерный ряд фильтров с площадью фильтрования от 800 до 16000 м<sup>2</sup> и с расчетной производительностью от 70000 до 138000 м<sup>3</sup>/час. Разработана новая система управления регенерацией рукавных фильтров Elex-2200 на микропроцессорной базе, блочная конструкция которой позволяет развивать ее функциональность путем перепрограммирования и подключения дополнительных блоков для любого типа пылеулавливающего оборудования – электрофильтров и рукавных фильтров. Выигрываются тендеры на реализацию крупных проектов газоочистных установок в ведущих отраслях промышленности. ЗАО «Кондор-Эко» ориентируется исключительно на практические требования заказчиков, применяя оборудование нового поколения с улучшенными характеристиками. Учитывая особенности производственного цикла, предлагает оптимальный выбор экотехнического оборудования. Осуществляет комплектные поставки современного оборудования, необходимого для высокоэффективной работы экотехнических аппаратов, и дает заказчику гарантийные обязательства. Готовит проекты новых установок и проводит модернизацию существующих экотехнических систем. Разрабатывает новую техническую политику, стержнем которой является выдача гарантий на новое экотехническое оборудование и организация процесса разработки, производства и строительства установок, обеспечивающих выданные заказчику гарантии.

Для реализации новой технической политики по инициативе ЗАО «Кондор-Эко» была создана холдинговая группа «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ», включающая в себя организации, которые могут решать поставленные задачи и отвечать за результаты своей работы. Диапазон услуг, представляемых холдинговой группой «Кондор-Эко», охватывает все проблемы, которые возникают у заказчика в области пылегазоочистки. В составе холдинговой группы: ОАО «СФ НИИОГАЗ», которое занимается научно-исследовательской деятельностью и разработкой новых электрофильтров, рукавных фильтров, циклонов и других экотехнических аппаратов, улавливающих твердые частицы и аэрозоли; ЗАО «Кондор-Эко» на основе новых экотехнических аппаратов разрабатывает экотехнические установки и системы и дает технические задания на проектирование. С такими ведущими отраслевыми институтами, как Гипрогазоочистка, Проектгазоочистка, Уралгипромет, ВАМИ, Иркутск ВАМИ, Энергосталь и др., заключены договоры о сотрудничестве в проектировании новых экотехнических установок на основе последних достижений холдинговой группы «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ». Здесь приобретен уникальный опыт в комплексном решении задач по очистке промышленных выбросов предприятий в атмосферу в соответствии с европейскими стандартами. Безупречное качество услуг обусловлено высоким профессиональным уровнем и компетентностью персонала в области газоочистки, широким использованием компьютерной техники, современного оборудования и технологий, тесным сотрудничеством с родственными организациями.

В 2003 г. в Москве была организована Управляющая компания ЗАО «Кондор-Эко». В составе холдинговой группы «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» были учреждены Красноярский филиал «Кондор-Эко» и филиал в Челябинске «Кондор-Эко Урал». Осуществлено создание собственной производственной базы для изготовления специализированных узлов экотехнического оборудования по новым технологиям, которых нет в России и в мировой практике.

В настоящее время холдингом разработано новое поколение экотехнических устройств (циклоны, рукавные фильтры, электрофильтры). В этих устройствах удалось существенно снизить металлоемкость и уменьшить объем при обеспечении требуемой экологической безопасности. Например: металлоемкость рукавных фильтров снижена в 1,5 раза, новые электрофильтры занимают на 40 % меньший объем.

Экологический холдинг «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» может выполнить весь спектр работ и услуг, требующихся потребителям экотехнических устройств, установок и систем, выполнит работы не только со сдачей под «ключ», но и обеспечит сервисное обслуживание экотехнических устройств на любой срок, который требуется заказчику.

В современных экономических условиях основной принцип конкуренции – лучшее соотношение цена-качество – требует, чтобы установка газоочистки соответствовала этому критерию. Иногда дешевое оборудование приводит к резкому снижению качества установки газоочистки, поэтому перенос центра экономических показателей с оборудования на установку потребовал индивидуального подхода к каждой установке, что, естественно, было известно и ранее. Поэтому подбор оборудования производится индивидуально, применяя различные составляющие и узлы этого оборудования. В каждом случае фактически получается оригинальный фильтр. Таким образом, экономически обоснован и технически вынужден переход от типоразмерного ряда к эксклюзивной конструкции.

Сегодня перед всеми, кто занимается разработкой, проектированием и производством экотехнического оборудования, стоит одна общая задача – создание нового поколения газоочистной аппаратуры и экотехнических систем, обеспечивающих максимальную экологическую безопасность и высокую конкурентоспособность на мировом рынке экотехники.

# Часть первая

## АППАРАТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Курицын Н.А., Морозов Ю.М., Санаев Ю.И.,  
Завьялов А.И., Панасенко В.И., Глебов В.П., Зыков А.М.

### Новое поколение электрофильтров типа ЭГАВ для металлургии, типа ЭГСЭ для энергетики, обеспечивающих нормы выбросов Российской Федерации

Электрофильтры, как основные пылеулавливающие аппараты, применяются для очистки промышленных выбросов во многих отраслях и должны обеспечивать, в соответствии с требованиями нормативных документов, очистку газов до остаточной запыленности  $50 \text{ мг/м}^3$  и ниже.

Однако, как показывает опыт эксплуатации действующих установок, эффективность пылеулавливания в электрофильтрах зачастую значительно ниже требуемой. Основными причинами недостаточной эффективности являются:

- в первую очередь – это проектные причины, когда в ущерб эффективности принимались решения с наименьшими капитальными затратами, приводящие, как правило, к повышенным скоростям газов в электрофильтрах и, соответственно, к малому времени пребывания частиц в электрическом поле;
- вторая причина – это неудовлетворительная эксплуатация оборудования электрофильтров и несоблюдение проектных технологических параметров очищаемых газов;
- и, наконец, надо признать факт недостаточной надежности отдельных узлов и механизмов как механического, так и электротехнического оборудования наших аппаратов.

Проанализировав указанные причины, мы пришли к выводу, что можно существенно повысить показатели нашего оборудования как за счет применения новых технических решений в конструкции аппаратов, так и за счет претворения в жизнь новых подходов в технической политике.

Новая конструкция электрофильтра явилась следствием сравнительного анализа конструкций наших аппаратов и конструкций аппаратов зарубежных фирм, как европейских, так и американских; а также накопленного многолетнего опыта разработки и внедрения пылеулавливающего оборудования нашими специалистами.

В данной конструкции реализован новый подход в компоновке внутреннего оборудования, заключающийся в том, что была изменена система подвеса коронирующих электродов, которая перенесена из межполюсного пространства в надполюсное. За счет этого появилась возможность на 25 % увеличить активную длину полей электрофильтра при неизменной длине его корпуса. Такая компоновка позволяет существенно повысить не только эффективность пылеулавливания, но и надежность аппарата за счет повышения его ремонтпригодности.

Коронирующий электрод электрофильтра состоит из полурам, но их компоновка (монтаж) существенно отличается от компоновки полурам коронирующего электрода серийных электрофильтров. Соединение полурам выполнено таким образом, чтобы максимально использовать ударный импульс по всей высоте и ширине электрода. Коронирующая система электрофильтра в каждом поле имеет по два механизма встряхивания, устанавливаемых в верхней части корпуса. Каждый механизм имеет привод, устанавливаемый сбоку корпуса электрофильтра, и вращающийся молотковый вал. Передача вращающего момента от привода к валу осуществляется через вал-изолятор, конструкция которого имеет ряд особенностей.

Для предотвращения запыляемости поверхности вала-изолятора предусмотрено защитное устройство.

Удар молотка по наковальне коронирующего электрода осуществляется в вертикальном направлении (сверху вниз). В качестве коронирующего элемента в данной конструкции применен коронирующий элемент с боковыми иглами с пониженным напряжением зажигания короны, которое составляет величину 12–14 кВ. Данная конструкция коронирующего элемента подтвердила (неоднократно) свою эффективность как в стендовых и лабораторных исследованиях, так и в опытно-промышленной эксплуатации в энергетике, нефтехимии и др. На данном этапе этот элемент был доработан с целью получения необходимых параметров по динамике в составе коронирующего электрода высотой 12 метров.

Существенно изменяется верхняя часть корпуса электрофильтра. Т.к. рамы подвеса коронирующих электродов убраны из межполюсного пространства, отпала необходимость иметь широкие средние ригельные балки, которые были предназначены для размещения опорно-проходных изоляторов соседних полей. Теперь изоляторные коробки устанавливаются непосредственно на крыше аппарата над соответствующим

полам электрофилтра. Такое конструктивное исполнение корпуса позволяет значительно повысить ремонтнопригодность аппарата и обеспечивает устойчивый температурный режим в изоляторных коробках. Изоляторные коробки также имеют новую конструкцию с применением в качестве изоляторов подвеса рам коронирующих электродов подвесных изоляторов вместо опорно-проходных, как это принято в электрофилтре ЭГБМ. В этом исполнении изоляторная коробка является также оригинальным узлом.

Совершенно новым узлом в представленном электрофилтре являются привода коронирующих и осадительных электродов. В качестве мотор-редуктора использован итальянский редуктор, отечественный электродвигатель и японская система управления. Такое сочетание используемых комплектующих позволило получить привод с регулируемой частотой вращения вала привода, с плавной регулировкой пуска двигателя и, что самое главное, позволило осуществить впервые в нашей практике защиту электродвигателя от перегрузок при заклинивании вала механизма отряхивания. Данная конструкция прошла стендовые испытания и в настоящее время успешно эксплуатируется на электрофилтрах АО «Северсталь».

Сравнительная техническая характеристика представлена в таблице 1.

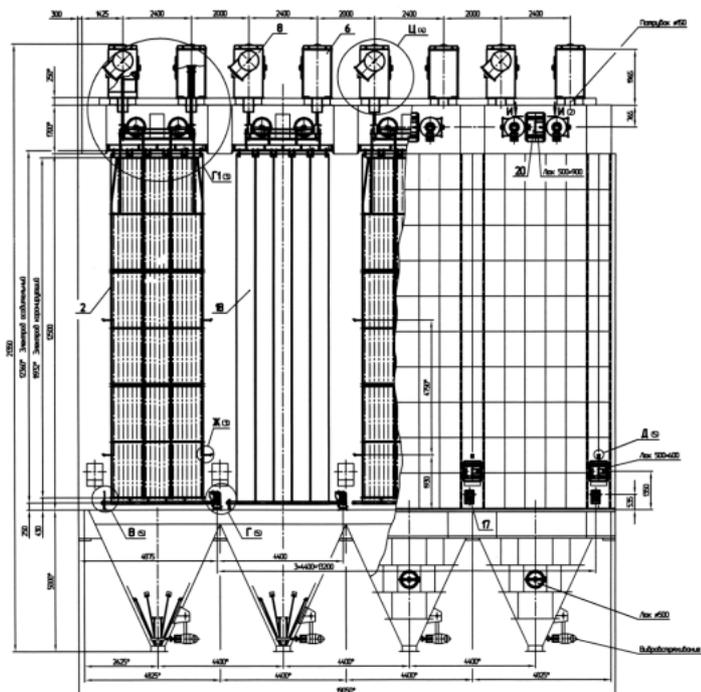
Таблица 1.  
Технические характеристики сухих горизонтальных электрофилтров

№ п/п	Параметры	Типы электрофилтров	
		ЭГАВ2-56-12-5-4	ЭГБМ2-56-12-4-6
1.	Объем очищаемых газов, м <sup>3</sup> /час	625 000	625 000
2.	Температура газов, °С	50	50
3.	Площадь активного сечения, м <sup>2</sup>	181,7	181,7
4.	Площадь поверхности осаждения, м <sup>2</sup>	17 490	22 616
5.	Входная запыленность, г/м <sup>3</sup>	8,6	8,6
6.	Выходная запыленность, г/м <sup>3</sup>	0,06	0,06
7.	Гидравлическое сопротивление, Па	200	
8.	Габариты: длина, м	18 750	29 220
	ширина, м	17 600	19 940
	высота, м	19 710	19 910
9.	Энергетические затраты на очистку, кВт/1000 м <sup>3</sup>	0,60	
10.	Масса аппарата, т	265,55	343,4
11.	Высота электродов, м	12	12
12.	Межэлектродное расстояние, м	300	350

В таблице приведены основные технологические параметры электрофилтра ЭГАВ2-56-12-5-4 и серийных электрофилтров ЭГБМ2-56-12-4-6. Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что представленный электрофилтр имеет преимущество перед серийными. Видно, что при равных базовых критериях перспективный электрофилтр имеет следующие преимущества:

- меньшая металлоемкость (на ~80 т);
- меньше габариты аппарата;
- меньшее число составных частей и деталей механического и электротехнического оборудования, что ведет к повышению показателей надежности аппарата.

Мощные энергоблоки действующих ТЭС России в настоящее время оборудованы в основном отечественными электрофилтрами различного типа с высотой электродов от 6 до 12 м. Необходимо отметить, что установленные на ТЭС электрофилтры в длительной эксплуатации, как правило, не обеспечивают требуемой степени золоулавливания. Превышение выбросов золы с очищенными газами многократно превышает проектные показатели. Это вызвано, в первую очередь, высокими скоростями газов в активном сечении аппаратов. Положение усугубляется тем, что к настоящему моменту электрофилтры либо исчерпали свой ресурс, либо близки к его выработке.



Электрофильтр ЭГАВ-2-56-12-5-4

В настоящее время выбор технических решений по золоулавливанию обуславливается нормативом по выбросам летучей золы в атмосферу, определяемым ГОСТ Р 50831-95. Согласно этому стандарту, величина остаточной запыленности для мощных энергоблоков должна составлять 50–150 мг/м<sup>3</sup>. Для обеспечения этих требований необходима массовая замена существующих золоуловителей на новые аппараты в условиях стесненной площадки, занимаемой существующим оборудованием.

С целью возможности обеспечения нормативов при техперевооружении действующих ТЭС в течение последних нескольких лет разработаны электрофильтры нового поколения типа ЭГСЭ, специально для тепловых электростанций, позволяющие сократить затраты на золоулавливание на 20–30 %. Главной отличительной особенностью этих аппаратов является применение электродов высотой до 18 м, применение коронирующих электродов с пониженным напряжением зажигания коронного разряда, а также верхнее расположение системы отряхивания коронирующих электродов.

Электрофильтры ЭГСЭ – высокоэффективные горизонтальные аппараты с верхним расположением механизмов встряхивания электродов, предназначенные для очистки неагрессивных невзрывоопасных технологических газов и аспирационного воздуха от пыли в энергетике. В них соединены преимущества американской технологии электростатической очистки газов с достоинствами европейской технологии очистки газов в электрофильтрах. Удаление осажденной на электродах пыли – механическое, периодическим встряхиванием ударами молотков. Новое конструкторское решение узлов встряхивания, их верхнее размещение, применение новой электродной системы позволили улучшить технические характеристики в сравнении с серийными аппаратами:

- площадь осаждения ( в объеме заданного корпуса ) увеличилась на 35–50 %;
- время пребывания частиц в активной зоне увеличилась на 35–50 %;
- удельная металлоемкость ( на единицу площади осаждения ) снизилась на 6–20 %.

Конструктивное исполнение электродных систем и их механизмов встряхивания выполнено с расчетом повышения уровня ускорений, возникающих при ударе на элементах электродов, что позволяет увеличить высоту и число осадительных элементов при соотношении высоты электродов к их ширине более чем в 5–8 раз, увеличивать число полурам в рамках коронирующих электродов по высоте и ширине электрофильтра при его неизменных габаритах и, следовательно, максимально использовать и увеличить активную зону электрофильтра, повысить надежность и ремонтпригодность его за счет снижения числа полей.

Компоновка электродных систем и размеры внутреннего механического оборудования электрофильтра ЭГСЭ позволяет проводить реконструкцию серийных аппаратов, устанавливая это оборудование в существующие корпуса. В зависимости от условий подвода и отвода газов электрофильтры комплектуются соответствующими диффузорами, конфузорами и газораспределительными устройствами. Возможна поставка электрооборудования: агрегатов питания электрофильтра, блоков управления агрегатами питания и приборов управления периодическим встряхиванием электродов. При разработке ЭГСЭ была использована система обеспечения надежности функционирования аппаратов и установок газоочистного и пылеулавливающего оборудования на основе требований экологических норм.

Концепция, заложенная в разработанной ОАО «СФ НИИОГАЗ» системе обеспечения надежности (СОН) и экологической безопасности, отличается от действующих принципов разработки, проектирования и эксплуатации аппаратов тем, что привязка новых отечественных электрофильтров для ТЭЦ осуществляется по пяти основным направлениям

- по технологическим требованиям – по производительности, степени очистки, скорости потока и т.д. с одновременным выбором новой компоновки электродных систем;
- по экономическим требованиям – рентабельности, прибыли, стоимости ремонта, запчастей и т.д.;
- по экологическим требованиям – обеспечение экологической безопасности и, соответственно, минимальных выбросов в процессе эксплуатации разработанных электрофильтров или установки ( $50 \text{ мг/м}^3$ , или менее) на весь срок эксплуатации;
- по стратегии технического обслуживания и ремонта электрофильтра с учетом ремонтного цикла энергоблоков
- по температурным процессам, имеющим место в моменты пуска и останова электрофильтров и в режиме их непрерывной работы.

В соответствии с принципами, заложенными в системе обеспечения надежности (СОН) и экологической безопасности разработана схема внедрения системы на всех стадиях проектирования и освоения новых отечественных электрофильтров для ТЭЦ. На стадии проектных работ были проведены исследования динамических характеристик осадительных и коронирующих электродов новых отечественных электрофильтров для ТЭС. Исследования динамики электродных систем при их оригинальной компоновке в корпусе электрофильтра показали следующие результаты:

- распределение ускорений по всей площади коронирующего и осадительного электрода происходит по тем же законам, что и на электрофильтрах с существующей компоновкой электродной системы;
- на новых электродных системах среднестатистическая величина ускорений не уступает уровню ускорений на существующих электродах (таблица 1). Так, среднестатистический уровень ускорений на коронирующих электродах высотой 18 метров при их новой компоновке превышает в 1.15 раза, максимальный уровень ускорений в 1.7 раза соответствующие уровни ускорений на существующих коронирующих электродах высотой 15 метров. Аналогичная картина наблюдается при сравнении новых коронирующих электродов высотой 9 метров с другими существующими электродами;
- при новой компоновке электродных систем обеспечивается необходимый уровень отряхивающих ускорений ( $>100\gamma$ ) и эффективная очистка коронирующих и осадительных электродов от пылей, улавливаемых в энергетике (таблица 2).

Таблица 2.

**Динамические характеристики коронирующих электродов сухих электрофильтров**

Условная высота электрода, м	Расположение механизмов встряхивания	Закон распределения ускорений	Среднестатистическая величина ускорений, $\text{A/g}$	Среднестатистическое отклонение ускорений, $\square/\text{g}$	Максимальная величина ускорений, $\text{Amax/g}$	Минимальная величина ускорений, $\text{Amin/g}$
9	с существующей компоновкой электрода	нормальный	432	153	782	182
12		-	477	176	-	-
15		Экспоненциальный	255	255	703	123
9	с новой компоновкой электрода	- « -	464	464	1076	151
18		Логарифмически нормальный	299	98	1196	$\geq 122$

Соединение преимуществ европейской технологии пылеулавливания с достоинствами американской электростатической очистки газов позволят получить выходную запыленность менее  $50 \text{ мг/нм}^3$ .

В Семибратовской фирме НИИОГАЗ проведен цикл работ по разработке, исследованию и испытанию

коронирующих электродов с пониженным напряжением зажигания коронного разряда.

Элементы с фиксированными точками коронирования, имеющие острия, могут быть выполнены с различной геометрией и расположением игл, что позволяет изменить величину тока короны, т.е. в определенных пределах управлять коронным разрядом. Недостатком известных коронирующих электродов является относительно высокое напряжение зажигания короны, величина которого в значительной мере определяет степень очистки газов электрофильтрами. Так, в применяемых в отечественных электрофильтрах ленточно-игольчатых коронирующих электродах, обладающих наилучшими характеристиками, напряжение зажигания короны на воздухе находится на уровне 18–22 кВ.

При наличии в межэлектродном промежутке дисперсной фазы, особенно с медианным диаметром менее 10 микрон, эффект запираания коронного разряда приводит к сближению величины напряжения зажигания короны и уровня пробивных напряжений нередко до такой величины, когда система управления электрофильтра начинает работать неустойчиво, что приводит к отказу в работе системы автоматики.

Представляет практический интерес создание коронирующих элементов, обладающих пониженным напряжением зажигания короны. Разработка коронирующего элемента с пониженным напряжением зажигания короны основной целью имеет увеличение перенапряжения и, как результат, повышение эффективной скорости дрейфа частиц и устойчивой работы электрофильтра.

Проведенные исследования показали, что снижение напряжения зажигания, например, с 20 кВ до 10 кВ при рабочем напряжении  $U_2 = 50$  кВ, эквивалентно повышению скорости дрейфа на 25 %. Расчет, проведенный по РД РТМ 26-14-21-80, также показывает значительное изменение скорости дрейфа частиц пыли при изменении напряжения зажигания. Уточненное значение зависимости эффективной скорости дрейфа частиц от напряжения зажигания короны  $W_n = f(U_0)$  может быть получено на основании эксперимента, так как известные аналитические зависимости величины напряжения зажигания от радиуса кривизны острия игл не учитывают многообразия реальных условий. С этой целью были проведены исследования коронирующего элемента с малым радиусом кривизны острия коронирующих игл и пониженным экранирующим влиянием самого тела электрода.

Испытание незапыленных опытных коронирующих элементов в лабораторных условиях показало, что напряжение зажигания находится на уровне 8–10 кВ.

Дальнейшие исследования коронирующих электродов осуществлялись на промышленном электрофильтре. Одна секция электрофильтра была оснащена ленточно-игольчатыми электродами, другая – коронирующими электродами с пониженным напряжением зажигания. Вольтамперные и редуцированные характеристики, снятые в период испытаний, подтвердили снижение напряжения зажигания до 11 кВ на секции с опытными коронирующими электродами (рисунок 1). При сравнительных испытаниях электродов, при скоростях газа в активной зоне электрофильтра 1,0 м/с, получено снижение выбросов пыли соответственно в 2 раза в диапазоне температур 150–200<sup>0</sup> С. Запыленность газов на входе в электрофильтр составляла 13–23 г/м<sup>3</sup>.

Зависимость относительного уноса золы от температуры газов для двух типов коронирующих электродов при скорости в активной зоне электрофильтра 1 м/с представлена на рисунке 2. Подтверждено снижение уноса золы на всем протяжении диапазона температур в случае применения коронирующих электродов с малым радиусом кривизны игл.

Коронирующие электроды с пониженным напряжением зажигания были смонтированы в одной секции электрофильтра ДГПС-65х2, реконструированного по типу УГ. Вторая секция была оснащена ленточно-игольчатыми коронирующими электродами.

При одинаковом напряжении на соответствующих полях секций, скорости газов в активном сечении порядка 1,3 м/с и температуре 140–165<sup>0</sup> С получено снижение выбросов примерно в два раза.

Таким образом, исследования, проведенные в лабораторных и промышленных условиях, показали, что снижение напряжения зажигания коронного разряда до 11 кВ позволяет достичь значительного повышения степени очистки газов.

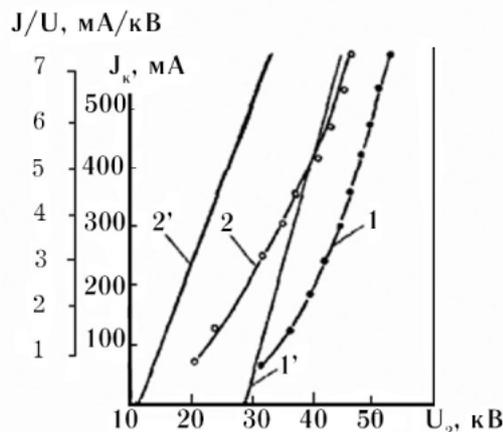


Рис. 1. Вольтамперные характеристики на воздухе.

1 – ленточно-игольчатые коронирующие электроды; 2 – опытные коронирующие электроды;  
1'–2' – соответствующие редуцированные характеристики полей.

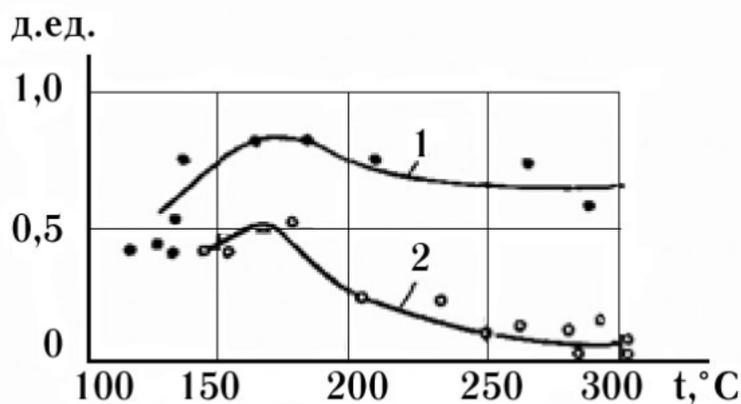


Рис. 2. Зависимость величины уноса золы от температуры.

1 – ленточно-игольчатые коронирующие электроды;  
2 – опытные коронирующие электроды.

Чекалов Л.В., Санаев Ю.И.

## Опыт эксплуатации зарубежного электрофильтра на установке «Кодиак» ОАО «Янос» и разработка отечественного аппарата. Снижение токсичности отработавших газов дизелей с помощью электрофильтров

В июле 2002 г. в ОАО «Славнефть Ярославнефтеоргсинтез» был произведен монтаж электрофильтра на установке регенерации серной кислоты.

В электрофильтр поступают газы от печи сжигания, в которой происходит термическое разложение серной кислоты в пламени сероводорода. Очищенные от твердых включений газы далее поступают в каталитические реакторы, где происходит окисление  $SO_2$  в  $SO_3$ . После окончания монтажа электрофильтра была выполнена пуско-наладка электрофильтра включающая:

- тестирование и заполнение воздухом;
- контрольный пуск, включающий настройку агрегатов питания и режимов встряхивания электродов.

После окончания пусконаладочных работ были проведены пылегазовые измерения. В результате этих измерений установлено, что входная запыленность находится на уровне 257, а выходная 33 мг/нм<sup>3</sup>, при этом степень очистки находилась на уровне 70–80 %, что значительно ниже проектной эффективности (90 %). В результате полугодовой эксплуатации степень очистки газов снизилась до 70–80 %. Во время останова электрофильтра был произведен осмотр оборудования. В результате осмотра выявлено:

- бункера электрофильтра примерно на 70 % заполнены пылью;
- остаточный слой пыли на осадительных и коронирующих электродах после отключения встряхивания составляет 5–6 см;
- в нижней части бункеров обнаружены трудно удаляемые отложения пыли.

После очистки электродной системы и бункеров электрофильтр был запущен в работу. Электрические характеристики были на уровне:  $U_2 = 42–45$  кВ,  $I_2 = 140–150$  мА.

Результаты пылегазовых измерений показали, что степень очистки газов осталась на недопустимо низком уровне и не превышала 70–80 %.

Анализ работы электрофильтра и осмотр его внутреннего оборудования во время остановов позволили установить следующие причины низкой эффективности:

- недостаточная эффективность системы встряхивания коронирующих электродов;
- неудовлетворительное отряхивание пыли с электродов, особенно в нижней их части;
- отложение пыли на стенках бункеров, затрудняющие эвакуацию пыли;
- отсутствие в электрофильтрах пылевыгрузных устройств.

Семибратовская фирма НИИОГАЗ в течение последних 20 лет выполняла работы, связанные с пробле-

мой разработки высокотемпературных электрофильтров в различных отраслях промышленности. Был разработан типоразмерный ряд высокотемпературных электрофильтров типа ЭГТ. Кроме того, были созданы высокотемпературные электрофильтры для Костромской ГРЭС, для установки каталитического крекинга Ярославского НПЗ, для Новосибирского оловозавода и других предприятий.

В последнее время разработаны новые типы коронирующих электродов, позволяющие на 25–30 % увеличивать скорость дрейфа частиц в электрофильтрах, что эквивалентно сокращению одного поля в четырехпольном электрофильтре.

В настоящее время у ОАО «СФ НИИОГАЗ» совместно с ОАО «Янос» разработаны мероприятия по устранению недостатков электрофильтра установки «Кодиак», которые будут внедрены при плановом ремонте установки.

Для обеспечения нормальной работы технологической схемы установки «Кодиак» предусматривается:

- усиление обогрева бункеров;
- установка вибровстряхивания бункеров;
- изготовление и монтаж двойных пылевых затворов и устройств сбора уловленной пыли;
- интенсификация встряхивания осадительных и коронирующих электродов.

В связи с необходимостью расширения сернокислотного производства на ОАО «Янос», Семибратовской фирмой НИИОГАЗ получена заявка на разработку нового высокотемпературного электрофильтра. В этом аппарате будут применена новая высокоэффективная электродная система и современные решения по устройствам регенерации электродов.

Актуальной задачей является также снижение вредного воздействия на окружающую среду выхлопных газов стационарных дизельных двигателей энергетических установок, испытательных стендов моторостроительных заводов и пр.

Основным направлением снижения токсичности отработавших газов (ОГ) дизелей в настоящее время является оптимизация процессов сжигания топлива непосредственно внутри цилиндра.

Однако применение этого пути для дизелей, находящихся в эксплуатации, особенно если дизель морально и физически устарел, нередко не представляется возможным.

В этом случае снижение токсичности ОГ может осуществляться за пределами камеры сгорания. Для этой цели могут применяться специальные нейтрализаторы (жидкостные, пламенные, каталитические) и общепромышленные средства очистки газов. Тип применяемого общепромышленного устройства очистки газов определяется в первую очередь свойствами компонентов, подлежащих улавливанию.

Основная масса вредных компонентов ОГ дизелей (до 90 %) газообразная и состоит из окислов углерода, серы, углеводородов [1]. Твердая фаза состоит из сажи, пылевых частиц, поступающих из воздуха, зольных составляющих топлива и металлических частиц образовавшихся в результате взаимного трения деталей дизеля. Жидкая фаза представлена исходными и частично окисленными углеводородами топлива и масла.

Рассмотрим кратко возможность использования некоторых видов общепромышленных аппаратов очистки газов:

- инерционные;
- мокрые;
- фильтрации через пористую перегородку;
- электрические.

Инерционные способы очистки ОГ от сажи неприемлемы по причине малого размера и низкой концентрации твердых и жидких частиц.

Существующие мокрые схемы и аппараты, как правило, при очистке ОГ не позволяют получить степень очистки более 60–70% [2]. Кроме того, эти схемы требуют дополнительных устройств и затрат на очистку жидкостей.

Применение матерчатых фильтров ограничено высокими температурами ОГ, а снижение температуры ОГ какими-либо средствами приводит к нежелательному усложнению схемы очистки газов. Использование материалов типа ФНС или металлокерамических фильтровальных патронов, имеющих параметры, позволяющие улавливать мелкие частицы содержащиеся в ОГ позволяет считать это направление приемлемым, однако повышенное гидравлическое сопротивление и сложность регенерации могут существенно затруднить их применение.

Испытания зернистых фильтров [1] показали принципиальную возможность их применения для очистки (ОГ) дизелей, однако повышенное гидравлическое сопротивление (35–40 кПа) является их существенным недостатком.

Как показал опыт СФ НИИОГАЗ, перспективным способом очистки ОГ стационарных дизелей можно считать применение электрофильтров, имеющих специальные конструкции.

Первоначально опыты по электрическому осаждению сажи из ОГ дизелей были проведены СФ НИИОГАЗ совместно с ФНИКТИД в г. Москве. Дизель мощностью 150 кВт был оснащен экспериментальным

однополюсным электрофильтром, имеющим сечение активной зоны 0,5 м<sup>2</sup>. В результате проведенных исследований было установлено, что в электрофильтре не происходит замасливания осадительных поверхностей несгоревшими частицами масла и топлива. Осажденный на электродах слой пыли очень плохо удаляется под действием отряхивающих ускорений, однако легко сдувается струей сжатого воздуха.

С учетом результатов этих исследований в дальнейшем был разработан, изготовлен и сдан в промышленную эксплуатацию электрофильтр типа ЭГМ-1-6,6-1-3,5 [3,4]. Этот электрофильтр был разработан специально для очистки ОГ стационарных дизелей.

Оборудование электрофильтра размещено в стальном прямоугольном корпусе. Осадительные электроды снабжены специальным устройством, препятствующим вторичному уносу сажи в процессе осаждения и при встряхивании. Аппарат оснащен диффузором и конфузуром, обеспечивающими равномерное распределение газов по сечению электрофильтра и бункерами для сбора уловленной сажи. Электрофильтр имеет следующие габариты: длина – 6,0м, ширина – 4,8 м, высота – 4,1м.

Очистка электродов от осевшей пыли осуществляется с помощью импульсов сжатого воздуха. При скорости газов в активной зоне электрофильтра 0,6 м/с производительность электрофильтра составляет 14200 м<sup>3</sup>/час. Массовая концентрация сажи на выходе из электрофильтра не превышала 0,04г/м<sup>3</sup>.(н.у.) при входной концентрации до 0,5 г/м<sup>3</sup> (н.у.).

При испытаниях электрофильтра было достигнуто снижение окиси углерода на 30 %, двуокиси азота, двуокиси серы и углеводородов на 80 %. Эти электрофильтры были изготовлены на опытно-промышленной базе СФ НИИОГАЗ в количестве 4 шт. для предприятий г. Москвы.

Конструкция электрофильтров приведена на рисунке 1.

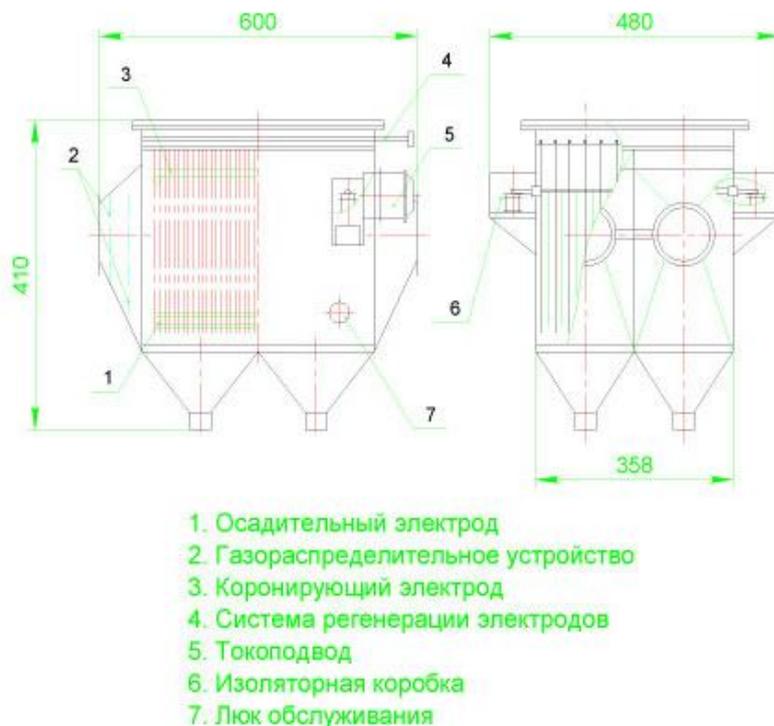


Рис. 1. ЭГМ-6,6-1-3,5

Отходящие от дизеля газы поступают через газоход в диффузор, где, распределяясь равномерно по сечению, электрофильтра с помощью газораспределительного устройства (2), поступают в активную зону электрофильтра, состоящую из коронирующих (3) и осадительных (1) электродов. Коронирующие электроды установлены на высоковольтных изоляторах, размещенных в изоляторных коробках (6). Высокое напряжение от серийного агрегата питания подается на коронирующие электроды через токоподвод (5).Осевшая на электродах пыль периодически удаляется с помощью системы регенерации состоящей из труб с соплами, через которые подаются импульсы сжатого воздуха. Удаленная с электродов пыль поступает в бункера. Осмотр внутреннего оборудования электрофильтров во время остановов при необходимости может производиться через люки обслуживания (7). Электрофильтр имеет следующие технические показатели:

Производительность(при скорости газов 1м/с), м <sup>3</sup> /час	14200
Площадь активного сечения.м <sup>2</sup>	6,6

Площадь поверхности осаждения	236
Расстояние между осями осадительных электродов, мм	220
Массовая концентрация сажи на входе, г/м <sup>3</sup>	0,5
Массовая концентрация сажи на выходе, г/м <sup>3</sup>	0,04

Успешное применение электрофильтров ЭГМ-6,6-1-3,5 для очистки ОГ дизелей позволило расширить область применения этих аппаратов. В 1985 г. были разработаны и поставлены в г. Владимир два электрофильтра для очистки ОГ стендов испытания дизелей

Анализ работы электрофильтров, разработанных в СФ НИИОГАЗ, позволяет сделать вывод о целесообразности применения электрофильтров для очистки отработавших газов стационарных дизелей.

Для очистки газов от пыли, образующейся при плазменной резке металлов в ОАО «СФ НИИОГАЗ» был разработан и установлен на Ярославском судостроительном заводе электрофильтр типа ЭВПР-8-3-3.

В этом электрофильтре были применены специальные коронирующие электроды с пониженным напряжением зажигания. При испытаниях электрофильтра было установлено, что запыленность на выходе из электрофильтра не превышает 5 мг/м<sup>3</sup>, что позволяет обеспечить требуемые санитарные нормы при эксплуатации машин плазменной резки металла.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Гладков О.А., Лерман Е.Ю.* Создание малотоксичных дизелей речных судов. Л., Судостроение, 1990.
2. *Гладков О.А., Смайлис В.И., Новиков Л.А.* Исследование опытной стендовой системы жидкостной очистки отработавших газов дизеля. Двигателестроение. № 87, 1982.
3. *Санаев Ю.И.* Электрофильтр ЭГМ-6,6-1=3,5/Информационный листок № 14-2000. Ярославль, ЦНТИ, 2000.
4. *Санаев Ю.И.* Малогабаритные электрофильтры для очистки газов, выпускаемые ОАО «СФ НИИОГАЗ».
5. Материалы второй научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии Ярославской области». Т. 2. Ярославль, 2002.

**Белогловский А.А., Чекалов Л.В.**

## Расчет степени очистки газов в электрофильтрах при высокой концентрации дисперсной фазы

Электрофильтры являются одним из основных средств для очистки газов от взвешенных в них частиц [1]. В последние годы все более актуальной становится очистка дымовых газов от очень мелких частиц (размером менее 1 мкм). При одной и той же весовой концентрации число частиц в единице объема очищаемого газа растет обратно пропорционально кубу размера частиц. Столь резкое увеличение счетной концентрации приводит к существенному изменению в процессах осаждения частиц. Во-первых, меняются условия и характеристики коронного разряда и, во-вторых, как следствие, изменяются условия зарядки и движения частиц. Из-за увеличения концентрации частиц их зарядка происходит при дефиците ионов. Кроме того, изменяется распределение напряженности поля, что непосредственно влияет на значения предельного заряда и скорость дрейфа частиц.

Особенности работы электрофильтров при высокой концентрации дисперсной фазы были рассмотрены ранее в [1, 2]. Однако проблемы с определением заряда частиц в этих условиях не позволили создать методу расчета степени очистки газов с учетом влияния дисперсной фазы.

В статье на примере трубчатого электрофильтра в сернокислотном производстве представлены методики и результаты расчета степени улавливания капель из тумана серной кислоты.

**Анализ работы электрофильтров при высокой концентрации дисперсной фазы.** Отличие условий, в которых существует коронный разряд при наличии дисперсной фазы в промежутке, заключается в том, что частицы заряжаются и, таким образом, суммарный объемный заряд состоит из заряда не только ионов, но и частиц. Суммарный объемный заряд сохраняется примерно на одном уровне, так как его значение, как и при отсутствии дисперсной фазы, определяется условием равенства напряженности у коронирующего электрода начальной напряженности. Обычно имеющее место некоторое изменение связано с изменением характера распределения суммарной плотности объемного заряда по промежутку.

Пояснить утверждение о неизменности суммарного объемного заряда в промежутке можно следующим образом. В результате действия поля суммарного объемного заряда напряженность у коронирующего электрода уменьшается от высокого электростатического значения до значения начальной напряженности. Если

суммарный объемный заряд возрастает, то возрастает и его ограничивающее действие, и напряженность у коронирующего электрода станет ниже начальной. Как следствие, интенсивность ионизационных процессов уменьшится и это приведет к уменьшению суммарного объемного заряда в промежутке. Таким образом, стабильность объемного заряда обеспечивается как бы действием сильной обратной связи.

При высокой концентрации дисперсной фазы плотность объемного заряда частиц становится соизмеримой, а часто и превышает плотность объемного заряда ионов при сохранении суммарного значения на одном уровне. Уравнения коронного разряда при наличии дисперсной фазы имеют вид [2]:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{E} &= (\rho_{\text{и}} + \rho_{\text{ч}}) / \varepsilon_0; \\ \operatorname{div} (\vec{J}_{\text{и}} + \vec{J}_{\text{ч}}) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

где  $E$  – напряженность поля;  $\rho_{\text{и}}$  – плотность объемного заряда ионов;  $\rho_{\text{ч}}$  – плотность объемного заряда частиц;  $J_{\text{и}}$  – плотность тока ионов;  $\vec{J} = k \rho_{\text{и}} \vec{E}$ ,  $k$  – подвижность ионов;  $J_{\text{ч}}$  – плотность тока частиц;  $\vec{J}_{\text{ч}} = NqV \vec{E}$ ,  $q$  – заряд частиц;  $V$  – механическая подвижность частиц;  $N$  – концентрация частиц.

Из-за того, что подвижность ионов много больше подвижности заряженных частиц, т.е.  $k \gg qV$ , ток определяется ионной составляющей. Таким образом, уменьшение объемного заряда ионов при наличии дисперсной фазы приводит к уменьшению суммарной плотности тока коронного разряда. Это явление получило название «запирания» коронного разряда.

Рассмотрим запирание коронного разряда в трубчатом электрофилтре (рис. 1). Допустим, что из-за большой концентрации частиц объемный заряд частиц становится таким большим, что ионной составляющей можно пренебречь. Обозначим соответствующую плотность объемного заряда частиц через  $\rho_{\text{зап}}$ . Эти условия соответствуют полному запиранию коронного заряда.

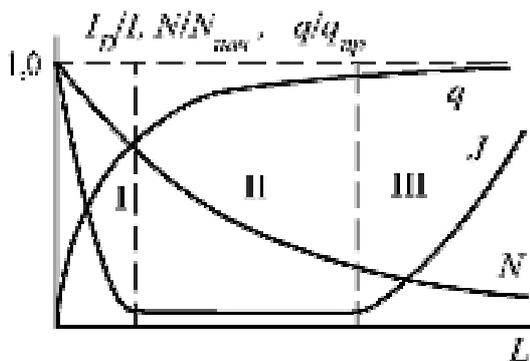


Рис. 1. Изменение относительных тока  $I_D/I$ , концентрации  $N/N_{\text{нач}}$  и заряда частиц  $q/q_{\text{пр}}$  по длине электрофилтра.

В случае, если концентрация числа  $N$  настолько велика, что ток короны практически запирается при заряде частиц  $q=q_{\text{зап}}$ , меньшем предельного, по длине электрофилтра можно выделить три зоны (рис. 1).

В зоне I происходит сравнительно быстрая зарядка частиц до  $q_{\text{зап}}$ . Ток короны падает практически до нуля, концентрация частиц  $N$  в этой зоне практически не меняется. В зоне II из-за осаждения частиц их концентрация уменьшается, что приводит к частичному отпиранию тока короны и медленной подзарядке частиц таким образом, чтобы плотность объемного заряда частиц оставалась близкой к запирающей.

Начало зоны III соответствует условиям, при которых заряд частиц начинает приближаться к предельному значению  $q_{\text{пр}}$ . Выполненные расчеты показывают, что начало отпирания коронного разряда несколько опережает выход заряда на предельное значение. Это означает, что возможно существование ионного тока, хотя заряд не достиг еще предельного значения. Причиной является неравномерное распределение плотности ионного тока в промежутке и флуктуации в заряде частиц. Некоторый рост заряда происходит и после частичного отпирания коронного разряда вплоть до тока, приближающегося к  $I_{\text{max}}$  (при отсутствии влияния дисперсной фазы). Это явление связано также с изменением распределения объемного заряда в процессе отпирания коронного разряда. Это обстоятельство не принималось во внимание в предшествующих работах.

При дальнейшем осаждении частиц в электрофилтре их концентрация падает, происходит полное отпирание коронного разряда, ток и заряд частиц стремятся к предельному значению.

Приближенный теоретический анализ запирания коронного разряда путем решения уравнений (1) на основе допущения Дейча–Попкова выполнен в [2]. Для условий улавливания высокодисперсных капель тумана в трубчатых электрофилтрах наиболее подходящим является условие равномерного распределения заряда частиц по сечению промежутка, т.е.  $\rho = \text{const}$ . Это является определенным допущением.

Влияние частиц на характеристики коронного разряда определяется безразмерным параметром  $D$ :

$$D = \rho_{\text{ч}} h / \varepsilon_0 E_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где  $h$  – расстояние между электродами;  $E_{\text{ср}} = U/h$  – средняя напряженность поля в промежутке.

Физический смысл параметра  $D$  можно пояснить исходя из того, что комбинация величин  $\rho_{\text{ч}} h / \varepsilon_0$  определяет составляющую напряженности поля объемного заряда частиц. Таким образом,  $D$  представляет собой соотношение между напряженностью поля объемного заряда частиц и средней напряженностью поля. Чем больше параметр  $D$ , тем сильнее проявляется запирающее действие дисперсной фазы.

Часто используется более простое для расчета выражение [1-2]:

$$D = \xi K_{\varepsilon} S h \quad (3)$$

где  $\xi = q/q_{\text{пр}}$  – коэффициент, характеризующий степень недозарядки частиц по отношению к предельному заряду  $q_{\text{пр}}$ ;  $K_{\varepsilon} = 1 + 2 \left( \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \right)$  (для проводящих частиц  $K_{\varepsilon} = 3$ );  $S = 4\pi a^2 N$  – суммарная поверхность частиц в единице объема;  $a$  – радиус частиц.

Следует иметь в виду, что расчет по (3) дает несколько заниженное значение параметра  $D$ . В частности, не учитывается диффузионная составляющая заряда частиц.

Характерным является значение  $D_{\text{зап}}$ , при котором происходит задержание коронного разряда, т.е. ионная составляющая тока становится равной нулю. Таким образом, влияние дисперсной фазы характеризуется отношением  $D^* = D_{\text{зап}}$ . Для системы коаксиальных цилиндров в предположении  $\rho_{\text{ч}} = \text{const}$  получена следующая формула [2]:

$$D_{\text{зап}} = 3,75 (U^* - 1) U^* \quad (4)$$

где  $U^* = U / U_0$ ;  $U$  – рабочее напряжение;  $U_0$  – начальное напряжение коронного разряда. Затухание тока для коаксиальных цилиндров описывается соотношением [2]:

$$I_D / I = (1 - D^*) (1 - 0,75 D^*)$$

где  $I_D$  и  $I$  – ток коронного разряда при наличии и отсутствии дисперсной фазы соответственно.

Кроме задержания коронного разряда наличие дисперсной фазы влияет на распределение напряженности поля. Так как суммарный объемный заряд сохраняется на одном и том же уровне, то изменение напряженности происходит только за счет перераспределения объемного заряда в промежутке и не является очень значимым (рис. 2).

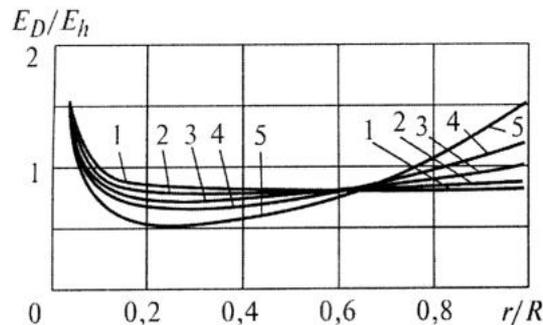


Рис. 2. Распределение напряженности электрического поля при наличии заряженной дисперсной фазы ( $\rho_{\text{ч}} = \text{const}$ , система электродов – коаксиальные цилиндры,  $r_0 = 0,01$ ,  $U^* = 3$ ):  
1 –  $D = 0$ ; 2 – 0,4; 3 – 1,2; 4 – 1,8; 5 – 3,0.

Наибольшие изменения напряженности поля имеют место у некоронирующего электрода и составляют примерно 100% при  $D \approx 2,5$ . Из анализа влияния дисперсной фазы на поле и ток коронного разряда следует, что если принять допустимыми снижение тока на 30% и изменение напряженности на 10%, то влияние концентрации частиц в условиях развитой короны ( $U^* > 2$ ) можно не учитывать при  $D \leq 0,3 \div 0,5$ .

**Методика расчета степени очистки.** Для электрофильтров трубчатой формы степень очистки газов от частиц в соответствии с [1,2] определяется по формуле:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{2Wk_n L}{V_r R}\right) \quad (6)$$

где  $W$  – скорость движения частиц под действием электрического поля (скорость дрейфа);  $L$  – длина электрофильтра;  $R$  – радиус внешней трубы;  $V_r$  – скорость газа в электрофильтре.

Коэффициент неравномерности распределения концентрации частиц по поперечному сечению электрофильтра  $k_n$  для частиц  $a_{\text{ч}} \leq 1$  мкм принимается равным 1,0.

Скорость дрейфа частиц определяется с учетом поправки Кенингема:

$$W = \frac{E_{cp}q}{6\pi\mu\alpha} \left( 1 + A_k \frac{l_m}{\alpha} \right) \quad (7)$$

где  $q$  – заряд частиц;  $a$  – радиус частиц;  $\mu$  – вязкость газа;  $l_m$  – длина свободного пробега молекул в газе; постоянная  $A_k = 0,86$ ;  $E_{cp}$  – средняя напряженность за все время движения частицы в электрофилт্রে (с учетом пробоев в электрофилт্রে и действия системы регулирования напряжения).

Заряд частиц  $q$  определяется с учетом ударного и диффузионного механизмов зарядки частиц в поле коронного разряда [2]:

$$q = q_{уд} + q_{диф} = \xi q_{пр} = \xi \left( 3\alpha^2 E_m + \alpha A \frac{D}{k} \right) 4\pi\epsilon_0 \quad (8)$$

где  $\xi$  – степень недозарядки частиц до предельного значения  $q_{пр}$  из-за влияния дисперсной фазы;  $D$  – коэффициент диффузии;  $k$  – подвижность ионов;  $A = 6,7$ ;  $E_m$  – максимальное значение напряженности, соответствующее наибольшему мгновенному значению напряжения па электрофилт্রে (что следует из физического механизма зарядки частиц в поле коронного разряда [2]: заряд растет с ростом напряженности до  $E_m$ , а при последующем снижении  $E$  не уменьшается).

Если из расчета поля коронного разряда при известных значениях напряжения на электрофилт্রে  $U_{cp}$  и  $U_{max}$  определены соответственно  $E_{cp}$  и  $E_{max}$ , то для расчета степени очистки по формулам (6)-(8) необходимо знать степень недозарядки частиц  $\xi = q/q_{пр}$ . Считаем, что зарядка частиц прекращается при приближении значения параметра  $D$  к  $D_{зап}$  (см. (2) и (4)). Более того, зарядка резко замедляется при  $D < D_{зап}$ , так как даже частичное уменьшение тока коронного разряда по (5) приводит к существенному замедлению зарядки из-за дефицитов ионов. Только при  $D = 0,5 D_{зап}$  заряд частиц приближается к предельному.

Примем приближенно, что зарядка прекращается при  $D_p = 0,7 D_{зап}$  ( $D_p$  – рабочее значение, которое реализуется в электрофилт্রে при высокой концентрации дисперсной фазы). Расчеты подтверждают правильность выбора значения этого параметра.

При расчете степени очистки является полезным и предельное значение параметра  $D$ :

$$D_{пр} = \rho_{ч.пр} R^2 / \epsilon_0 U \quad (9)$$

где  $\rho_{ч.пр} = q_{пр} N$ .

Тогда степень недозарядки определяется как

$$\xi = \frac{D_p}{D_{пр}} = \frac{0,7 D_{зап}}{D_{пр}} \quad (10)$$

Из-за осаждения частиц их концентрация в межэлектродном промежутке электрофилт্রে будет уменьшаться ( $N_{тек} < N_{нач}$ ) и соответственно будет изменяться  $D_{пр}$ . Тогда текущее значение коэффициента недозарядки  $\xi_m$  равно:

$$\xi_m = 0,7 D_{зап} N_{нач} / D_{пр} N_{тек} \quad (11)$$

При заданной весовой концентрации частиц на входе в электрофилт্রে  $Z_{вх}$  ( $г/м^3$ ) концентрация частиц:

$$N_{нач} = \frac{3 Z_{вх}}{4 \pi \alpha_3^3 \gamma} \quad (12)$$

где  $\gamma$  – плотность материала частиц;  $\alpha_3$  – средне-массовый радиус частиц.

**Пример** расчета степени очистки газа в трубчатом электрофилт্রে сернокислотного производства. Рассчитаем степень улавливания капель серной кислоты в трубчатом электрофилт্রে [3]. Осадительные электроды шестигранной формы ( $D_{вис} = 250$  мм) изготовлены из электропроводящего полимера. В электрофилт্রে используются зубчатые коронирующие электроды. Длина электрофилт্রে составляет 3,5 м.

Поток газа, проходящий через аппарат со скоростью 1 м/с, содержит капли, средний размер которых составляет 0,98 мкм (среднеквадратичный размер – 1,14 мкм, среднекубический – 1,36 мкм), весовая концентрация – 2,9 г/м<sup>3</sup>.

В рабочем режиме максимальное напряжение 51 кВ, среднее напряжение при 15 пробоях в минуту 44 кВ. Для определения соответствующих значений максимальной и средней напряженности поля были проведены экспериментальные исследования на модели электрофилт্রে с помощью метода изолированного зонда [2,3]. Усредненные по межэлектродному промежутку значения напряженности соответственно составляют  $E_m = 3,96$  кВ/см и  $E_{cp} = 3,24$  кВ/см. Отметим, что максимальные или средние значения – это наибольшие или средние значения по времени с учетом пробоев и работы системы регулирования напряжения.

По результатам измерения степень очистки в электрофилт্রে на Череповецком ОАО «Аммофос» для указанных условий составила 0,962.

При расчете степени очистки по изложенной методике видно, что в процессе осаждения степень недозарядки частиц  $\xi$  меняется. В связи с этим электрофилт্রে должен быть разбит по длине на малые участки, на каждом из которых степень недозарядки принимается постоянной.

Для каждого участка длиной  $\Delta L$  считаются известными начальная степень недозарядки  $\xi_n$  и начальная концентрация частиц  $N_n$ .

Рассчитывается скорость дрейфа частиц  $W = W_{уд} + W_{диф}$  по (7) и (8) и степень очистки газа па участке  $\eta_{\Delta L}$  по (6) при  $k_n = 1$ . Далее определяется концентрация частиц в конце участка  $N_k$  :

$$N_k = N_n (1 - \eta_{\Delta L}) \quad (13)$$

$$\text{и новое значение } \xi_k = \xi_{sm} \text{ по} \quad (11).$$

Для участков, где  $\xi_n \geq 0,9$ , степень очистки рассчитывается без учета влияния дисперсной фазы.

Значение параметра, характеризующего условия запираания коронного разряда  $D_{зап}$ , определяется для электрофильтров цилиндрической геометрии по (4). Для электрофильтра с данными параметрами начальное напряжение составляет  $U_0 = 18\text{kV}$  [3] и соответственно ( $U_{cp}/U_0 = 2,44$  и  $D_{зап} = 2,3$ ). Поскольку в электрофильтре реализуется режим работы со значением параметра  $D = 0,7$   $D_{зап} = 1,6$ , то повышение напряженности из-за влияния дисперсной фазы при таком значении параметра  $D$  можно не учитывать.

При длине электрофильтра  $L = 3,5\text{ м}$  длина участков  $\Delta L = 0,3$  м. В начале и конце электрофильтра выделены зоны:  $0,15$  – для учета начального процесса зарядки частиц и  $0,05$  – для учета ослабления поля за счет краевого эффекта. Результаты расчетов представлены в таблице. Расчетное значение  $\eta_L = 0,964$  практически совпадает с экспериментальным  $\eta_{экс} = 0,962$ .

Номер участка	Результаты расчета степени очистки в полимерном электрофильтре 1 степени								
	$\Delta L$ м	$L_{г}$ м	$\xi_n$	$W_{уд}$ см/с	$W_{диф}$ см/с	$W$ , асм/с	$1 - \eta_{\Delta L}$	$N_L \cdot 10^{12}$ , $1/\text{м}^3$	$\eta_L$
1	0,15	0,15	–	–	–	–	–	1,84	–
2	0,30	0,45	0,34	3,0	0,62	3,62	0,865	1,59	0,135
3	0,30	0,75	0,39	3,47	0,71	4,18	0,846	1,35	0,270
4	0,30	1,05	0,46	4,10	0,84	4,94	0,820	1,10	0,406
5	0,30	1,35	0,56	4,98	1,02	6,00	0,790	0,866	0,529
6	0,30	1,65	0,71	6,32	1,30	7,60	0,740	0,64	0,652
7	0,30	1,95	0,80	7,12	1,46	8,58	0,710	0,454	0,753
8	1,50	3,45	0,90	8,01	1,65	9,66	0,145	0,066	0,964
9	0,05	3,50	–	–	–	–	–	–	<b>0,964</b>

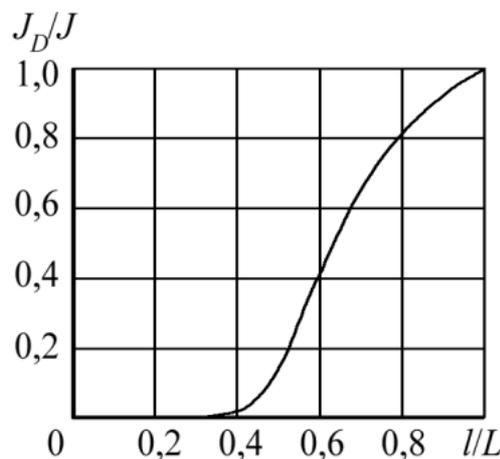


Рис. 3. Определение относительной плотности тока по длине электрофильтра

Отметим, что степень недозарядки в начальной части электрофильтра составляет  $0,35 \div 0,45$ , что приводит к такому же снижению скорости дрейфа. Запирающее действие дисперсной фазы охватывает около 55% длины электрофильтра. Почти полностью ионный ток замыкается через вторую половину длины аппарата (рис. 3).

Существенным параметром, влияющим на степень очистки  $\eta$  и остаточную запыленность  $Z_{вых}$ , является скорость газа (рис. 4). Резкое возрастание остаточной запыленности с ростом скорости газа характерно для аппаратов, работающих при высокой концентрации дисперсной фазы по сравнению с обычным электрофильтром. Например, из рис. 3 видно, что при увеличении скорости газа в 2 раза, что эквивалентно сокращению длины аппарата также в 2 раза, режим работы будет полностью относиться к режиму запираания ко-

ронного разряда по всей длине с уменьшением скорости дрейфа в 2–3 раза (см. табл.) по сравнению с режимом отсутствия запирающего. При малой концентрации дисперсной фазы увеличение скорости газа не сопровождается столь резким уменьшением степени очистки.

Отметим, что использование зубчатых коронирующих электродов по сравнению с гладкими проводами оказывает благоприятное влияние как за счет увеличения тока и, соответственно, напряженности поля у осадительного электрода, так и снижения начального напряжения. Например, с увеличением растет значение (4).

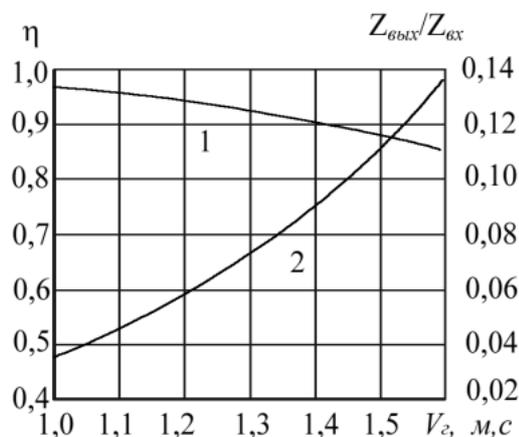


Рис. 4. Зависимость степени очистки газа (1) и проскока капель тумана кислоты (2) от скорости газа в полимерном электрофильтре

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Левитов В.И., Решидов И.К., Ткаченко В.М. и др. Дымовые электрофильтры / Под общ. ред. И.И. Левитова. М., Энергия, 1980.
2. Верещагин И.П., Левитов В.И., Мирзабекян Г.З., Пашин М.М. Основы электрогазодинамики дисперсных систем. М., Энергия, 1974.
3. Акопян А.Г. Интенсификация работы мокрых электрофильтров для улавливания высокодисперсных капель тумана. Автореферат диссертации канд. техн. наук. Воронеж, 2003.

Архипов Н.А., Чекалов Л.В.

## Очистка газов электрофильтрами в черной металлургии

До 90 % объемов технологических газов ОАО «Северсталь» традиционно очищается электрофильтрами. Экономически обосновано применение электрофильтров при очистке больших объемов газов, температурой выше 150° С, если требуется получение выходной запыленности до 50 мг/м<sup>3</sup>. При требовании достижения выходной запыленности ниже 20 мг/м<sup>3</sup> и температуре очищаемых газов до 140° С экономически выгоднее применение рукавных фильтров.

Первые электрофильтры разработки НИИОГАЗ были изготовлены на Семибратовском заводе газоочистительной аппаратуры и поставлены на Череповецкий металлургический комбинат в начале 60-х гг. Эта связь Семибратово – Череповец сохранилась до настоящего времени, сегодня ОАО «Северсталь» получает четвертое поколение электрофильтров.

Созданный в 80-е гг. в ПО «Газоочистка» электрофильтр ЭГБМ с межэлектродным промежутком 350 мм не был обеспечен исследованиями по оценке влияния параметров пылегазового потока на работу электрофильтра; разработкой новой электродной системы, исключая отрицательные влияния высокой дисперсности металлургической пыли и запирающего коронного разряда объемным зарядом этой пыли; не учитывались влияния динамичности технологических процессов и, соответственно, параметров пылегазового потока на устойчивость работы системы «Агрегат питания – электрофильтр». В результате работа электрофильтров ЭГБМ на мартеновских печах оказалась неудовлетворительной. После пуска под пылегазовый поток токовые нагрузки первого поля были снижены практически до нулевого уровня показаний приборов агрегатов питания. Через непродолжительное время токовые нагрузки падали на втором поле, затем и на третьем поле. Только на четвертом поле токовые нагрузки хотя и снижались, но составляли 20–30 % от номинальных для агрегатов питания. Средние напряжения показывающих приборов возрастали до 55 кВ, что соответствует уровню пробивных напряжений и показывает, что напряжение на электрофильтре имеет малые пульсации.

Агрегаты питания при нагрузке менее 5 % в автоматическом режиме не могут работать без специальных мероприятий, переходят в режим неуправляемых пробоев в электрофильтре. Снижение токовых нагрузок полей, даже при высоких средних напряжениях, снижает ... [ ] скорость дрейфа частиц, и для получения проектной выходной запыленности требуется увеличить время пребывания частиц в активной зоне электрофильтра. Неустойчивый режим работы агрегатов питания дополнительно усугубляет ситуацию и, соответственно, увеличивает выбросы пыли из электрофильтра.

Опыты на математической модели показали, что максимальные электрические параметры в полях электрофильтра ЭГБМ при очистке мартеновских газов не достигаются, т.е. электрическая прочность узлов токоподвода ниже, чем электрическая прочность электродной системы поля электрофильтра, и пробой происходит не в поле, а в токоподводе электрофильтра.

Анализ результатов работы электрофильтров ЭГБМ на очистке мартеновских газов, проведенный ЗАО «Кондор-Эко» и ОАО «СФ НИИОГАЗ» в 1996 году, позволил выработать дополнительные требования при разработке электрофильтра для черной металлургии. Это должен быть не общепромышленный, а специализированный электрофильтр, в котором должны быть учтены особенности влияния пылегазовых потоков в технологических производствах черной металлургии на его работу:

- Электродная система должна обеспечить работу полей электрофильтра, особенно первого поля, с большой концентрацией частиц с медианным диаметром менее 5 мкм.

- Токоподвод должен обеспечить надежную работу при наличии углерода в очищаемом газе, который образует проводящий слой при запылении.

- Система встряхивания электродов электрофильтра должна быть быстродействующей и успевать реагировать на изменение параметров пылегазового потока, зависящего от технологического режима.

- Система управления агрегатом питания должна быть гибко программируемой, обеспечивать работу при токовых нагрузках агрегата, близких к нулю, успевать отслеживать быстрое изменение параметров пылегазового потока. Этим требованиям отвечает процессорная система управления, имеющая выход на АСУТП металлургической установки.

Решение этой серьезной научно-технической задачи требует времени. Чтобы удовлетворить существующие потребности ОАО «Северсталь», в 1996 году ЗАО «Кондор-Эко» обратилось к ОАО «ФИНГО» (правопреемник ПО «Газоочистка») с предложением о восстановлении производства электрофильтров ЭГА, которые были сняты с производства в 1988 году.

Исследования, проведенные в СФ НИИОГАЗ в 1975–1985 гг. по разработке и совершенствованию электрофильтров ЭГА позволили утверждать, что влияние эффекта запираания коронного разряда объемным зарядом мелкодисперсной пыли у него будет существенно меньше, чем у электрофильтра ЭГБМ. Опыт применения электрофильтра ЭГА при улавливании мелкодисперсной пыли из отходящих газов печей ДСП Молдавского металлургического завода и металлургического завода в г. Комсомольск-на-Амуре подтвердили эти выводы.

В 1997 году в ОАО «Северсталь» была проведена реконструкция установки газоочистки после шахтных мельниц, в отделении измельчения и сушки известняка аглоцеха № 3. В сохранившихся корпусах электрофильтра УГ путем наращивания стенок установлено механическое оборудование электрофильтра ЭГА с высотой электродов 9 метров. Установлена более эффективная и надежная система предварительной очистки путем замены батарейных циклонов на групповые. Заменены на новые агрегаты питания с переменным коэффициентом трансформации и системой управления АРП. Система управления АРП не изменяет коэффициент трансформации автоматически, он устанавливается заданным при пуске.

Указанные мероприятия позволили достичь при пусковых испытаниях запыленности на выходе из установки газоочистки  $50 \text{ мг/м}^3$  при проектной выходной запыленности из шахтной печи до  $300 \text{ г/м}^3$ .

Эксплуатация модернизированной установки газоочистки шахтных печей продолжается до настоящего времени, замеры выходной запыленности показывают, что она продолжает оставаться в пределах  $70 \text{ г/м}^3$ . Увеличение выходной запыленности в течение 6 лет – естественный процесс, связанный с износом механического оборудования электрофильтров, модернизированных по типу ЭГА в процессе эксплуатации.

Успешно была проведена аналогичная реконструкция электрофильтров котла № 10 ТЭЦ ПВС. Результаты испытаний подтвердили достижение планируемой эксплуатационной выходной запыленности  $50\text{--}60 \text{ г/м}^3$ , надежной и устойчивой работы модернизированных электрофильтров.

Совместная настойчивая работа ОАО «Северсталь» и ЗАО «Кондор-Эко» при замене внутреннего оборудования электрофильтра ЭГА на ТЭЦ ЭВС не на новое ЭГБМ, а на родное ЭГА позволила избежать тех неприятностей, которые наблюдались на установках газоочистки мартеновских печей.

К 2003 г. ЗАО «Кондор-Эко» совместно с ОАО «СФ НИИОГАЗ» провели комплекс исследований и конструкторских работ, направленных на разработку специализированного электрофильтра для черной металлургии типа ЭГАВ. Научные основы разработки нового поколения электрофильтров изложены в [1].

Ключевым моментом в разработке электрофильтров является правильный выбор электродной системы. Известны различные конструкции электрофильтров, но традиционно сложились два направления:

1 – Европейское, где коронирующие электроды рамной конструкции с установленными в раму коронирующими элементами, и осадительные электроды, элементы которых зафиксированы балкой встряхивания на всю длину поля и встряхиваются ударом молотка о наковальню. При этом осадительные элементы имеют сложный профиль, но выступы, обеспечивающие их жесткость, ограничены расстоянием между полосами балки встряхивания в 40–60 мм.

2 – Американское, где механизм встряхивания размещается сверху электродной системы и соответственно коронирующие электроды имеют мачтовую структуру. На трубах размещаются коронирующие лепестки или прутки, а осадительные электроды имеют коробчатую форму, при этом конструкция электродной системы обеспечивает равнопрочные пробивные характеристики во все стороны от лепестка или конца прутка. Имеют место две ярко выраженные зоны поля коронного разряда: напротив концов лепестков или прутков и электростатического поля в зоне труб (мачт), на которых крепятся лепестки или прутки.

Обе системы имеют свои преимущества и свои недостатки. Основное преимущество европейской системы – эффективное отряхивание электродов, а американской – пониженное напряжение зажигания коронного разряда и, естественно, более высокая скорость дрейфа частиц и соответственно меньшие габариты аппаратов

При разработке нового электрофильтра ЭГАВ была поставлена цель – сохранить конструкцию ЭГА, технологию изготовления и более чем 40-летний опыт инжиниринга, при этом добиться напряжения зажигания коронного разряда на уровне или ниже, чем в американских электрофильтрах. Опыт исследований коронирующих электродов СФ НИИОГАЗ и к.т.н. Санаева Ю.И. позволил разработать конструкцию коронирующего элемента с напряжением зажигания 10–12 кВ типа СФ-1 – для электрофильтров с межэлектродным промежутком до 350–400 мм, и типа СФ-2 – для электрофильтров с межэлектродным промежутком от 350 до 500 мм. Для сравнения: напряжение зажигания коронного разряда на ленточно-игольчатых электродах электрофильтра ЭГА – 22–24 кВ, на ленточно-зубчатых у ЭГБМ – 24–26 кВ.

Научные основы, объясняющие влияние снижения напряжения зажигания коронного разряда  $U_0$  на расширение области работы электрофильтра при запирающем воздействии мелкодисперсной фазой (медианный диаметр  $d < 5$  мкм). При запирающем действии объемного заряда дисперсной фазы увеличивается требуемое время зарядки частиц до предельного заряда. Часть электрофильтра, где есть подзарядка частиц, работает, но эффективность осаждения снижена, хотя объемный заряд и увеличивает напряженность поля у осадительного электрода.

Научные основы для разработки нового коронирующего элемента и результаты исследований, объясняющие повышение эффективности работы электрофильтра европейской модели с коронирующими элементами, имеющими напряжение зажигания  $U_0=10–12$  кВ, планируется опубликовать в журнале «Электрические станции» в 2004 году. Новый коронирующий элемент типа СФ-1 принят за базовый в новом электрофильтре ЭГАВ для черной металлургии.

В ОАО «СФ НИИОГАЗ» к.т.н. Завьялов А.И. провел испытания электрода рамной конструкции с элементами СФ-1 высотой 18 метров (конструкция предложена в [3]). Сделанные выводы заключаются в том, что в энергетике можно эффективно отряхивать коронирующие электроды с элементами СФ-1 высотой до 18 м и длиной поля до 4 м. В черной металлургии высоту электродов ограничили в первом образце до 12 метров. Испытания на надежность потребовали доработки технологии изготовления и в результате достигли ресурса коронирующих элементов при самом тяжелом режиме встряхивания, равного сроку службы всего электрофильтра.

Пыли в черной металлургии требуют больших ускорений для встряхивания коронирующих и осадительных электродов. Поэтому для обеспечения встряхивания электродов, как это принято в американской модели, потребуется проектировать короткие поля и, как следствие, нерационально использовать объем корпуса электрофильтра, расходуя его на дополнительные межполевые промежутки. Чтобы эффективно соединить преимущества американской и европейской моделей, в электрофильтре ЭГАВ на верх вынесено только встряхивание коронирующих электродов. При этом, как наиболее эффективное, сохранено молотковое встряхивание как для коронирующих, так и для осадительных электродов.

Работа пылеобразующих агрегатов в металлургии, например, дуговых и рудотермических печей, известна своей динамичностью [4]. Так, запыленность в потоке отходящих газов может возрастать в десятки раз за минуту. Существующие приводы механизмов встряхивания электродов на основе мотор-редукторов МПО и дополнительной цилиндрической пары с общим передаточным числом до 5000 уже не отвечают современным требованиям – в течение 1 минуты реагировать на изменение параметров пылегазового потока. Исследования безударного пуска асинхронных двигателей в приводах механизмов встряхивания электродов, проведенные в СФ НИИОГАЗ в 1978–1980 гг., выявили необходимость использования частотного управления асинхронными двигателями в указанных приводах. Но из-за высокой стоимости и низкой надежности частотных регуляторов в тот период применение их было невыгодно.

Современный привод с частотным управлением электродвигателем для механизмов встряхивания электродов электрофильтра весит с редуктором менее 20 кг (привод на основе МПО с цилиндрической парой

весит более 200 кг). Применение безударного пуска позволяет включать электродвигатель, не разбивая входные шестерни редуктора, и частота включений зависит только от выбора двигателя по нагреву.

Управление электродвигателем с алгоритмом позиционирования допускает поворот вала механизмов встряхивания на заданный угол за один пуск электродвигателя, таким образом, имеется возможность управлять встряхиванием каждого отдельного электрода в электрофильтре.

Выбор передаточного числа редуктора, кроме обеспечения требуемого момента для трогания вала механизмов встряхивания в пылевых подшипниках, сделан с учетом надежной реакции системы управления на заклинивание молотков механизма встряхивания.

Система управления является нечувствительной к перемене фаз на питании электродвигателя и его невозможно включить в обратном направлении вращения. Этот режим существенно повышает эксплуатационную надежность механизмов встряхивания.

В электрофильтре ЭГВВ применено верхнее расположение механизмов встряхивания коронирующих электродов. Такое решение при динамичном изменении температуры газового потока, и особенно – если диапазон изменения 100–250° С и более, что в металлургических процессах естественно, не вызывает влияния температурных удлинений электродов на перемещение точки удара молотка по наковальне. Это, конечно, делает процесс встряхивания электродов методом удара молотком о наковальню стабильным, с фиксированными ускорениями в электродах и надежным эффектом отряхивания осевшего слоя пыли.

Верхнее расположение механизмов встряхивания позволило в ЭГВВ решить еще одну проблему, имеющую место в электрофильтрах ЭГА, ЭГБМ и др., а именно – частые пробои валов изоляторов, которые электрически разделяют механизм встряхивания коронирующих электродов от приводов. Разработана специальная изоляторная коробка для этого привода, в которой имеется двойная защита, простая и надежная, от запыления проводящей пылью вала изолятора. Для защиты токоподвода от запыления изолирующих поверхностей проводящей пылью применена предложенная специалистами доменного цеха ОАО «Северсталь» конструкция подвеса рам коронирующих электродов, которую они на практике применили на работающих электрофильтрах доменных дворов.

Особое место занимает система управления. Она разработана комплексно под конкретную установку газоочистки доменных дворов ДП-1 и ДП-2 ОАО «Северсталь».

Для этого проекта и был предложен электрофильтр ЭГВВ. Компоновка установки, состоящей из двух электрофильтров ЭГВВ 2-56-12-5-4, представляет собой удачное техническое решение. Место, отведенное под строительство, имело очень ограниченную площадку, со всех сторон занятую существующими коммуникациями. Достичь выходной запыленности 50–60 мг/м<sup>3</sup> без верхнего расположения механизмов встряхивания невозможно. Расчетное время пребывания частиц в активной зоне, которое определялось из условия получения при пусковых испытаниях 40–50 мг/м<sup>3</sup>, потребовало выбрать электрофильтр с конкретным числом осадительных элементов, а разбивка его на поля с размерами межполевых промежутков 900 мм, обеспечила при этом хорошее газораспределение, позволила вписаться в отведенную площадку.

Проект установки по техническому заданию ЗАО «Кондор-Эко» выполнил институт ОАО «Проектгазоочистка».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чекалов Л.В., Карпухович Д.Т., Горячев И.К., Санаев Ю.И. Экотехника. Ярославль, Русь, 2004.
2. Санаев Ю.И. Авторское свидетельство.
3. Завьялов А.И. Авторское свидетельство.
4. Чекалов Л.В. Исследования влияния режимов питания электрофильтров рудотермических печей на эффективность их работы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М, 1982.

**Чекалов Л.В., Ткаченко В.М.**

## Пути интенсификации работы электрофильтров

В течение 60 – 80-х гг. в республиках СССР было введено в эксплуатацию более 2000 электрофильтров (ЭФ) широкого промышленного применения. Только на тепловых электростанциях, сжигающих твердое топливо, работает около 400 ЭФ. Большинство действующих ЭФ физически изношено, не удовлетворяет современным требованиям по степени очистки газа и не обеспечивает нормативы выбросов пыли в атмосферу [1]. Поэтому они нуждаются в реконструкции или в полной замене. Кроме этого, требуется корректировка проектов установок ЭФ, строительство которых заморожено в 90-е годы.

За указанные 30 лет по заданиям и программам Минэнерго СССР разработаны, испытаны на ТЭС и доведены до промышленного производства ЭФ четырех поколений: типа УГ, ЭГА, ЭГБ (ЭГБМ) и ЭГВ. Рас-

шифровка обозначений: УГ – унифицированный горизонтальный; ЭГА, ЭГБМ и ЭГВ – электрофильтр горизонтальный модификации А, Б и В; М – модернизированный. Главными разработчиками являются московский и семираторовский НИИОГАЗ с участием ВГИ и московского института «Гипрогазоочистка».

С целью повышения технико-экономических показателей непрерывно совершенствовались ЭФ за счет увеличения расстояния между осадительными электродами, улучшения конструкции и надежности отдельных узлов, повышения производительности по очищаемому газу, увеличения эффективности работы [2, 3].

Технические характеристики типоразмерных рядов указанных ЭФ приведены в табл. 1. Здесь указаны годы проведения межведомственных испытаний (МВИ) опытных образцов: испытание ЭФ типа УГ проведено на Бурштынской ГРЭС, ЭГА и ЭГВ – на Ладьжинской ГРЭС, а ЭГБ – на Прибалтийской ГРЭС. За 20 лет межэлектродное расстояние в отечественных ЭФ постепенно увеличено с 275 мм в ЭФ типа УГ до 460 мм в ЭФ типа ЭГВ. Непрерывное совершенствование ЭФ широкого промышленного применения осуществлено на основании результатов выполненного комплекса НИОКР, которые позволили научно обосновать и практически доказать концепцию увеличения межэлектродного расстояния в ЭФ, разработать интенсивные коронирующие электроды [2, 3].

Впервые было доказано, что с увеличением межэлектродного расстояния растет напряженность электрического поля у поверхности осадительных электродов. Известно, что именно этот параметр определяет эффективность работы ЭФ [2]. Это является причиной сохранения степени очистки газа при резком уменьшении поверхности осадительных электродов в ЭФ.

На рис. 1 показаны экспериментальные зависимости напряженности электрического поля  $E$  у поверхности осадительного электрода от относительного расстояния  $d^*$  – отношения расстояния от нейтральной силовой линии к расстоянию между коронирующими электродами в ряду  $d$ .

При проведении экспериментов на высоковольтном стенде использовались ленточно-игольчатые коронирующие электроды при постоянном отношении разрядного расстояния  $h_p$  к  $d$ , равном 1. Рабочее напряжение для всех систем электродов было пропорционально  $h_p$  и средней напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке  $E_{cp} = 3,33$  кВ/см, что соответствует пробивному напряжению для промышленных ЭФ с межэлектродным расстоянием  $2h = 300$  мм. Распределение напряженности электрического поля вблизи плоского осадительного электрода измерялось методом пробного тела. Из графиков рис. 1 видно, что с увеличением межэлектродного расстояния  $2h$  значительно возрастает напряженность электрического поля  $E$ . Это увеличение составляет 10% при изменении  $2h$  от 275 до 400 мм.

Степень очистки газа в ЭФ определяется известной формулой Дейча – Уайта [2]:

$$\eta = 1 - e^{-wf} \quad (1)$$

где  $w$  – скорость дрейфа частиц;  $f$  – удельная поверхность осадительных электродов, отнесенная к единице объема очищаемого газа.

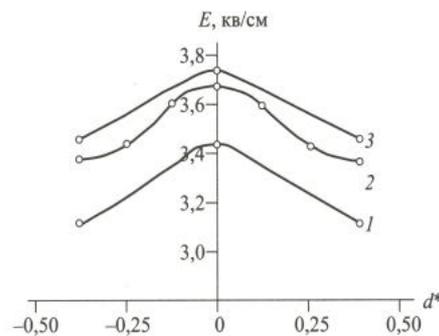


Рис. 1. Распределение напряженности электрического поля вблизи осадительного электрода при межэлектродных расстояниях: 1 – 275 мм; 2 – 350 мм; 3 – 400 мм

Скорость дрейфа частиц приближенно рассчитывается по формуле:

$$w = aE^2 \quad (2)$$

где  $a$  – коэффициент.

Из формул (1) и (2) следует, что степень очистки газа при увеличении межэлектродного расстояния, т.е. при сокращении удельной поверхности осадительных электродов  $f$ , останется неизменной, если соответственно будет увеличена напряженность поля  $E$  и, как следствие, скорость дрейфа частиц пыли  $w$  к осадительным электродам. Перспективность увеличения межэлектродного расстояния  $2h$  в ЭФ доказана результатами МВИ опытных образцов аппаратов, сначала ЭФ типа ЭГБ с  $2h = 350$  мм как промежуточный этап, а затем ЭГВ с  $2h = 460$  мм.

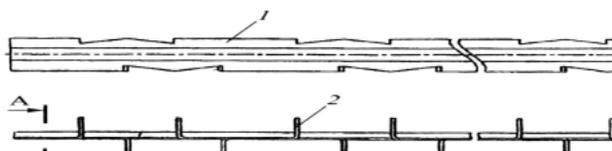


Рис. 2. Элемент коронирующего электрода типа СФ:  
1 – профилированная пластина; 2 – игла; 3 – желоб жесткости

МВИ опытного образца ЭГВ проведено на энергоблоке мощностью 300 МВт Ладыжинской ГРЭС, на котором одновременно работал параллельно установленный ЭФ типа ЭГА с межэлектродным расстоянием  $2h = 300$  мм. Оба аппарата имели три поля с высотой электродов 12 м, активным сечением  $198\text{ м}^2$  и производительностью по очищаемому газу около 1 млн.  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

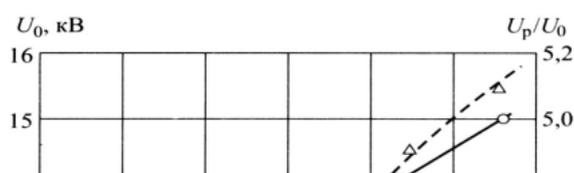
Результаты сравнительных испытаний ЭГВ и ЭГА при одинаковых параметрах очищаемого газа и равном времени пребывания газа в аппаратах показали, что степень очистки газа практически не отличалась, несмотря на то, что в ЭГВ площадь осадительных электродов в 1,5 раза меньше, чем в ЭГА. Это была крупная научно-техническая победа, доказавшая целесообразность изготовления ЭФ типа ЭГВ.

Таблица 1. Технические характеристики электрофильтров

Параметр	Тип электрофильтра			
	УГ	ЭГА	ЭГБ	ЭГВ
Проведение МВИ	1967 г.	1980г.	1986 г.	1988 г.
Межэлектродное расстояние, мм	275	300	350	460
Активная высота электродов, м	4; 7,5; 12	6; 7,5; 9; 12	6; 7,5; 9; 12	6; 7,5; 9; 12; 15
Активное сечение, м	10-265	16-285	16-285	10-364
Производительность при условной скорости 1 м/с, $\text{м}^3/\text{ч}$	36 000 - 954 000	57 600 - 1 026 000	57 000 - 1 026 000	36 000 - 1 360 000
Число электрических полей	2-4	2-4	2-5	2-8
Габаритные максимальные размеры, м:				
высота	27,75	19,90	19,90	22,90
длина	24,80	22,74	28,20	48,60
ширина	29,87	29,54	29,54	35,75
Номинальное (амплитудное) напряжение питающих агрегатов, кВ	80	80	80, ПО	ПО
Степень очистки газов, %	98-99	98-99	98-99	99 - 99,9

Выполненный комплекс НИОКР объяснил феномен сохранения степени очистки газа в ЭФ при увеличении межэлектродного расстояния: ведь в течение почти 50 лет фирмы-разработчики не считали целесообразным увеличивать межэлектродное расстояние в ЭФ, опасаясь снижения степени очистки газа. Межэлектродное расстояние  $2h = 460$  мм в ЭГВ выбрано на основании результатов НИОКР и анализа действующих ЭФ типа УГ и ЭГА с тем, чтобы при их реконструкции в сохраненных корпусах размещалось максимальное число электродов ЭГВ, т.е. были наибольшие активное сечение и степень очистки газа.

С учетом этих результатов разработана техническая документация внутреннего оборудования и корпусов типоразмерного ряда ЭГВ, состоящая из 156 аппаратов, в том числе для реконструкции ЭФ типа УГ (16 аппаратов) и ЭГА (44 аппарата) [4]. В модернизированных ЭГВМ высота электродов может составлять 15м, а производительность по очищаемому газу – 1 360 000  $\text{м}^3/\text{ч}$  при условной скорости газа 1 м/с. В типоразмерном ряду предусмотрены ЭФ с числом полей до восьми, что дает возможность выбрать необходимый аппарат для обеспечения требуемой степени очистки газа вплоть до 99,9%.



**Рис. 3. Графики зависимости напряжения зажигания короны (1) и перенапряжения (2) от разрядного расстояния для коронирующего электрода СФ-1**

Инофирмы в настоящее время изготавливают ЭФ с межэлектродным расстоянием 400 мм (Лурги, Альстом) и 500 мм (ЗВВЗ), которые нецелесообразно использовать для отечественных ЭФ по указанной ранее причине, а также в связи с тем, что для ЭФ с  $2h = 500$  мм надо применять дорогостоящие агрегаты питания с номинальным выпрямленным напряжением 150 кВ вместо 110 кВ для ЭФ типа ЭГВ благодаря специальной конструкции коронирующих электродов, у которых  $h_p = 140$  мм. Кроме этого, применение в ЭФ межэлектродного расстояния 400 мм приводит к снижению технико-экономических показателей, например, масса внутреннего оборудования в ЭФ с  $2h = 400$  мм на 15% больше, чем в ЭФ с  $2h = 460$  мм. Это приводит к соответствующему повышению стоимости ЭФ, снижению эксплуатационной надежности в связи с увеличением однотипных узлов в одном и том же корпусе аппарата. Более того, лишняя масса внутреннего оборудования ограничивает возможность реконструкции действующих ЭФ при необходимости сохранения фундаментов, так как они имеют определенный запас прочности.

Чешская фирма ЗВВЗ применяет ЭФ с межэлектродным расстоянием 500 мм на ТЭС при улавливании пыли с удельным электрическим сопротивлением (УЭС), приводящим и не приводящим к образованию обратной короны. Поэтому межэлектродное расстояние не связано с УЭС пыли.

Таблица 2.

**Электрические характеристики электрофильтров с различными коронирующими электродами**

Тип коронирующего электрода	Межэлектродное расстояние $2h$ , мм	Напряжение зажигания короны, кВ	Рабочее напряжение ЦУШ	Перенапряжение $t/p/t/o$ ,	Линейная плотность тока короны $J_k$ , отн. ед.	Удельная мощность короны $/7_k$ отн. ед.
ЭФ типа ЭГА						
Ленточно-игольчатый	300	23	50	2,2	1,0	1,0
Ленточно-зубчатый	300	23	50	2,2	1,0	1,0
СФ-1 игольчатый	300	12	47,5	4,0	1,23	1,17
ЭФ типа ЭГБМ						
Ленточно-игольчатый	350	26	58,7	2,3	1,09	1,27
Ленточно-зубчатый	350	23	58,7	2,6	1,2	1,41
СФ-1 – игольчатый	350	13	56,9	4,4	1,43	1,62
ЭФ типа ЭГВ						
Ленточно-зубчатый сдвоенный	460	23	68,4	3,0	1,17	1,6
СФ-1 игольчатый	460	8	68,4	8,6	1,51	2,07

За последние 15 лет ЭФ с увеличенным межэлектродным расстоянием нашли широкое промышленное

применение в связи со следующими повышенными технико-экономическими показателями:

1. Не снижается эффективность работы по сравнению с традиционными ЭФ.
2. Увеличивается эксплуатационная надежность за счет сокращения узлов аппарата.
3. Повышается стабильность работы по степени очистки газа, так как расцентровка электродов меньше влияет на электрические характеристики.
4. Резко уменьшается масса внутреннего оборудования, что снижает стоимость изготовления аппаратов.
5. Возрастает возможность реконструкции действующих ЭФ с использованием существующих фундаментов при увеличении габаритных размеров.

Эффективность работы и габаритные размеры ЭФ в значительной мере определяются электрическими характеристиками коронирующих электродов, которые создают электрическое поле с объемным зарядом отрицательных ионов, необходимым для зарядки и движения частиц пыли к осадительным электродам. Напряженность электрического поля в ЭФ примерно равна [2]:

$$E = \sqrt{bJ_k} \quad (3)$$

где  $b$  – коэффициент;  $J_k$  – линейная плотность тока короны.

Из формул (1) – (3) следует, что скорость дрейфа частиц пропорциональна линейной плотности тока короны, а степень очистки газа в ЭФ определяется интенсивностью коронного разряда. Это, прежде всего, относится к пыли, не приводящей к образованию обратной короны в ЭФ, и к высокодисперсной пыли, запирающей ток короны. Поэтому фирмы – разработчики ЭФ – особое внимание уделяют непрерывному усовершенствованию коронирующих электродов [2, 3].

Критерием качества коронирующих электродов являются напряжение зажигания короны  $U_0$  и отношение  $U_p/U_0$  (отношение рабочего напряжения  $U_p$  в ЭФ к  $U_0$ ), т.е. перенапряжение [2]. Чем больше это отношение, тем выше ток короны. Величина  $U_0$  зависит от конструкции коронирующего электрода, а  $U_p$  определяется пробивным напряжением межэлектродного промежутка ЭФ. Поэтому для создания интенсивного коронного разряда в ЭФ стремятся разработать коронирующие электроды с минимальным значением  $U_0$ .

С целью дальнейшей интенсификации коронного разряда в ЭФ на высоковольтном стенде выполнен комплекс НИР по экспериментальному исследованию электрических характеристик различных типов коронирующих электродов. При этом использовались промышленные образцы электродов и электрод типа СФ, разработанный Семибратовской фирмой НИИОГАЗ. На этот интенсивный коронирующий электрод имеется решение о выдаче патента на изобретение (Элемент коронирующего электрода электрофильтра/Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Курицын Н.А., Санаев Ю.И. Решение Федерального института промышленной собственности от 9/VI-2003 г. о выдаче патента на изобретение). Эскиз электрода показан на рис. 2.

Установлена зависимость  $U_0$  и перенапряжения  $U_p/U_0$  от разрядного расстояния  $h_p$  – крайнейшего расстояния между коронирующими и осадительными электродами в ЭФ, которая показана на рис. 3. Здесь использовался электрод типа СФ-1. Из графиков рис. 3 видно, что с ростом разрядного расстояния  $U_0$  возрастает от 10 до 15,5 кВ для ЭФ типа УГ. При этом перенапряжение  $U_p/U_0$  увеличивается с 4,4 до 5,1 за счет более быстрого роста рабочего напряжения  $U_p$ .

Таблица 3.

### Энергетические характеристики различных типов электрофильтров

Тип ЭФ и коронирующего электрода	Межэлектродное расстояние $2h$ , мм	Ток короны		Мощность короны	
		Линейная плотность $J_k/J_0$	Полуполя $I_k/I_0$	Удельная $p_k/p_0$	Полуполя $P_k/P_0$
ЭГА2-58-12-6-3: ленточно-игольчатый	300	1,00	1,00	1,00	1,00
СФ-1-игольчатый	300	1,23	1,23	1,17	1,17
ЭГБМ2-50-12-6-3: ленточно-зубчатый	350	1,08	0,94	1,27	1,10
СФ-1-игольчатый	350	1,43	1,23	1,62	1,39
ЭГВ2-38-12-6-3: ленточно-зубчатый	460	1,17	0,76	1,60	1,05
сдвоенный СФ-2-игольчатый	460	1,51	0,99	2,07	1,36

Об интенсификации коронного разряда с увеличением разрядного расстояния в ЭФ свидетельствуют зависимости относительных величин линейной плотности тока короны и удельной мощности короны от разрядного расстояния, показанные на рис. 4, где базовыми являются соответствующие электрические параметры для  $h_p = 132$  мм при межэлектродном расстоянии  $2h = 300$  мм.

Эффективность различных типов коронирующих электродов можно проследить по результатам экспе-

риментального исследования на высоковольтном стенде электрических характеристик электродных систем ЭФ типа ЭГА, ЭГБМ и ЭГВ, представленным в табл. 2. Здесь для каждого типа ЭФ испытывались применяемые промышленные образцы коронирующих электродов и разработанные электроды СФ-1 и СФ-2.

Рабочее напряжение  $U_p$  и линейная плотность тока короны на 1 м коронирующего электрода  $J_k$  определялись по вольт-амперным характеристикам при средней напряженности электрического поля в разрядном промежутке  $E_{cp} = 3,6$  кВ/см. Это обусловлено тем, что системы электродов ЭФ типа ЭГА, ЭГБМ и ЭГВ имеют различные разрядные расстояния  $h_p$  между коронирующими и осадительными электродами. Известно, что пробивные и рабочие напряжения определяются соотношением [2]:  $U_p = E_{cp} h_p$

Для ЭФ типа ЭГА при улавливании пыли, не приводящем к образованию обратной короны, рабочее и пробивное напряжения находятся на уровне 50 кВ, а  $E_{cp} = 3,6$  кВ/см.

Для удобства сравнения параметры  $p_k$  и  $J_k$  даны в табл. 2 в относительных единицах, в качестве базовых приняты соответствующие значения для ЭФ типа ЭГА.

Удельная мощность короны на 1 м коронирующего электрода рассчитывалась по формуле:  $p_k = J_k U_p$ .

Из данных табл. 2 следует, что разработанные коронирующие электроды СФ-1 обеспечивают напряжение зажигания короны  $U_0$  на уровне 12–13 кВ в ЭФ типа ЭГА и ЭГБМ, т.е. в 2 раза ниже по сравнению с промышленными коронирующими электродами ленточно-игольчатого и ленточно-зубчатого типов. При этом резко увеличиваются перенапряжения. В результате значительно возрастают линейная плотность тока короны и удельная мощность короны.

Еще больший эффект дает применение специально разработанных коронирующих электродов СФ-2 для ЭФ типа ЭГВ, так как здесь напряжение зажигания короны  $U_0 = 8$  кВ и оно снизилось в 3 раза по сравнению с промышленным ленточно-зубчатым двоянным электродом, а перенапряжение возросло в 2,9 раза. В итоге можно увеличить линейную плотность тока короны и удельную мощность короны в 1,3 раза.

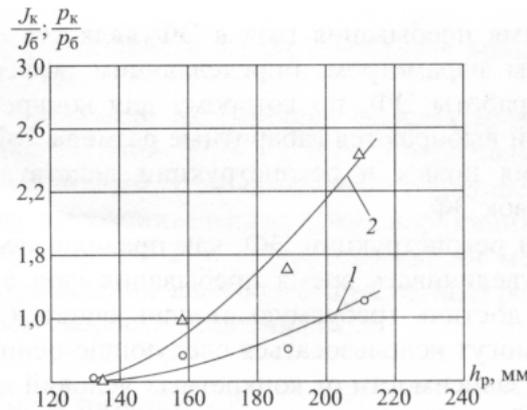


Рис. 4. Графики зависимости линейной плотности тока короны (1) и удельной мощности короны (2) от разрядного расстояния для коронирующего электрода СФ-1

Из изложенного следует важный практический вывод о том, что разработанные в Семибратовском НИИОГАЗ коронирующие электроды типа СФ-1 и СФ-2 позволяют значительно интенсифицировать коронный разряд, являющийся первоосновой для повышения эффективности работы действующих и вновь проектируемых ЭФ. Как показали результаты стендовых испытаний, коронирующие электроды типа СФ хорошо встряхиваются благодаря своей жесткости.

При реконструкции действующих установок ЭФ возникают сложные научно-технические задачи, так как надо по существу создать современные установки ЭФ, часто сохраняя имеющиеся фундаменты, строительные конструкции и даже каркасы ЭФ при ограниченных возможностях по увеличению габаритных размеров аппаратов.

Такие сложные задачи могут быть решены только высококвалифицированными специалистами, имеющими большой опыт по разработке ЭФ, знающими влияние свойств пылегазового потока на работу ЭФ.

Прежде всего, важно правильно выбрать время пребывания газа в ЭФ для обеспечения требуемой степени очистки газа с учетом исходных данных и требований заказчика, так как для каждого технологического процесса существует только свой, единственный такой параметр. Имеющиеся отечественные и зарубежные математические методы расчета ЭФ не позволяют это сделать с необходимой точностью. Поэтому правильный выбор ЭФ определяется опытом и квалификацией специалиста. Отсюда следует важность инжиниринга для любой фирмы, разрабатывающей и поставляющей ЭФ.

Время пребывания газа в ЭФ рассчитывается по формуле:

$$\tau = \frac{L_{акт}}{V_r} \quad (4)$$

где  $L_{\text{акт}}$  – активная длина ЭФ;  $V_r$  – скорость газа в ЭФ.

Время пребывания газа в ЭФ является обобщенным параметром, определяющим эффективность работы ЭФ, по которому для конкретных условий выбираются габаритные размеры ЭФ для создания новых и реконструкции действующих установок ЭФ.

При реконструкции ЭФ, как правило, необходимо увеличивать время пребывания газа в ЭФ, чтобы достичь требуемую степень очистки газа. Здесь могут использоваться следующие основные пути в зависимости от конкретных условий и требований заказчика.

1. Полная замена ЭФ с созданием новых фундаментов. Это наиболее дорогой путь.
2. Замена ЭФ с корпусом, но с сохранением фундаментов.
3. Замена внутреннего оборудования ЭФ с увеличением высоты электродов, но с сохранением каркаса корпуса.
4. Замена внутреннего оборудования ЭФ с увеличением активной длины аппарата за счет дополнительного поля, но с сохранением каркаса корпуса.
5. Замена внутреннего оборудования ЭФ с увеличением высоты аппарата для размещения верхнего встряхивания коронирующих электродов с целью сокращения промежутков между полями.

Повышение эффективности работы действующих ЭФ без изменения их габаритных размеров можно достичь за счет интенсификации электрического режима следующими мероприятиями:

заменой только коронирующих электродов на новые высокоинтенсивные типа СФ-1 или СФ-2;

заменой только агрегатов питания на современные с новыми эффективными регуляторами напряжения; внедрением современных регуляторов агрегатов питания.

Возможно применение комбинированного варианта, включающего несколько перечисленных путей. На ТЭС на энергоблоках мощностью 300 МВт в основном эксплуатируются электрофильтры типа ЭГА2-58-12-6-3, которые физически изношены и требуют реконструкции.

Изложенные ранее электрические характеристики различных типов коронирующих электродов позволяют рассчитать энергетические характеристики аппаратов и выбрать рациональный вариант реконструкции ЭФ. Варианты реконструкции указанного ЭГА с сохранением корпуса представлены в табл. 3, где даны электрические параметры в относительных единицах.

При реконструкции ЭГА с заменой внутреннего оборудования по типу ЭГБМ2-50-12-6-3 с использованием промышленных ленточно-игольчатых коронирующих электродов (ЛИ) линейная плотность тока короны  $J_k$  увеличивается только на 8 %, а удельная мощность короны – на 27 %.

Такой электрический режим ЭГБМ недостаточен для сохранения степени очистки газа на уровне ЭФ типа ЭГА, о чем свидетельствуют результаты испытаний на ряде промышленных объектов.

Применение в ЭГБМ коронирующих электродов СФ-1 позволяет значительно интенсифицировать коронный разряд: увеличить  $J_k$  на 43 %, а  $p_k$  на 62 %, что приводит к повышению степени очистки газа.

Реконструкция ЭГА с заменой внутреннего оборудования по типу ЭГВ2-38-12-6-3 с использованием ленточно-зубчатых сдвоенных (ЛЗС) коронирующих электродов увеличивает  $J_k$  на 17 %, а  $p_k$  на 60 %. Как показали результаты испытания такого ЭГВ на Ладьжинской ГРЭС, степень очистки газа в этом случае не снижается по сравнению с ЭФ типа ЭГА2-58-12-6-3.

Внедрение в ЭГВ коронирующих электродов СФ-2 еще больше интенсифицирует коронный разряд:  $J_k$  возрастает на 51 %, а  $p_k$  – в 2 раза, хотя при этом мощность агрегата питания полуполя ЭФ увеличивается только на 36 %. Это приводит к повышению степени очистки газа. Отсюда следует важный вывод о целесообразности реконструкции указанного ЭГА по типу ЭГВ с межэлектродным расстоянием 460 мм, а не по типу ЭГБМ с межэлектродным расстоянием 350 мм. Такой вариант реконструкции позволяет:

- увеличить эффективность работы аппарата за счет более интенсивного электрического режима;
- снизить массу внутреннего оборудования на 17 %, что соответственно уменьшает его стоимость;
- повысить эксплуатационную надежность работы аппарата в связи с уменьшением однотипных узлов примерно на 17 %.

О высокой надежности и стабильности работы ЭФ типа ЭГВ свидетельствует его длительная эксплуатация на Ладьжинской ГРЭС, что письменно подтвердили энергетики этой ТЭС.

В 2000 г. на Рязанской ГРЭС прошел конкурс по реконструкции (замене) ЭФ на энергоблоке мощностью 300 МВт с участием отечественных и зарубежных фирм. Конкурсная комиссия выбрала ЭФ типа ЭГБМ для реконструкции действующих аппаратов.

В последние годы Семибратовский НИИОГАЗ с целью дальнейшей интенсификации и надежности работы ЭФ широкого промышленного применения разработал, испытал и довел до промышленного производства не только высокоэффективные коронирующие электроды типа СФ, но и надежный электропривод механизма встряхивания электродов с частотным регулированием скорости вращения вала с массой около 20 кг вместо 200 кг у существующих ЭФ; верхнее встряхивание коронирующих электродов, которое дает возможность уменьшить промежутки между полями в ЭФ и увеличить время пребывания газа в аппарате без существенного изменения его габаритных размеров и др. ЭФ с этими усовершенствованными узлами

внедрены фирмой «Кондор-Эко» на заводе «Северсталь».

**Выводы.** В настоящее время на ТЭС эксплуатируется около 400 электрофильтров, большая часть которых физически изношена, не удовлетворяет современным нормативам по выбросу золы в атмосферу и нуждается в реконструкции или в полной замене. Изложенные результаты являются научно-технической базой для определения варианта реконструкции действующих и создания новых установок ЭФ. Показано, что наиболее перспективными являются ЭФ типа ЭГБМ с межэлектродным расстоянием 460 мм, с применением усовершенствованных высокоинтенсивных коронирующих электродов типа СФ-2, с электроприводами механизмов встряхивания электродов с частотным регулированием скорости вращения вала.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций/ Абрамов А.И., Елизаров Д.П., Ремизов А.Н. и др. М.: Издательство МЭИ, 2001.
2. Дымовые электрофильтры/Левитов В.И., Решидов И.К., Ткаченко В.М. и др. М.: Энергия, 1980.
3. Экотехника / Под ред. Чекалова Л.В. Ярославль, «Русь», 2004.
4. Газоочистное оборудование. Электрофильтры. Каталог. М., ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1990.

**Громов Ю.И., Ткаченко В.М., Чекалов Л.В.**

## Высокоэффективный комбинированный электрофильтр

### 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОЧИСТКЕ ГАЗА НА ТЭС

Защита атмосферы от загрязнения является условием выживания человечества, животного и растительного мира, сохранения сооружений на земле. Одним из основных загрязнителей воздуха является пыль, поступающая в атмосферу от промышленных предприятий, в первую очередь от тепловых электростанций (ТЭС), работающих на твердом топливе.

Современные требования к очистке газов от золы на ТЭС при сжигании твердого топлива всех видов регламентируются стандартом ГОСТ Р 50831 - 95 «Установки котельные. Тепломеханическая часть. Общие технические требования», который введен в действие с 25 октября 1995 г. В стандарте предусмотрено два уровня нормативов, ограничивающих загрязнение атмосферы при строительстве новых, техническом перевооружении и расширении действующих ТЭС на период до и после 2000 г. Для энергоблоков мощностью 300 МВт и более с приведенной зольностью топлива  $A^{пр} = 0,6$  и менее массовая концентрация золы на выходе золоулавливающей установки, введенной в эксплуатацию после 1 января 2001 г., должна составлять не более  $50 \text{ мг/нм}^3$ , а при  $A^{пр}$  более 2,5, например, для экибастузского угля массовая концентрация золы не должна превышать  $150 \text{ мг/нм}^3$ . Здесь уместно отметить, что нормативы выбросов золы в атмосферу для ТЭС в западноевропейских странах значительно меньше, чем в России, сейчас они составляют  $30 \text{ мг/нм}^3$ .

В настоящее время на ТЭС эксплуатируется около 400 ЭФ, большая часть которых физически изношена, не удовлетворяет современным требованиям по выбросу золы в атмосферу и нуждаются в реконструкции или в полной замене [1].

### 2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для интенсификации работы действующих ЭФ фирмой «Кондор-Эко» разработаны общие технические рекомендации, которые изложены в [1]. Однако не во всех случаях они могут дать необходимый эффект, особенно при улавливании высокоомной золы, приводящей к образованию обратной короны в ЭФ, при большой концентрации золы в очищаемых газах, при ограниченных площадях на ТЭС для реконструкции ЭФ.

Здесь необходимо дополнить ранее выданные рекомендации: фирма «Кондор-Эко» теперь имеет возможность изготавливать осадительные электроды с высотой до 18 м в связи с пуском в эксплуатацию высокоточного стана для холодного профилирования элементов электродов с управлением от автоматизированной системы фирмы Сименс.

В США для тонкой очистки газа на ТЭС используют комбинированный золоуловитель, состоящий из ЭФ и рукавного фильтра (РФ) [2]. Полномасштабный РФ установлен после «горячего» ЭФ за воздухоподогревателем. Система РФ типа Соhrас разработана и поставлена в 1996 г. компанией Research-Cottrell (штат Нью-Джерси) на ТЭС Gaston на энергоблок мощностью 272 МВт, работающем на малосернистом угле. Система РФ на ТЭС Gaston рассчитана на объем дымовых газов  $1818 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$  при температуре  $143^\circ \text{C}$ . После эксплуатации в течение 2100 часов осмотр установки показал, что рукава имели минимальную потерю прочности, демонстрационные испытания последнего варианта установки оправдали ожидания и подтвердили перспективность модернизации ЭФ на крупных угольных ТЭС за счет добавления к нему РФ.

Для решения проблемы высокоэффективной очистки газа от пыли фирма «Кондор-Эко» разработала отечественный сухой комбинированный ЭФ, состоящий из традиционного горизонтального ЭФ и последо-

вательно включенного РФ.

Такие пылеулавливающие аппараты имеют техническую характеристику:

- объем очищаемого газа, м<sup>3</sup>/ч до 1,7 млн.;
- температура газа, °С до 170°;
- запыленность очищаемого газа, г/нм<sup>3</sup> до 75;
- запыленность очищенного газа, мг/нм<sup>3</sup> не более 20...50;
- гидравлическое сопротивление, Па – до 2200;
- УЭС пыли, Ом · м – до 10<sup>12</sup>.

При улавливании высокоомной пыли, приводящей к образованию обратной короны в ЭФ, не требуется кондиционирование газа, в т.ч. температурно-влажностное.

Внутреннее оборудование ЭФ и РФ может располагаться в одном корпусе или в разных корпусах в зависимости от рациональной компоновки установки комбинированного ЭФ. Технические решения аппарата запатентованы ЗАО «Кондор-Эко».

Определены параметры трех вариантов комбинированного ЭФ для ТЭС, которые приведены в таблице 1. Здесь так же даны показатели работы промышленных ЭФ на ТЭС, сжигающих различные угли.

Таблица 1. Параметры работы различных вариантов золоуловителей

№.№ п. п.	Вариант - ТЭС	Вариант 1 - ТЭС-1		Вариант 2-ТЭС-2		Вариант 3-ТЭС-3	
	Вариант золоуловителя	1а	1б	2а	2б	3а	3б
1.	Аппарат	ЭФ	ЭФ+РФ	ЭФ	ЭФ+РФ	ЭФ	ЭФ+РФ
2.	Температура газа, °С	170	170	165	165	145	145
3.	Объем газа, м <sup>3</sup> /с	395	395	295	295	135	135
4.	Запыленность газа, г/нм <sup>3</sup>	74	74	18,8	1,18	21	21
5.	УЭС золы, Ом · м	10 <sup>10</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>
6	Электрофильтр						
6.1.	Количество полей	11	3	5	1	7	1
6.2.	Время пребывания газа, с	29,0	7,9	12,9	2,6	6,9	1,0
6.3.	Выходная запыленность газа, г/нм <sup>3</sup>	<b>0,15</b>	13,5	<b>0,05</b>	5,1	<b>0,05</b>	8,5
6.4.	Степень очистки газа, не менее %	99,80	81,73	99,73	73,02	99,76	59,46
7.	Рукавный фильтр:						
7.1.	Ткань	-	PPS – Германия	-	PPS - Германия	-	Полиэстер Эстония
7.2.	Удельная нагрузка, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> /мин	-	1,23	-	1,19	-	1,32
7.3.	Срок службы рукавов, лет	-	4	-	4	-	4
7.4.	Степень очистки газа, не менее %	-	98,89	-	99,02	-	99,41
7.5.	Выходная запыленность газа, г/нм <sup>3</sup>	-	<b>0,15</b>	-	<b>0,05</b>	-	<b>0,05</b>
8	Общая степень очистки газа в аппарате, %	99,80	99,80	99,73	99,73	99,76	99,76
9.	Габариты аппарата, м:						
9.1.	Высота						
9.2.	Ширина	22	22	20	20	16	16
9.3.	Длина	30	30	22	22	11	11
		68	33	31	21	52	30
		(206%)	(100%)	(148%)	(100%)	(173%)	(100%)

**Вариант 1 – ТЭС-1.** Очистка газа от золы экибастузского угля с низким содержанием серы и влаги. Зола этого угля имеет высокое удельное электрическое сопротивление (УЭС), что приводит к образованию обратной короны в ЭФ и снижению степени очистки газа. Очищаемый газ характеризуется высокой запыленностью – 74 г/нм<sup>3</sup>.

На энергоблоке мощностью 500 МВт установлен ЭФ типа УГЗ-5-265, имеющий активную высоту электродов 12 м, 5 полей и активное сечение 265 м<sup>2</sup>. При эксплуатационной температуре газа 170° С, времени пребывания газа в аппарате 13,2 секунд степень очистки газа составляет 94,1 %, а остаточная запыленность газа – 4,37 г/нм<sup>3</sup> [3]. По современным требованиям степень очистки газа должна составлять 99,8 % при остаточной запыленности 150 мг/нм<sup>3</sup>, что по расчету может быть обеспечено ЭФ с 11 полями.

**Вариант 2** – ТЭС-2. Очистка газа от золы угля с содержанием серы и влаги, которое дает УЭС золы, не приводящее к образованию обратной короны в ЭФ, т.е. зола имеет благоприятные электрические свойства и умеренную концентрацию в очищаемом газе.

На энергоблоке мощностью 300 МВт установлен ЭФ типа ЭГВ2-3 8-12-6-3 с активной высотой электродов 12 м, с 3 полями, с активным сечением 198 м<sup>2</sup>. При температуре газа 165° С, времени пребывания газа в аппарате 7,7 секунд степень очистки газа составила 98,03 % при остаточной запыленности газа 0,37 г/нм<sup>3</sup> [4]. Для такого угля современная степень очистки должна быть 99,73%, а остаточная запыленность газа – 50 мг/нм<sup>3</sup>, что по расчету достигается в ЭФ с 5 полями.

**Вариант 3** – ТЭС-3. Очистка газа от золы с УЭС, не приводящим к образованию обратной короны в ЭФ, с умеренной концентрацией золы в очищаемом газе.

На энергоблоке мощностью 300 МВт в качестве золоуловителя применен ЭФ типа УГ2-4-53 с активной высотой электродов 7,5 м, с 4 полями, с активным сечением 53 м<sup>2</sup>. При температуре газа 145° С и времени пребывания газа в аппарате 3,9 секунд степень очистки газа составила 97,3 %, а остаточная запыленность 0,567 г/нм<sup>3</sup> [5]. Современная степень очистки газа от золы для такого угля должна составлять 99,76%, а остаточная запыленность газа – 50 мг/нм<sup>3</sup>, что по расчету обеспечивается в ЭФ с 7 полями.

В таблице также даны параметры комбинированных ЭФ с целью обеспечения современных нормативов выбросов золы в атмосферу. В зависимости от температуры газа выбрана импортная ткань РФ, чтобы обеспечить срок службы рукавов не менее 4 лет при рациональной удельной газовой нагрузке на ткань.

Применение комбинированных ЭФ значительно сокращает общую длину аппарата по сравнению с использованием только ЭФ при одинаковой эффективности их работы: в варианте 1 – в 2 раза, в варианте 2 – в 1,5 раза и в варианте 3 – в 1,7 раза. Это чрезвычайно важно при ограниченной площади для размещения аппаратов пылеулавливания.

На основании вышеизложенных материалов выполнен расчет технико-экономических показателей указанных вариантов золоулавливания. В качестве капитальных затрат (К) принята стоимость изготовления ЭФ, РФ и агрегатов питания ЭФ, которые являются основными статьями. Причем к капитальным затратам отнесена и стоимость запасного комплекта рукавов для их замены после 4 лет эксплуатации с тем, чтобы общий срок службы внутреннего оборудования ЭФ и РФ до капитального ремонта был одинаков – 8 лет. В эксплуатационные затраты (С) вошла стоимость электроэнергии на очистку газа: на агрегаты питания ЭФ, на преодоление гидравлического сопротивления аппарата, на обогрев изоляторов. Приведенные затраты (П) рассчитаны по формуле [6]:  $P = C + 0,15K$ , где 0,15 – нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат, которые окупаются примерно через 7 лет. Экономический эффект определен как разница приведенных затрат сравниваемых подвариантов.

Наибольший экономический эффект дает применение комбинированного ЭФ при улавливании высокоомной золы экибастузского угля по сравнению с использованием только ЭФ (вариант 1). Здесь приведенные затраты на 32% меньше, чем при использовании традиционного ЭФ.

Очистка газа от золы с благоприятными свойствами в современном ЭФ типа ЭГВ с увеличенным межэлектродным расстоянием  $2h = 460$  мм дает явные преимущества по сравнению с комбинированным ЭФ (вариант 2). В варианте 3 приведенные затраты практически мало отличаются для комбинированного ЭФ и чистого ЭФ.

**Из изложенного следует вывод о том, что комбинированные ЭФ целесообразно использовать, в первую очередь, для реконструкции действующих ЭФ с ограниченными площадями, для очистки высокозапыленных газов и для улавливания пылей с большим УЭС.**

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чекалов Л.В., Ткаченко В.М. Пути интенсификации работы электрофильтров// Электрические станции. 2005, № 3. С. 51–57.
2. Кейт Джонс. Новая система золоулавливания для крупных угольных ГЭС// Мировая электроэнергетика. 1998, № 4. С.44–46.
3. Шмиголь И.Н., Кропф Л.И. Эффективность золоулавливания на ТЭС, сжигающих экибастузские угли// Теплоэнергетика. 1981, № 6. С. 71–73.
4. Tkachenko V.M. New generation of dry el filters/Journal of Electrostatics 40&41. 1997. С. 705–709.
5. Дымовые электрофильтры/Левитов В.И., Решидов И.К., Ткаченко В.М. и др.: Под общ. ред. В.И.Левитова. М., Энергия. 1980.
6. Справочник по пыле- и золоулавливанию/Под общ. ред. А.А. Русанова. М., Энергоатомиздат. 1983.

Курицын Н.А., Морозов Ю.М., Завьялов А.И., Чекалов Л.В.

**Новое поколение электрофильтров типа ЭГСЭ для энергетики**

Электрофильтры, как основные пылеулавливающие аппараты, применяются для очистки промышленных выбросов в энергетике и других отраслях и должны обеспечивать очистку газов [1].

Выбросы пыли в энергетике нормируются ГОСТ Р 50 831-95. Но практически на многих ГРЭС эти нормативы не достигаются по следующим причинам:

- электрофильтры старого поколения ЭГА, ЭГБМ разработаны и сконструированы согласно ТУ на получение выходной запыленности до  $100 \text{ мг/м}^3$ ;
- при проектировании применялись и иногда применяются сейчас проектные нормативы, разработанные до 80 гг. прошлого века и несоответствующие сегодняшнему ГОСТ Р 50831-95.

Проанализировав указанные причины, мы пришли к выводу, что можно существенно повысить показатели нашего оборудования как за счет применения новых технических решений и конструкции аппаратов, так и за счет претворения в жизнь новых подходов в технической политике. Новая конструкция электрофильтра ЭГСЭ явилась следствием сравнительного анализа конструкций наших аппаратов и конструкций аппаратов зарубежных фирм, как европейских, так и американских; а также накопленного многолетнего опыта разработки и внедрения пылеулавливающего оборудования нашими специалистами.

В конструкции электрофильтра ЭГСЭ реализован новый подход в компоновке внутреннего оборудования, заключающийся в том, что была изменена система подвеса и система встряхивания коронирующих электродов, которые перенесены из межполюсного пространства в надполюсное (рис. 1).

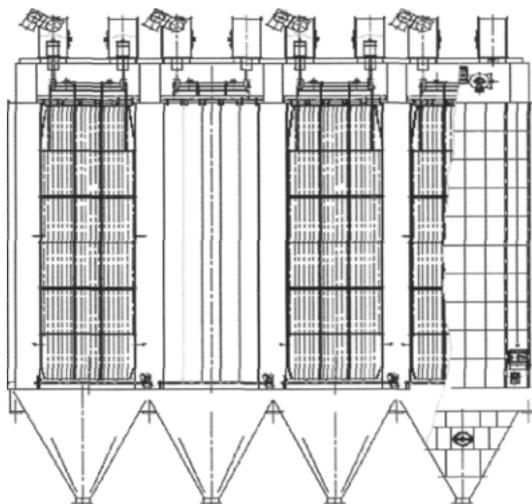


Рис. 1. Общий вид электрофильтра ЭГСЭ

За счет этого появилась возможность в среднем на 25% увеличить активную длину полей электрофильтра при неизменной длине корпуса или уменьшить габариты аппарата при заданной длине полей (рис.2). Такая компоновка позволяет существенно повысить не только эффективность пылеулавливания, но и надежность аппарата за счет повышения его ремонтпригодности.

1

2

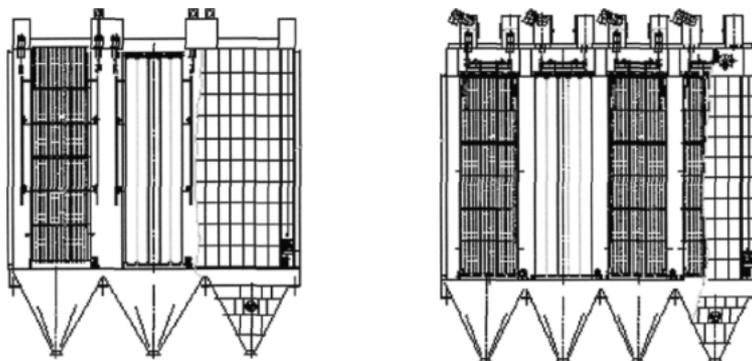


Рис. 2. Компоновка внутреннего механического оборудования в электрофильтрах: 1-ЭГА; 2-ЭГС

Коронирующий электрод электрофильтра состоит из полурам, но их компоновка существенно отличается от компоновки полурам коронирующего электрода существующих серийно выпускаемых электрофильтров. Соединение и конструкция полурам выполнено таким образом, чтобы максимально использовать ударный импульс по всей высоте и ширине электрода, (рис.3). Коронирующая система электродов в каждом поле имеет один или два механизма встряхивания, устанавливаемых в верхней части корпуса. Количество механизмов встряхивания зависит в основном от ширины рамы коронирующих электродов.

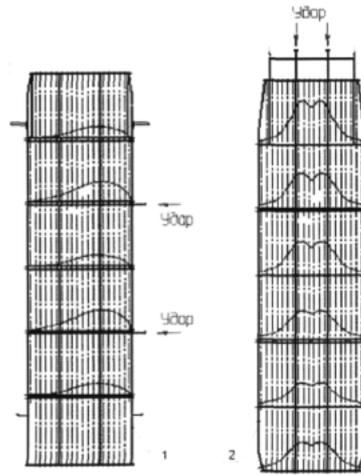


Рис.3. Распределение ускорений на коронирующих электродах: 1 – ЭГА, 2 - ЭГЭ

Каждый механизм встряхивания коронирующих электродов имеет привод, устанавливаемый сбоку и сверху на корпусе электрофильтра и вращающийся молотковый вал (рис.1). В этом случае угол падения молотка составляет  $90^\circ$ . Передача вращающего момента от привода к валу осуществляется через вал-изолятор из электротехнической керамики. Конструкция привода имеет варианты исполнения, применяемые в зависимости от свойств пыли. Для предотвращения запыляемости поверхности вала-изолятора предусмотрены защитные устройства, уменьшающие занос пыли на поверхности вала-изолятора. Удар молотка по наковальне коронирующего электрода осуществляется в вертикальном направлении (сверху вниз), рис.3. В качестве коронирующего элемента в данной конструкции применен элемент с боковыми иглами с пониженным напряжением зажигания короны, которое составляет величину 12–14 кВ [2].

Конструкция коронирующего электрода подтвердила свою эффективность как в стендовых и лабораторных исследованиях, так и в опытно-промышленной эксплуатации в энергетике (Черепетская ГРЭС), химическом производстве (Аммофос, Череповец) и др. отраслях промышленности. В ходе таких испытаний элемент был доработан с целью получения необходимых параметров по динамике в конструкции коронирующего электрода высотой 12–18 метров и получения более эффективного распределения ускорений по всей плоскости коронирующего электрода.

Существенно изменяется верхняя часть корпуса электрофильтра. Рамы подвеса коронирующих электродов убраны из межполюсного пространства, отпала необходимость иметь широкие средние ригельные балки, которые были предназначены для размещения опорно-проходных изоляторов соседних полей (рис.2). Теперь изоляторные коробки устанавливаются непосредственно на крышке аппарата над соответствующим полем электрофильтра. Такое конструктивное исполнение корпуса позволяет значительно повысить ремонтпригодность аппарата и обеспечивает устойчивый температурный режим в изоляторных коробках. Изоляторные коробки имеют две модификации:

- работы с улавливанием в электрофильтрах проводящих пылей;
- работы с улавливанием в электрофильтрах высокоомных пылей.

Мотор-редуктор привода подключается к сети через частотный преобразователь, позволяющий осуществлять управление режимом встряхивания и защиту от заклинивания молоткового вала. Применение частотного преобразователя для управления приводом электрофильтров запатентовано. Данная конструкция прошла стендовые и промышленные испытания и в настоящее время успешно эксплуатируется на электрофильтрах ОАО «Северсталь». Там впервые работает привод с регулируемой частотой вращения вала привода, с плавной регулировкой пуска двигателя и, что самое главное, позволило осуществить, впервые в нашей практике, надежную защиту электродвигателя от перегрузок и от заклинивания вала механизма встряхивания.

В новых электрофильтрах в зависимости от технологических параметров имеется возможность использовать межэлектродное расстояние до 460 мм, при этом гарантируется соблюдение требований нового ГОСТ Р 50831-095. Гарантии обеспечиваются тем, что в электродной системе с увеличением межэлектродного расстояния увеличивается напряженность у осадительного электрода, а рабочие напряжения на электрофильтре растут быстрее, чем пропорционально увеличивается межэлектродное расстояние. Применение системы газораспределения, расположенной в диффузоре электрофильтра, позволяет использовать пространство форкамеры под активную зону электрофильтра.

Наличие в СФ НИИОГАЗ стендов и методик для исследования и проектирования диффузоров и конфузоров электрофильтра является еще одной гарантией обеспечения требований ГОСТ Р 50831-95 в энергетике в своих установках газоочистки. Новые конструктивные решения позволили существенно улучшить технические характеристики электрофильтров ЭГСЭ в сравнении с серийными аппаратами:

- площадь осаждения (в объеме заданного корпуса) увеличилась на 35–50 % ;
- время пребывания частиц в активной зоне увеличилось на 35–50 % ;
- удельная металлоемкость (на единицу площади осаждения) снизилась на 6–20 %.

Компоновка электродных систем и размеры внутреннего механического оборудования ЭГСЭ позволяет проводить реконструкцию серийных аппаратов, устанавливая это оборудование в существующие корпуса. Концепция, заложенная в разработанной СФ НИИОГАЗ системе обеспечения надежности (СОН) и экологической безопасности, отличается от прежних принципов разработки, проектирования и эксплуатации аппаратов тем, что привязка новых отечественных электрофильтров для ТЭЦ и ГРЭС осуществляется по пяти основным направлениям:

- по технологическим требованиям – по производительности, степени очистки, скорости потока, и т.д. с одновременным выбором новой компоновки электродных систем;
- по экономическим требованиям рентабельности, прибыли, стоимости ремонтных затрат и запасных частей и т. д.;
- по экологическим требованиям – обеспечение экологической безопасности и, соответственно, минимальных выбросов в процессе эксплуатации разработанных электрофильтров или установки ( $50 \text{ мг/м}^3$ , или менее);
- по стратегии технического обслуживания и ремонта электрофильтра с учетом ремонтного цикла энергоблоков;
- по температурным процессам, имеющим место в моменты пуска и останова электрофильтра и в режиме их неправильной работы.

На стадии проектных работ были проведены исследования динамических характеристик осадительных и коронирующих электродов, которые показали следующие результаты:

- распределение ускорений по всей площади коронирующего и осадительного электрода происходит по тем же законам, что и на электрофильтрах с существующей компоновкой электродной системы;
- на новых электродных системах среднестатистическая величина ускорений не уступает уровню ускорений на существующих электродах. Так, среднестатистический уровень ускорений на коронирующих электродах высотой 18 м при их новой компоновке превышает в 1,15 раз, а максимальный уровень ускорений – в 1,7 раза соответствующие уровни ускорений на существующих коронирующих электродах высотой 15 м.
- при новой компоновке электродных систем обеспечивается необходимый уровень отряхивающих ускорений ( $>100g$ ) и эффективная очистка электродов от пылей, улавливаемых в энергетике.

Таблица 1.

**Динамические характеристики коронирующих электродов сухих электрофильтров**

Условная высота электрода м	Расположение механизмов встряхивания	Закон распределения ускорений	Среднестатистическая величина ускорений, a/g	Среднестатистическое отклонение ускорений	Максим, величина ускорений $A_{\text{max}}/g$	Миним. величина ускорений, $A_{\text{max}}/g$
9	С существующей	Нормальный	432	153	782	182
12		-	477	176	-	-
15		Экспоненциальный	255	255	703	123
9	С новой компоновкой электро-	Экспоненциальный	464	464	1076	151
18			Логарифмически нормальный	299	98	1196

В Семибратовской фирме НИИОГАЗ был проведен также цикл работ по разработке, исследованию и испытанию коронирующих электродов с пониженным напряжением зажигания коронного разряда. Серийные коронирующие электроды имеют относительно высокое напряжение зажигания короны, величина которого в значительной мере определяет степень очистки газов электрофильтрами. Так, у применяемых в отечественных электрофильтрах ленточно-игольчатых коронирующих электродов, обладающих наилучшими характеристиками, напряжение зажигания короны на воздухе находится на уровне 20–25 кВ.

При наличии в межэлектродном промежутке дисперсной фазы, особенно с медианным диаметром менее 10 микрон, эффект запираания коронного разряда приводит к сближению величины напряжения зажигания короны и уровня пробивных напряжений нередко до такой величины, когда система управления электро-

фильтра начинает работать в режиме малых токовых нагрузок, что приводит к неустойчивой работе системы автоматики электрофильтра.

Проведенные исследования показали, что снижение напряжения зажигания, например, с 20 кВ до 10 кВ при рабочем напряжении 50 кВ, эквивалентно повышению скорости дрейфа на 25 %. Расчет, проведенный по РДРТМ 26-14-21-80, также показывает значительное изменение скорости дрейфа частиц пыли при изменении напряжения зажигания.

Испытание не запыленных коронирующих элементов с пониженным  $U_0$  в лабораторных условиях показало, что напряжение зажигания таких элементов находится на уровне 10-12 кВ.

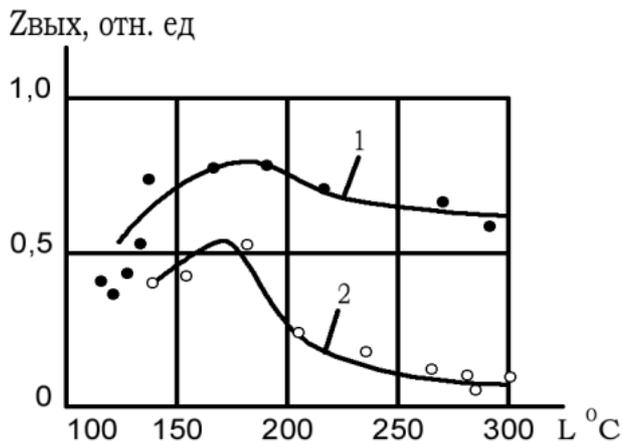


Рис. 4. Зависимость уноса золы от температуры:  
 1 – ленточно-игольчатые коронирующие электроды;  
 2 – опытные коронирующие электроды

Дальнейшие исследования коронирующих электродов осуществлялись на промышленном электрофильтре. Одна секция электрофильтра была оснащена ленточно-игольчатыми электродами, другая – коронирующими электродами с пониженным напряжением зажигания. Вольтамперные и редуцированные характеристики, снятые в период испытаний, подтвердили снижение напряжения зажигания до 14-15 кВ на секции с установленными коронирующими электродами с пониженным  $U_0$ . При сравнительных испытаниях электродов, скоростях газа в активной зоне электрофильтра 1,0 м/с, получено снижение выбросов пыли в среднем 2 раза в диапазоне температур 150–200 °С. Запыленность газов на входе в электрофильтр составляла 13–23 г/м<sup>3</sup> при улавливании золы кузнецких углей (рис. 4).

Зависимость относительно уноса золы от температуры газов для двух типов коронирующих электродов при скорости в активной зоне электрофильтра 1 м/с представлена на рис. 4. Подтверждено снижение уноса золы на всем протяжении диапазона температур в случае применения коронирующих электродов с малым радиусом кривизны игл.

Таким образом, исследования проведенные в лабораторных и промышленных условиях, показали, что снижение напряжения зажигания коронного разряда позволяет достичь значительного повышения степени очистки газов без дополнительных затрат на увеличение размеров активной части и аппарата в целом [3].

Подводя итог всему вышеизложенному, следует сказать, что новый высокоэффективный горизонтальный электрофильтр ЭГСЭ, разработка которого велась совместно с институтом ВГИ, РАО ЕЭС, позволяет эффективно решать задачи обеспечения нормативов выбросов по ГОСТ Р 50831-95 в условиях стесненных площадок действующих ТЭС.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дымовые электрофильтры/Левитов В.И., Решидов И.К., Ткаченко В.М. и др.: Под общ. ред. В.И.Левитова. М., Энергия. 1980. 448 с.
2. Чекалов Л.В., Ткаченко В.М. Пути интенсификации работы электрофильтров// Электрические станции. 2005, № 3.
3. Экотехника / Под ред. Чекалова Л.В. Ярославль, «Русь», 2004.

Санаев Ю.И.

### Снижение выбросов пыли из электрофильтров при улавливании высокоомной пыли

Электрическая очистка газов от пыли в теплоэнергетике при сжигании малосернистых углей, при сухом способе производства цемента и в ряде других отраслей промышленности затруднена обратной короной - электрическим пробоем высокоомного слоя пыли на осадительном электроде, сопровождающимся снижением рабочего напряжения в полях и ухудшением эффективности улавливания пыли.

Ухудшение улавливания пыли можно количественно оценить величиной снижения эффективной скорости дрейфа. При улавливании в электрофильтрах пыли с удельным электрическим сопротивлением (УЭС) пыли не более  $10^9$  Ом·м скорость дрейфа составляет примерно 6...12 см/с, а при улавливании пыли с высоким удельным электрическим сопротивлением (УЭС) эффективная скорость дрейфа составляет 3...5 см/с. Приняв в качестве исходной предпосылки для сравнения электрофильтров равенство параметров Дэйча при одинаковой эффективности улавливания пылей с высоким и низким УЭС получим:

$$D = \frac{W_1 L_1}{H_{01} V_1} = \frac{W_2 L_2}{H_{02} V_2} \quad (1)$$

где  $W$  – скорость дрейфа пылевых частиц;

$L$  – активная длина электрофильтра;

$H$  – межэлектродное расстояние;

$V$  – скорость газа в активной зоне электрофильтра.

1; 2 – индексы параметров соответственно при улавливании пылей без обратной короны и при ее наличии.

Отсюда следует, что для обеспечения той же степени очистки газов длина электрофильтра при улавливании высокоомной пыли должна быть увеличена примерно в 1,5... 2 раза. Это эквивалентно увеличению площади осаждения электрофильтра также в 1,5... 2 раза и соответствующему увеличению стоимости электрофильтра.

Естественно стремление производителей газоочистного оборудования снизить стоимость и габариты в плане при реконструкции электрофильтров для обеспечения требуемых норм выбросов пыли.

Одним из факторов, затрудняющих осуществление эффективных мер по снижению влияния обратной короны, является отсутствие методики и устройств, позволяющих получать однозначные данные о величине УЭС уловленной по полям пыли.

Известные устройства для измерения УЭС пыли в лабораторных условиях не могут дать достоверных результатов из-за невозможности воспроизведения условий промышленного электрофильтра (состав газов, условия осаждения пыли и формирования слоя) и сложности отбора представительной пробы. Специально разработанные устройства для измерения УЭС «Циклоном-1» (НИИОГАЗ), ИСП-1 (СФ НИИОГАЗ) (1) и др. не получили широкого применения по причине их сложности. Этими приборами также затруднено измерение УЭС по полям.

Устройство для измерения удельного электрического сопротивления непосредственно на слое осажденной пыли на осадительном электроде электрофильтра (2) хотя и позволяет измерять УЭС осажденного слоя пыли в любом поле и не требует специального источника питания для осаждения пыли, но монтаж этого устройства сложен и трудоёмок.

Известен способ, использующий вольтамперные характеристики полей электрофильтра, снятые при наличии и отсутствии слоя пыли на электродах.

Величину падения напряжения на слое пыли ( $U_{сл}$ ) можно определить по вольтамперным характеристикам как разность напряжений на чистых и запыленных электродах при рабочем токе данного поля (3). Тогда величина УЭС составит:

$$\rho_v = \frac{U_{сл}}{j \delta} \quad (2)$$

где  $j$  – плотность тока, а/м ;

$\delta$  – средняя толщина слоя пыли, м.

(При оптимальных режимах встряхивания осадительных электродов толщину слоя высокоомной пыли по полям можно принимать в диапазоне 3...5 мм. Меньшее значение толщины следует принимать для последних полей и для пылей, имеющих более высокое УЭС.)

Кроме указанного способа для измерения УЭС пыли, возможно также использование экспериментальных зависимостей пылеемкости осадительных ( $m_0$ ) и коронирующих ( $\mu_0$ ) электродов электрофильтров от величины удельного электрического сопротивления слоя пыли ( $\rho_v$ ):

$$m_0 = 3.14 - 0.25 \lg \rho_v$$

$$\mu_0 = 131 \rho_v^{-0.77}$$

После определения величины УЭС по полям предоставляется возможность получить уточненные данные для разработки (реконструкции) установки газоочистки. На стадии проектирования могут выполняться следующие мероприятия:

- выбор специальных схемных решений;
- изменение температуры очищаемых газов;
- введение кондиционирующих добавок;
- смешение газов от различных технологических процессов;
- выбор соответствующей конструкции и типоразмера электрофильтра;
- выбор устройств и способов питания электрофильтров.

Специальные схемные решения могут предусматривать установку ступеней предварительной очистки газов. Это целесообразно в тех случаях, когда улавливание части пыли перед электрофильтром позволяет исключить или уменьшить запыление коронного разряда (при высокой запыленности и малых размерах частиц пыли) и не будет приводить к существенному повышению УЭС оставшейся пыли. В качестве этих устройств могут быть использованы инерционные пылеуловители, мокрые аппараты. Применение мокрых пылеуловителей нередко более предпочтительно, т.к., кроме снижения концентрации пыли, они снижают температуру очищаемых газов и повышают проводимость пыли за счет абсорбции влаги. Известны устройства предварительной зарядки пыли и устройства коагуляции частиц (5), устанавливаемые на входе электрофильтра. Наконец, в особо сложных случаях, после электрофильтра могут быть установлены матерчатые фильтры.

Устройства снижения температуры газов, до температуры 90...100°C позволяют снижать УЭС до величины, при которой действие обратной короны прекращается. Практически, однако, снижение температуры газов возможно только до такой температуры, при которой не будет возникать конденсации паров, во избежание коррозии металла электрофильтра или газопроводов.

Для улучшения осаждения высокоомной пыли в газы на входе электрофильтра могут быть добавлены вода,  $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $HN_3$ ,  $H_2SO_4$  и др. При проектировании установок подачи и распыления воды необходимо учитывать климатические условия (нижние температуры). Установки химического кондиционирования, безусловно требуют капитальных дополнительных затрат и усложняют эксплуатацию установок газоочистки, но их применение, как правило, экономически оправдано. Введение аммиака позволяет существенно увеличить степень очистки газов электрофильтрами, однако годовая стоимость этого реагента соизмерима со стоимостью дополнительных полей электрофильтра, требуемых для получения той же степени очистки газов. Смешение газов от различных технологических схем в одном аппарате в тех случаях, когда это, возможно, может являться эффективным средством снижения выбросов пыли, однако для принятия таких решений необходимо проведение предварительного исследования. На стадии конструирования электрофильтра и при его эксплуатации целесообразно особое внимание уделить:

- выбору специальных типов коронирующих и осадительных электродов и междуэлектродного расстояния по полям электрофильтра;
- выбору массы бойков механизмов встряхивания, для обеспечения требуемых ускорений при отряхивании высокоомных пылей;
- подбору и отладке устройств газораспределения, обеспечивающих улучшенное распределение потока газов в электрофильтре и минимум перетоков газов в полуактивных и неактивных зонах.

На стадии конструирования электрофильтра весьма эффективным направлением является подбор коронирующих элементов по полям. На первых полях, особенно при высокой концентрации пыли, (например при улавливании золы экибастузского угля) целесообразна установка коронирующих элементов с пониженным напряжением зажигания. На последующих полях для выравнивания плотности тока по поверхности осадительного электрода может оказаться целесообразной установка элементов с разворотом игл по направлению хода газов. Для этого необходимо знать величину УЭС пыли по полям.

Необходимо также предусмотреть устройства или приставки импульсного питания полей электрофильтра, где ожидается наиболее развитая обратная корона. На стадии проведения пуско-наладочных работ электрофильтра:

- выбор и настройка режимов питания полей электрофильтра в соответствии с УЭС пыли, улавливаемой в данном поле;
- выбор режимов регенерации осадительных и коронирующих электродов;
- проверка и отладка аэродинамического и температурного режимов электрофильтра на воздухе;

При проведении пуско-наладочных работ необходимо измерение УЭС пыли на каждом поле электро-

фильтра для точной настройки режимов электрического питания и регенерации осадительных и коронирующих электродов. Вольтамперные характеристики и режим работы агрегатов питания, снятые на незапыленных электродах, должны быть сохранены на весь период эксплуатации электрофильтра как базовые; на их основании должны в дальнейшем делаться выводы о состоянии центровки электродной системы, ее зарастании пылью, с их помощью можно определять УЭС пыли, производить настройку режимов питания и регенерации электродов.

**Выводы.** Отсутствие достоверной методики измерения УЭС пыли затрудняет правильный выбор параметров установки электрической очистки газов. Наиболее приемлемыми в настоящее время следует считать методики, использующие вольтамперные характеристики полей и пылеемкость электродов.

Для обеспечения минимальных габаритов электрофильтра при обеспечении требуемых выбросов пыли при улавливании высокоомной пыли необходим анализ всех мер по повышению их эффективности: проектных и конструкторских решений, применения специальных источников питания, проведение специальных пуско-наладочных работ, с выдачей режимных карт, учитывающих условия функционирования каждого поля электрофильтра при улавливании им высокоомной пыли.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. Справочник. М., «Металлургия», 1986. С. 76–80.
2. Кизим И.А., Решидов И.К., Санаев Ю.И. Устройство для измерения удельного электрического сопротивления пыли. А.С. №369513, Б.И. №10, 1973.
3. Левитов В.И., Решидов И.К. О применении автоматизированного метода зондовых характеристик к некоторым задачам электростатики. С. 152–153. В сб.: Сильные электрические поля в технологических процессах/Под ред. акад. В.И.Попкова. М., «Энергия».
4. Экотехника/Под ред. Чекалова Л.В. Ярославль, «Русь», 2004. С. 232–235.
5. Санаев Ю.И., Мошкин А.А., Гришечкин А.К. и др. Электрофильтр. Патент № 2136381.

Гинзбург Я.Л., Чекалов Л.В.

### Влияние условий вывода газового потока из электрофильтров на их степень улавливания

Вывод газового потока из последнего поля электрофильтров осуществляют через конфузоры, которые являются необходимым конструктивным элементом для перехода из активной зоны электрофильтра к отводящим газоходам, в которых скорости газа имеют более высокие значения. Такое ускорение потока приводит к неравномерности полей скоростей газа в активной зоне последнего электрополя и увеличению этой неравномерности по мере приближения к конфузору [1].

Влияние неравномерности полей скоростей в активной зоне электрофильтра изучено И.Е.Идельчиком [1, 2] и другими авторами [3, 4, 5].

Для определения этой неравномерности эти авторы применяли различные критерии. И.Е.Идельчик определял степень неравномерности поля скоростей газа с помощью выражения:

$$M = \frac{1}{F_a} \int_{F_a} \left( \frac{W}{W_a} \right)^2 dF \quad (1)$$

где  $F_a$  – площадь поперечного сечения активной зоны,  $m^2$ ;  $W$  – скорость газового потока в произвольной точке этого сечения,  $m/c$ ;  $W_a$  – осредненная по площади поперечного сечения активной зоны скорость газа,  $m/c$ .

Влияние  $M$  на степень пылеулавливания учитывалось с помощью модифицированной формулы Дейча:

$$c = \exp\left(-\frac{V \cdot L}{\delta \cdot W_a \cdot M}\right) \quad (2)$$

где  $c$  – коэффициент уноса,  $г/с$  на выходе из электрофильтра к ее массовому расходу на входе (относительный унос);

$V$  – скорость дрейфа пылевых частиц к осадительному электроду,  $m/c$ ;

$L$  – полная длина активной зоны в электрофильтре,  $m$ ;

$\delta$  – расстояние между коронирующим и осадительным электродами,  $m$ .

Рихтер Л.А. применял для оценки неравномерности скоростей газового потока величину обратную М:

$$m = \frac{1}{M}$$

Полагая, что М более четко описывает физический смысл неравномерности поля скоростей, в дальнейшем будем оперировать именно этой величиной. В уравнении (2) влияние степени неравномерности поля скоростей М на относительный унос из электрофильтра определялось из условия, что значение М не меняется по длине активной зоны. Фактически наблюдается изменение М как на начальном участке активной зоны (уменьшение М вследствие выравнивающего действия электродной системы), так и на конечном участке (увеличение М) перед конфузуром.

В связи с этим возникла задача уточнения формулы Дейча с учетом изменения коэффициента М по длине активной зоны электрофильтра.

Рассмотрим баланс пылевого потока в газовом проходе на участке с элементарной длиной  $dx$  на расстоянии  $X \in (0 \leq X \leq l)$  от входа в электрополе. Здесь  $l$  - длина активной зоны в электрополе, а нулю соответствует начало этой зоны.

Введем, как сделано в [1], среднюю по расходу (а не по площади) скорость  $W_p$  :

$$(3)$$

$$W_p = M_x \cdot W_a$$

$$M_x = \frac{1}{F_a} \int_{F_a} \left( \frac{W}{W_a} \right)^2 dF \quad (4)$$

$M_x$  – коэффициент, определяющий неравномерность скоростей на расстоянии  $x$  от входа в электрополе;

$W$  – скорость газового потока в произвольной точке газового прохода, м/с;

$F_a = 2H \delta$  – площадь поперечного сечения активной зоны в газовом проходе, м<sup>2</sup>

$H$  – высота активной зоны коронирующего электрода, м

Баланс пылевого потока через элементарный участок активной зоны длиной  $dx$  между соседними осадительными электродами выражается зависимостью:

$$2H \cdot K \cdot \delta W_a M_x Z_x - 2H \delta K \cdot W_a (M_x + dM) \cdot (Z_x - dZ) = -2H dx \cdot K \cdot V_x \cdot Z_x$$

где  $Z_x$  – массовая концентрация пыли на расстоянии  $x$  от входа в электрополе, г/м<sup>3</sup>;  $K$  – количество осадительных электродов.

В левой части (4) представлена разность массовых расходов пыли на входе и выходе элементарного участка, а в правой – массовый расход осаждаемой на осадительных электродах пыли с площадью осаждения  $2H \cdot K \cdot dx$ . После преобразования выражения (4) и отбрасывания значений, содержащих произведение  $dZ \cdot dM$ , как бесконечно малых более высокого порядка, получим выражение:

$$\frac{dZ}{Z} = \frac{dM}{M} - \frac{V dx}{MW \delta} \quad (5)$$

После интегрирования (5) по  $x$  от 0 до  $t$  (переменный верхний предел интегрирования из промежутка  $0 \leq X \leq l$ ) получим:

$$Z_t = Z_0 \frac{M_t}{M_0} \cdot \exp(-J) \quad (6)$$

где индекс 0 определяет значение  $Z$  и  $M$  при  $x = 0$ ;

индекс  $t$  – определяет значение  $Z$  и  $M$  при  $x = t$  причем  $t$  принимает любые значения из промежутка  $(0 \leq x \leq l)$

где

$$J = \int_0^t \frac{V dx}{MW_a \cdot \delta} \quad (7)$$

Приведенная выше зависимость (4) относится к активной зоне последнего электрополя, где по мере увеличения  $x$  и, следовательно приближения к конфузуре, значение М возрастает.

В некоторых случаях значение М получается переменным на входе в электрофильтр в его первом электрополе. Это происходит, когда за счет трения о поверхности осадительных электродов, значение М уменьшается по мере увеличения координаты  $x$ . Здесь  $x=0$  соответствует началу активной зоны первого электрополя. При уменьшении М, с увеличением  $x$ , зависимость (5) принимает вид:

$$\frac{dZ}{Z} = \frac{dM}{M} - \frac{V dx}{MW \delta} \quad (8)$$

После интегрирования от  $x = 0$  до  $x = t$  получим:

$$Z_6 = Z_1 \frac{M_0}{M_1} \cdot \exp(-J) \quad (9)$$

В настоящее время не известны исследования по прямой оценке влияния на относительный унос параметров конфузора и связанной с ним неравномерности скоростей газового потока в активной зоне последнего, а в ряде случаев и предпоследнего поля.

И.Е.Идельчик [1, 2] применил косвенную оценку, по отношению наибольшей скорости  $W_m$  на оси активной зоны к средней скорости  $W_a$ . При этом считалось, что чем больше отношение  $W_m/W_a$  в рассматриваемом сечении, тем больше и соответствующее значение  $M$ . Предельной допустимой принималась величина  $W_m/W_a \leq 1,5$ . Наша дальнейшая задача – перейти от отношения  $W_m/W_a$  к соответствующему значению  $M$ , а затем, зная распределение  $M$  по длине активной зоны, рассчитать по зависимостям (6) и (7) соответствующую степень уноса из электрофильтра.

Схема последнего электрополя и примыкающего к нему конфузора дана на рис. 1. На этой схеме использованы размеры двухсекционного электрофильтра ЭГАВ-12-56. Все дальнейшие расчеты будут выполнены для одной секции этого электрофильтра с числом газовых проходов  $=56/2 = 28$  и расстояниями между соседними осадительными электродами  $b = 0,3$  м.

$$\text{Тогда } F_a = H - K \cdot b = 12 \cdot 28 \cdot 0,3 = 100,8 \text{ м}^2$$

Чтобы определить по величине  $\alpha = W_m/W_a$  соответствующее значение  $M$ , воспользуемся допущением, предложенным И.Е. Идельчиком [1, 2]. Он отмечал, что резкое повышение скоростей наблюдается только в пределах проекции выходного отверстия на рабочее сечение. Под рабочим сечением понималось сечение активной зоны, для которого определяли  $W_m/W_a$  и  $M$  в последнем или предпоследнем поле. Введем обозначения:

- площадь отверстия конфузора на выходе –  $F_1$ ;
- площадь отверстия конфузора на входе –  $F_1$ ;
- максимальная скорость по оси входного отверстия конфузора –  $W^1$ ;
- средняя по площади скорость во входном отверстии конфузора –  $W_1$ ;

Отношение площади активной зоны  $F_a$  к площади выхода из нее, или к площади входного отверстия конфузора  $F_1$  равно:

$$F_a/F_1 = H / (H-1) \quad (10)$$

Для электрофильтра с  $H = 12$  м  $F_a/F_1 = 1,091$ .

Следуя И.Е.Идельчику [1], для определения неравномерности потока в активной зоне последнего поля электрофильтра при конфузурном выходе следует учесть неравномерность распределения скоростей потока во входном сечении конфузора, т.е. вместо истинной площади  $F_1$  входного сечения конфузора следует взять меньшую (эффективную) площадь  $F_{1\text{эф}}$ , которая равна:

$$F_{1\text{эф}} = F_1 W_1 / W^1 \quad (11)$$

Величина  $W^1$  определяется по формуле:

$$\frac{W^1}{W_1} = \frac{F_1}{F_1^1} - \left( \frac{F_1}{F_1^1} - 1 \right) \frac{\frac{l_k}{A}}{\sqrt{0,14 + \left( \frac{l_k}{A} \right)^2}} \quad (12)$$

Максимальная скорость  $W_m$  (скорость на оси) в сечении активной зоны последнего электрополя, находящегося на расстоянии  $X + 0,812$  (см. рис.1) от входа в конфузор, может быть определена по формуле:

$$\alpha = \frac{W_m}{W_a} = \frac{F_a}{F_{1\text{эф}}^1} - \left( \frac{F_a}{F_{1\text{эф}}^1} - 1 \right) \frac{\frac{X + 0,812}{D_1}}{\sqrt{0,14 + \left( \frac{X + 0,812}{D_1} \right)^2}} \quad (13)$$

Здесь часть обозначений, введенных И.Е.Идельчиком, заменена эквивалентными обозначениями из схемы на рис. 1

$D_1$  – гидравлический диаметр входного отверстия конфузора, определяемый по формуле:

$$D_1 = 4F_1 / \Pi \quad (14)$$

где  $\Pi$  – периметр входного отверстия конфузора.

Принимая, что ширина входного отверстия конфузора равна ширине активной зоны, а высота этого отверстия в метрах равна  $H-1$  с учетом (10), получим:

$$D_1 = \frac{4F_a(H-1)}{H \cdot 2 \left( H-1 + \frac{F_a}{H} \right)} = \frac{2F_a \cdot \frac{H-1}{H}}{\left( H-1 + \frac{F_a}{H} \right)}$$

(15)

Для оценки значения степени неравномерности скоростей газового потока  $M$  в сечении активной зоны на расстоянии  $(X+0,812)$  м от входа в конфузор принимаем:

- в центральной части сечения на площади  $F_{\text{эф}}$  скорость потока равна  $W_m$ ;
- на остальной части сечения с площадью  $F_a - F_{\text{эф}}$  скорость равна:

$$\frac{F_a \cdot W_a - F_{\text{эф}} \cdot W_m}{F_a - F_{\text{эф}}}$$

На основе принятых допущений коэффициент  $M$  равен:

$$M = \frac{W_m^2 \cdot F_{\text{эф}} + \left( \frac{F_a \cdot W_a - F_{\text{эф}} \cdot W_m}{F_a - F_{\text{эф}}} \right)^2 \cdot (F_a - F_{\text{эф}})}{W_a^2 \cdot F_a} \quad (16)$$

После преобразования получим:

$$M = \alpha^2 \cdot \frac{F_{\text{эф}}}{F_a} + \frac{\left( 1 - \frac{F_{\text{эф}}}{F_a} \cdot \alpha \right)^2}{1 - \frac{F_{\text{эф}}}{F_a}} \quad (17)$$

Обычно для промышленных электрофильтров отношение  $F_a/F_1^1=12$ , откуда:

$$A = \sqrt{\frac{F_a}{12}} = 2,9 \text{ м} \quad (18)$$

Значение  $t$  связано с  $X$  ( см. рис.1) зависимостью:  $t=3,2-X$  Длина конфузора равна:

$$l_k = \frac{H - 1 - A}{2} \cdot \text{tg } 30^\circ \quad (19)$$

Результаты расчета  $M$  для размеров, данных на рис. 1, приведены в таблице 1.

**Таблица 1.**

T	0	0,32	0,64	0,96	1,28	1,6	1,92	2,24	2,56	2,88	3,2
X	3,2	2,88	2,56	2,24	1,92	1,6	1,28	0,96	0,64	0,32	0
$\alpha$	1,28	1,31	1,35	1,39	1,43	1,49	1,55	1,61	1,69	1,77	1,86
M	1,071	1,087	1,11	1,138	1,167	1,217	1,274	1,336	1,431	1,536	1,669

Для заданной степени пылеулавливания электрофильтра  $C$  определим параметр:  $VL/\delta W_a$  из (2) при  $M = 1$

$$VL / \delta W_a = -\ln C$$

После подстановки этого выражения в (7) получим:

$$J = -\int_0^1 \frac{\ln C \cdot dt}{LM} = -\frac{\ln C}{L} \int_0^1 \frac{dt}{M} = -\frac{\ln C}{L} \cdot 2,57 \quad (20)$$

Умножим числитель и знаменатель результата в (20) на длину активной зоны электрополя  $l=3,2$  м, то-

$$\text{гда: } J = -\frac{\ln C}{L/l} = 2,57/3,2 = -0,803 / i \ln C$$

где  $i = L/l$  число полей электрофильтра. Для  $i = 3$  получим  $J = -0,268 \ln C$ .

Подставив в (6) это значение  $J$ , а также из таблицы 1  $M_0 = 1,071$ ;

$M(t=1) = 1,669$ , получим для последнего поля относительный унос:

$$C^1 = Z_l/Z_0 = 1,669/1,071 \exp(0,268 \ln C) = 1,56 C^{0,268}$$

Если принять величину относительного выноса в соответствии с современными требованиями  $C = 0,005$  - для равномерного распределения скоростей, то для принятой схемы с конфузуром этот унос будет равен:

$$C^1 = 1,56 \cdot 0,005^{0,268} = 0,377$$

Относительный вынос из первых 2-х полей при равномерном распределении скоростей газа будет равен:

$$C_{1+2} = \exp(2/L \cdot \ln C) = \exp(2/3 \cdot \ln C) = C^{2/3} = 0,005^{0,667} = 0,0292$$

С учетом (19) получим вынос из последнего третьего поля:

$$C_3 = C_{1+2} C^1 = 0,0292 \cdot 0,37 = 0,011$$

Таким образом, конфузор при принятых условиях вызывает увеличение выноса пыли из рассматриваемого электрофилтра в

$$C_3/C = 0,011/0,005 = 2,2 \text{ раза.}$$

Применение решетки, например, с коэффициентом гидравлического сопротивления  $\zeta = 5,7$  (коэффициент живого сечения 0,45) обуславливает уменьшение неравномерности скоростей газового потока. Следует обратить внимание на то, что зависимость (11), полученная при принятых допущениях, может быть применена только для оценочного сопоставительного анализа влияния различных вариантов выгодного участка электрофилтра. Для более точных выводов, при сопоставлении этих вариантов, необходимо измерение полей скоростей в аэродинамически подобной модели электрофилтра.

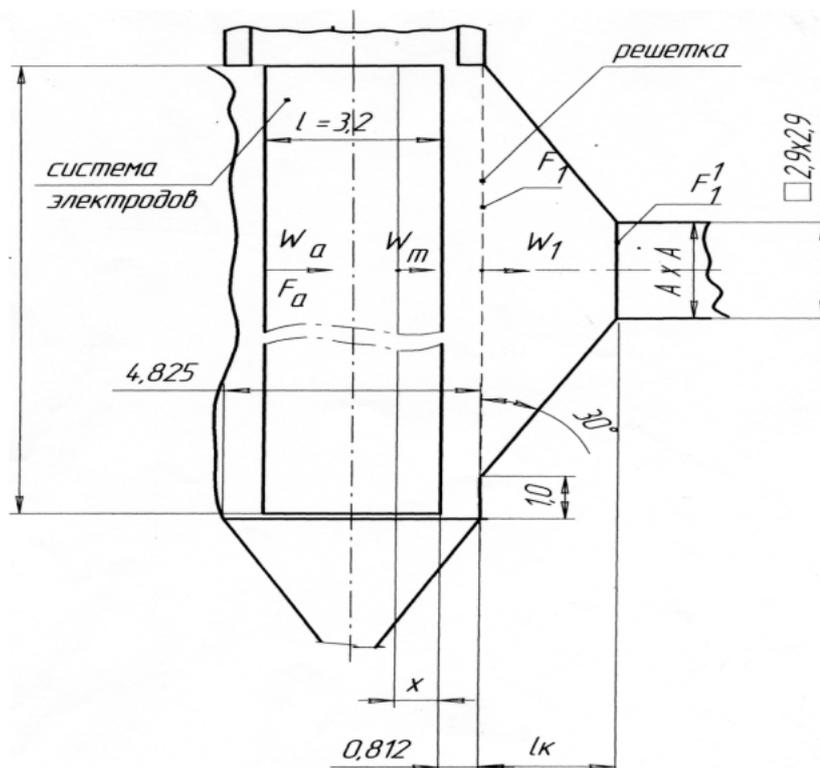


Рис. 1. Схема поля электрофилтра с конфузуром  
Размеры в метрах

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Идельчик И.Е. Аэродинамика промышленных аппаратов. М.-Л., Энергия, 1964. 288 с. с ил.
2. Идельчик И.Е. Аэродинамика технологических аппаратов. М., Машиностроение. 1983. 351 с. с ил.
3. Рихтер Л.А. Влияние аэродинамических факторов на эффективность работы электрофилтров//Электрические станции, 1957, № 10. С. 15–17.
4. Рихтер Л.А. Тепловые электрические станции и защита атмосферы. М., Энергия, 1975. С. 312.
5. Рихтер Л.А., Козлов Ю.Г. Влияние неравномерности потока на эффективность работы многокорпусных электрофилтров//Электрические станции. 1966, № 11. С. 19–23.

Н.А.Архипов, Л.В.Чекалов, Н.А.Курицын, И.А.Кизим

**Электрофилтры типа ЭГАВ для металлургии. Опыт внедрения**

До 90% объемов технологических газов в черной металлургии традиционно очищается электрофильтрами (ЭФ), что экономически обосновано при очистке больших объемов газов температурой выше 150 °С и требуемой выходной запыленностью до 50 мг/м<sup>3</sup>. Для эффективной работы ЭФ необходимо учитывать условия эксплуатации в черной металлургии: динамичность изменения технологических режимов и, соответственно, свойств очищаемого пылегазового потока, мелкодисперсный состав улавливаемых пылей и др.

Для таких условий ЗАО «Кондор-Эко» совместно с ЗАО «СФНИИОГАЗ» и ОАО «Северсталь» разработали и внедрили специализированные ЭФ, которые отвечают следующим требованиям:

- электродная система обеспечивает работу полей ЭФ, особенно первого поля, с большой концентрацией частиц с медианным диаметром менее 5 мкм;
- токоподвод обеспечивает надежную работу при наличии углерода в очищаемом газе, который образует проводящий слой при запыленности;
- быстродействующая система встряхивания электродов;
- гибкопрограммируемая система управления агрегатов питания, которая обеспечивает их работу при токовых нагрузках близких к нулю, в случае запираания коронного разряда в полях ЭФ мелкодисперсной пылью;
- верхнее встряхивание коронирующих электродов с целью увеличения активной длины ЭФ в условиях дефицита производственных площадей для размещения ЭФ.

Для реализации этих требований необходимо применять интенсивные коронирующие электроды типа СФ с низким напряжением зажигания короны 10-12 кВ вместо 22-24 кВ для серийных коронирующих электродов ленточно-зубчатого типа.

Новый коронирующий элемент типа СФ-1 принят за базовый в новом электрофильтре ЭГАВ.

В ЗАО «СФНИИОГАЗ» проведены испытания коронирующего электрода рамной конструкции с элементами СФ-1 высотой 9-18 метров. Сделанные выводы заключаются в том, что можно эффективно отряхивать коронирующие электроды с элементами СФ-1 высотой до 18 м и длиной поля до 4 м.

Разработана надежная система встряхивания электродов с использованием мотор-редукторов с частотным регулированием скорости вращения вала в широком диапазоне, что позволяет осуществлять поэлектродное, групповое встряхивание электродов всего поля в течение заданного интервала времени.

Исследования безударного пуска асинхронных двигателей в приводах механизмов встряхивания электродов, проведенные в СФ НИИОГАЗ в 1978-1980 гг., выявили необходимость использования частотного управления асинхронными двигателями в указанных приводах.

Современный привод с частотным управлением электродвигателем для механизмов встряхивания электродов электрофильтра весит с редуктором менее 20 кг (привод на основе МПО с цилиндрической парой весит более 200 кг).

Применение безударного пуска позволяет включать электродвигатель, не разбивая входные шестерни редуктора, и частота включений зависит только от выбора двигателя по нагреву. Управление электродвигателем с алгоритмом позиционирования допускает поворот вала механизмов встряхивания на заданный угол за один пуск электродвигателя. Таким образом, имеется возможность управлять встряхиванием каждого отдельного электрода в электрофильтре.

Выбор передаточного числа редуктора, кроме обеспечения требуемого момента для трогания вала механизмов встряхивания в пылевых подшипниках, сделан с учетом надежной реакции системы управления на заклинивание молотков механизма встряхивания.

Система управления является не критичной к перемене фаз на питании электродвигателя и его невозможно включить в обратном направлении вращения. Этот режим существенно повышает эксплуатационную надежность механизмов встряхивания.

Для управления агрегатами питания разработан регулятор с использованием микропроцессора, с возможностью применения различных программ регулирования напряжения в зависимости от технологического режима ЭФ.

Впервые в отечественной практике разработана конструкция ЭФ типа ЭГАВ с верхним встряхиванием коронирующих электродов, что позволило значительно сократить промежутки между полями и увеличить активную длину ЭФ.

Для очистки аспирационных газов литейных дворов доменных печей № 1-2 ОАО «Северсталь» разработаны ЭФ типа ЭГАВ2-56-12-5-4 с верхним встряхиванием коронирующих электродов типа СФ, агрегатами питания с новыми регуляторами напряжения типа БУЭФ, новыми мотор-редукторами с частотным регулированием скорости вращения вала встряхивания электродов.

В качестве коронирующего элемента в данной конструкции применен коронирующий элемент с боковыми иглами с пониженным напряжением зажигания короны и рассредоточенными центрами зажигания коронного разряда (рис. 1).



**Рис. 1. Коронирующий электрод с дополнительными точками коронирования:**

1 - профилированная центральная часть корпуса элемента; 2 - коронирующие наконечники, отогнутые; 3 - коронирующий наконечник в плоскости корпуса элемента с большим, чем у отогнутых, углом при вершине; 4 - плоские краевые секции корпуса элемента; 5 - торцевые линии (плоскости) плоских краевых секций.

Отличительной особенностью этих коронирующих электродов является сниженное напряжение зажигания короны, что увеличивает эффективную скорость дрейфа частиц и повышает устойчивость работы электрофилтра, что особенно важно для высоких значений запыленности с содержанием мелкодисперсных частиц. В последнем случае в межэлектродном промежутке имеется повышенное содержание мелкодисперсных частиц. Объемный заряд, создаваемый этой дисперсной фазой, вызывает эффект запыления коронного разряда, что приводит к ухудшению улавливания частиц в первых полях электрофилтра. Нередко происходит сближение величин напряжения зажигания короны и пробивных напряжений до такой величины, при которой система управления электрофилтра работает неустойчиво.

Кроме того, применение расщепленных центров зажигания коронного разряда предотвращает образование точек обратного коронирования (т.н. горячие точки) более равномерным распределением тока по поверхности осадительных электродов.

Новая конструкция узлов встряхивания и верхнее размещение механизмов встряхивания коронирующих электродов, позволили уменьшить межполюсные промежутки габариты аппаратов.

Конструктивное исполнение электродных систем и их механизмов встряхивания позволило увеличить высоту и число осадительных элементов в одном электрополе.

Стандовые исследования динамических характеристик осадительных и коронирующих электродов новых электрофилтров показали, что при высоте электродов до 18 м обеспечивается необходимый уровень отряхивающих ускорений ( $>100g$ ) и эффективная очистка коронирующих и осадительных электродов от пылей, характерных для металлургии.

Совершенно новым узлом в представленном электрофилтре ЭГАВ являются привода коронирующих и осадительных электродов. В качестве мотор-редуктора использован итальянский редуктор, отечественный электродвигатель и японская система управления. Такое сочетание используемых комплектующих позволило получить привод с регулируемой частотой вращения вала привода, с плавной регулировкой пуска двигателя и, что самое главное, позволило осуществить впервые в нашей практике защиту электродвигателя от перегрузок при заклинивании вала механизма отряхивания. Данная конструкция прошла стендовые испытания и в настоящее время успешно эксплуатируется на электрофилтрах ОАО «Северсталь».

Существенно изменена верхняя часть корпуса электрофилтра, что позволило значительно повысить ремонтпригодность аппарата, и обеспечило устойчивый температурный режим в изоляторных коробках.

С целью снижения металлоемкости применяется увеличенное межэлектродное расстояние.

Большое значение на эффективность и стабильность показателей электрофилтра оказывает система автоматического управления электропитанием. На новом электрофилтре устанавливается микропроцессорное устройство управления агрегатами питания типа БУЭФ.

На рис. 2 приведены результаты сравнительных стендовых испытаний новых коронирующих электродов, подтверждающие значительное увеличение эффективности золоулавливания при их применении.



**Рис. 2. Зависимость эффективности улавливания от плотности тока**

Исследования коронирующих электродов в промышленном электрофильтре подтвердили снижение выбросов пыли в 2 раза в диапазоне температур 150-200° С.

В августе 2005 года для очистки аспирационного воздуха литейных дворов доменных печей ДП-1 и ДП-2 ОАО «Северсталь» пущены в эксплуатацию два электрофильтра типа ЭГАВ2-56-12-5-4. Испытания электрофильтров в период пуско-наладочных работ дали результат 17–18 мг/м<sup>3</sup> по остаточной запыленности.

Испытания электрофильтров в условиях длительной эксплуатации (через два года) показали, что запыленность после электрофильтров не возросла и составила 13–19 мг/м<sup>3</sup> при проектном значении 50 мг/м<sup>3</sup> (таблица 1). Измеренное при испытаниях удельное электрическое сопротивление пыли составило величину  $2,5 \cdot 10^8$  Ом · м.

В течение двух лет эксплуатации электрофильтры ЭГАВ аспирационных систем доменных печей ДП-1 и ДП-2 показали надежную устойчивую работу механического оборудования. За этот период не зафиксировано ни одного отказа оборудования. Электрические параметры за этот период не изменились и составили по напряжению 45-49 кВ при удельных токовых нагрузках 0,07-0,09 мА/м.

**Таблица 1**

№ п/п	Параметры электрофильтра	Ед. измерения	Значение
1	Объем газов в электрофильтре	м <sup>3</sup> /сек	207,0
2	Скорость газа в электрофильтре	м/сек	1,14
3	Время пребывания частиц пыли в поле электрофильтра	Сек	14,5
4	Запыленность газов после электрофильтра	мг/м <sup>3</sup>	13,0-19,0
5	Массовый выброс пыли	г/сек	2,7-4,3

Необходимо отметить работы холдинговой группы «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» в направлении использования высокочастотных источников питания для электрофильтров.

К недостаткам используемых в настоящее время традиционных источников питания, работающих на частоте 50 Гц, можно отнести: высокий уровень пульсаций выходного напряжения, значительное время восстановления допробойного напряжения, что влечет к понижению среднего значения выходного напряжения.

Использование высокочастотных источников питания и системы управления, разрабатываемых Всероссийским электротехническим институтом и ЗАО «СФ НИИОГАЗ» с учетом большого практического опыта, позволит обеспечить повышение эффективности работы электрофильтра на ряде пылей в 1,5–2 раза.

Планируется оснащение одного или нескольких полей электрофильтров нового поколения типа ЭГАВ высокочастотными источниками питания, что в совокупности с применением коронирующих электродов с пониженным напряжением зажигания короны и высокоточных осадительных элементов, позволит холдинговой группе вывести производимое пылеулавливающее оборудование на новый качественный и технический уровень.

В заключение приводим технические характеристики электрофильтров типа ЭГАВ:

Условная высота электродов, м	4,0; 6,0; 7,5; 9,0; 10,5; 12,0; 13,5; 15,0
Межэлектродный шаг, мм	300; 350; 400; 460;
Количество газовых проходов, шт.	от 8 до 88;
Длина электрического поля, м	2,56; 3,2; 3,84; 4,48;
Количество полей, шт.	2–6;

Производительность по очищаемому газу (при условной скорости в активной зоне 1 м/с), тыс.м <sup>3</sup> /ч	50...1500;
Температура очищаемого газа, °С, не более	250;
Запыленность газов на входе, г/нм <sup>3</sup> , не более	90;
Осадительные электроды	Эко МК4х160;
Привода встряхивания	на основе мотор-редуктора с частотным регулированием скорости вращения вала встряхивания.

Внутреннее механическое оборудование, дополнительное оборудование (газораспределительные решетки, механизмы встряхивания решеток и др.) поставляется холдинговой группой «Кондор-Эко – СФ НИИ-ОГАЗ» в соответствии с проектом установки.

**Ю.М.Морозов**

## Электрофильтры типа ЭГСЭ

Электрофильтры типа ЭГСЭ, предназначенные в первую очередь для установки в энергетике, конструктивно базируются на разработках, которые были выполнены в основном в конце 90-х – начале 2000-х гг. и которые использованы также в электрофильтрах типа ЭГАВ.

Естественно, что в конструкциях этих аппаратов были также использованы узлы и детали аппаратов типа ЭГА, показавшие свою эксплуатационную надежность и эффективность.

Несмотря на значительную схожесть, электрофильтры типа ЭГСЭ имеют и ряд существенных отличий от электрофильтров типа ЭГАВ. В первую очередь это касается применения электродов высотой более 12 метров. Необходимость применения электрофильтров высотой электродов более 12 метров вызвана двумя причинами. Во-первых, это, как правило, отсутствие места для изменения габаритов аппарата в ширину и длину. Во-вторых, это необходимость уменьшения скорости газа в электрофильтрах для достижения требуемой выходной запыленности. Использование электродов длиной до 18 метров потребовало проведения комплекса работ как технологического, так и исследовательского характера.

Технологически необходимо было создать линию холодного проката и профилирования, которая позволяла бы получать элементы осадительного электрода такой длины и при этом элемент должен был иметь минимально допустимые отклонения от прямолинейности во всех плоскостях. Такая линия была разработана, изготовлена и установлена на производственной площадке (см. рис. на 4-й стр. обложки) и с 2005 года элементы различной длины поставляются потребителям. За это время было выпущено две партии электродов длиной 18 метров для проведения испытаний. Данные прямых измерений показали, что отклонение от прямолинейности на длине 18 метров составили не более 5 мм.

Линия проката сконструирована таким образом, что может быть разобрана и перевезена к месту монтажа электрофильтров, смонтирована и налажена на новом месте за 5 дней.

Применение электродов высотой более 12 метров должно быть обосновано в первую очередь с точки зрения обеспеченности необходимыми значениями ударных ускорений по всей площади электрода.

В СФ НИИОГАЗ накоплен большой объем исследовательского материала, выполненного под руководством к.т.н. Завьялова А.И. и позволяющего сделать определенные выводы по этому вопросу.

Проведены измерения ударных ускорений на элементах электрода при ударе в горизонтальном направлении по балке встряхивания, расположенной на нижних концах элементов (рис. 2а) при длине элементов от 9 до 15 метров.

Проведены испытания при встряхивании осадительного электрода длиной 6,5 метров при горизонтальном и вертикальном направлении удара по верхней балке крепления элементов с различными вариантами крепления балки и расположениями точки приложения удара (рис. 2б). Анализ результатов этих исследований позволяет сделать выводы о необходимости применения одного или двух уровней встряхивания осадительного электрода для обеспечения достаточного уровня ускорений при подборе электрофильтра по конкретным исходным данным.

Для очистки больших объемов газа разработана также и конструкция коронирующего электрода высотой до 18 метров, в которой и подвес и система встряхивания расположены сверху. Коронирующий электрод может также иметь один или два уровня встряхивания.

В каждом конкретном случае выбор одного или двух уровней встряхивания зависит от габаритов электрода

и свойств пыли осаждаемой на электродах. Несмотря на увеличенную высоту электрода и сохраненную массу молотков механизма встряхивания, за счет конструктивного исполнения рамы и увеличения угла сброса молотка до  $90^\circ$  необходимый уровень ускорений для отряхивания золы с коронирующего электрода достигается на всех элементах как в поперечном направлении (относительно направления удара), так и по высоте электрода. В таблице приведены динамические характеристики коронирующих электродов.

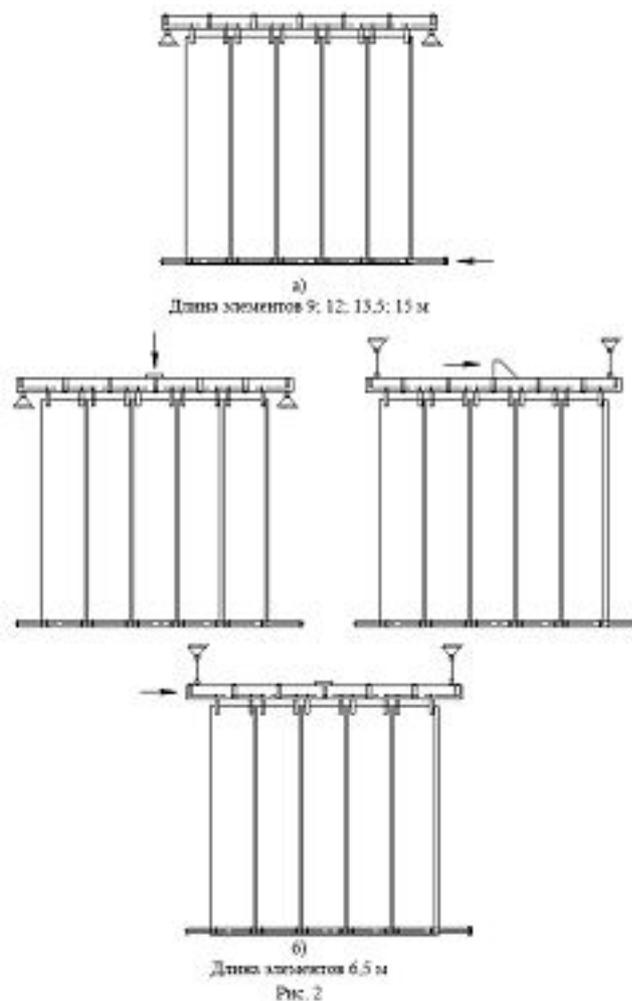


Таблица.

**Динамические характеристики коронирующих электродов сухих электрофильтров**

Условная высота электрода, м	Расположение механизмов встряхивания	Закон распределения ускорений	Среднестатистическая величина ускорений, $a/g$	Среднестатистическое отклонение ускорений, $\sigma/g$	Максимальная величина ускорений $A_{max}/g$	Минимальная величина ускорений, $A_{min}/g$
9	С существующей компоновкой электрода ЭГА, ЭГБ	Нормальный	432	153	782	182
12		-	477	176	-	-
15		Экспоненциальный	255	255	703	123
9	С новой компоновкой электрода ЭГАВ, ЭГСЭ	Экспоненциальный	464	464	1076	151
18		Логарифмически нормальный	299	98	1196	$\geq 122$

Из полученных результатов следует:

- распределение ускорений по всей площади коронирующего и осадительного электрода происходит по тем же законам, что и на электрофильтрах с существующей компоновкой электродной системы;
- на новых электродных системах среднестатистическая величина ускорений не уступает уровню ускорений на существующих электродах. Так среднестатистический уровень ускорений на коронирующих электродах высотой 18 метров при их новой компоновке превышает в 1,15 раз, а максимальный уровень ускорений – в 1,7 раза соответствующие уровни ускорений на существующих коронирующих электродах высотой 15 метров;
- при новой компоновке электродных систем обеспечивается необходимый уровень отряхивания ускорений ( $> 100g$ ) для эффективной очистки электродов от пылей, улавливаемых в энергетике.

Зола в энергетике имеет достаточно широкий диапазон характеризующих ее параметров, влияющих на эффективность улавливания и удаления ее с электрода. Кроме того, в зависимости от зольности топлива входная запыленность может меняться от нескольких грамм до 50-70 грамм на  $nm^3$ . Поэтому в электрофильтрах типа ЭГСЭ предусмотрен подбор оптимального межэлектродного расстояния в полях от 300 до 500 мм., применение различных типов коронирующих элементов и мотор-редукторы приводов встряхивания с регулируемой скоростью вращения вала. Диапазон применяемых коронирующих элементов – от игольчатых элементов с напряжением зажигания от 15 до 25 кВ и различной высотой игл до ленточно-зубчатых элементов, конструктивно отработанных для рамной конструкции коронирующего электрода. Кроме того, требуемые от коронирующего элемента параметры достигаются и необходимым расположением элементов в раме коронирующего электрода.

Применение мотор-редукторов для механизмов встряхивания электродов с возможностью увеличения скорости вращения в несколько раз особенно актуально в энергетике (это относится также и к цементной промышленности), поскольку свойства пыли могут сочетать в себе одновременно несколько факторов, влияющих на эффективность очистки электродов от пыли. Неблагоприятное сочетание этих факторов – это большая входная запыленность, высокое удельное сопротивление и физико-химические свойства пыли, вызывающие повышенную адгезию пыли к электроду, требует дополнительных мер к традиционному способу встряхивания. В этом случае встряхивание электродов в ускоренном режиме в сочетании со специальным электрическим режимом, автоматически включаемым на период встряхивания, позволяет существенно улучшить отряхиваемость электродов.

Необходимые для этого алгоритмы регулирования электрическим режимом питания предусмотрены в разработанном в СФ НИИОГАЗ микропроцессорном регуляторе типа БУЭФ и могут быть использованы при совместной работе с микропроцессорным регулятором режимов встряхивания типа ELEX, разработанным специалистами «Кондор-Эко».

Для электрофильтров ЭГСЭ с высотой электродов до 18 метров проведена разработка технических решений по системам газораспределения. Исходными данными для разработки являлись требования по получению газораспределения с коэффициентом не более 1,1–1,15, получение такого газораспределения в безфоркамерном исполнении на входе в электрофильтр для возможности использования объема форкамеры под активную часть аппарата.

В разработанном техническом решении при вышеуказанном коэффициенте газораспределения газораспределительная решетка и система газораспределения расположены в диффузоре и конфузоре. При этом их размеры по ходу газа практически не изменились по сравнению с ранее применяемыми конструкциями.

Такие узлы электрофильтра, как осадительные и коронирующие электроды, приводы механизма встряхивания, системы регулирования агрегатов питания, находятся в промышленной эксплуатации в электрофильтрах Каширской ГРЭС (приводы механизмов встряхивания), Харанорской ГРЭС (системы регулирования агрегатов питания), завода «Красноярский цемент» (коронирующие электроды, системы регулирования), ОАО «Северсталь» (коронирующие, осадительные электроды, приводы механизмов встряхивания, системы регулирования и т.д.).

Таким образом, в настоящее время все узлы и оборудование электрофильтра типа ЭГСЭ отработаны и прошли стендовые или промышленные испытания. Отработана также технология изготовления основных узлов аппарата, имеющих наиболее важное значение для эффективной и надежной работы в эксплуатационных условиях (см. рис. на 1-й стр. обложки).

В 2005-2006 гг. совместно с ВГИ был разработан проект установки очистки отходящих газов котла энергоблока № 4 Хабаровской ТЭЦ-3. Электрофильтр ЭГСЭ2-48-12-6-5 был смонтирован и прошел комплексные испытания на воздухе и газе в конце зимнего сезона 2006-2007 гг. Энергоблок № 4 по плану должен быть введен в работу в ноябре 2007 г.

## Электрофильтры общепромышленного применения

Одним из основных загрязнителей воздуха является пыль, поступающая в атмосферу от промышленных предприятий, в первую очередь от тепловых электростанций (ТЭС), работающих на твердом топливе, от металлургических и цементных заводов.

Широкое применение для очистки промышленных газов от пыли получили электрофильтры благодаря высокой степени очистки газа, широкому диапазону производительности по очищаемому газу, относительно низким энергозатратам, полной автоматизации, надежности и длительному сроку эксплуатации. Поэтому определенный класс таких аппаратов имеет общепромышленное применение.

Столетняя история развития электрической очистки газов связана с непрерывным совершенствованием электрофильтров, с повышением их технико-экономических показателей [1]. Здесь рассмотрены характеристики электрофильтров общепромышленного применения, в том числе последнего поколения, которые имеют шифр ЭГВМ – электрофильтры горизонтальные, модификации «В», модернизированные.

Электрофильтры типа ЭГВМ могут обеспечить современные нормативы выброса пыли в атмосферу при правильном выборе времени пребывания газа в активной зоне аппарата, т.е. при соответствующих его геометрических размерах. При реконструкции действующих электрофильтров и требовании заказчика обеспечить высокую степень очистки газа часто возникают трудности в связи с ограниченной площадкой. В таких случаях приходится применять электрофильтры с увеличенной высотой электродов. Фирма «Кондор-Эко» имеет собственный прокатный стан для изготовления осадительных электродов высотой до 18 м с отклонением от плоскости не более 5 мм.

Известно, что технико-экономические показатели электрофильтров и их конкурентоспособность в первую очередь определяются электродной системой и их электрическими характеристиками.

На протяжении почти 60 лет господствовала теория Дейча, согласно которой степень очистки газа в электрофильтре по экспоненте возрастает с увеличением поверхности осадительных электродов. Поэтому стремились развить эту поверхность за счет сокращения межэлектродного расстояния в аппарате.

В 70–80 гг. результатами экспериментов в различных странах было доказано, что степень очистки газа в электрофильтрах не уменьшается при увеличении межэлектродного расстояния. Это противоречило теории Дейча, но открывало новый подход к конструированию электрофильтров, что значительно повышало их технико-экономические показатели.

Выполненный в НИИОГАЗе комплекс НИОКР позволил научно обосновать концепцию увеличения межэлектродного расстояния и разработать новое поколение электрофильтров типа ЭГВ с межэлектродным расстоянием 460 мм [2, 3]. Экспериментально было установлено, что с увеличением межэлектродного расстояния возрастает напряженность электрического поля вблизи осадительных электродов – основного параметра, определяющего степень очистки газа в электрофильтре.

Целесообразность применения электрофильтров с увеличенным межэлектродным расстоянием была доказана результатами сравнительных испытаний промышленных электрофильтров типа ЭГВ и ЭГА с межэлектродным расстоянием 300 мм на энергоблоке мощностью 300 МВт на Ладыжинской ГРЭС в 1988 г. [2, 3]. Оба электрофильтра имели 3 поля, электроды высотой 12 м, активное сечение 198 м<sup>2</sup> и очищали газ одного энергоблока. Для питания электрофильтра типа ЭГВ были специально разработаны агрегаты типа АПТД с номинальным выпрямленным напряжением 110 кВ (амплитудное напряжение) и номинальным выпрямленным током 1000 мА (среднее значение). При одинаковых параметрах очищаемого газа и одинаковом времени его пребывания в активной зоне указанных электрофильтров степень очистки газа практически не отличалась в обоих аппаратах, хотя поверхность осаждения электродов в ЭГВ была в 1,5 раза меньше, чем в ЭГА. Государственная приемочная комиссия рекомендовала электрофильтры типа ЭГВ к серийному производству и присвоению высшей категории качества.

По отзыву Ладыжинской ГРЭС электрофильтр типа ЭГВ в течение первых 10 лет эксплуатации не имел случаев выхода из строя узлов и работал стабильно.

Здесь уместно ответить, что межэлектродное расстояние 460 мм выбрано с учетом рациональной компоновки электродов в корпусах электрофильтров типа УГ и ЭГА при их реконструкции с целью обеспечения максимального активного сечения аппаратов при минимальных неактивных зонах между крайними осадительными электродами и стенками корпуса. Это имеет важное практическое значение, так как в различных отраслях промышленности эксплуатируется большое количество электрофильтров типа УГ и ЭГА, которые нуждаются в реконструкции.

Агрегаты штатин с номинальным выпрямленным напряжением 110 кВ выбраны с учетом применения расщепленных ленточно-зубчатых коронирующих электродов, которые дают разрядное расстояние 190 мм.

В зарубежных электрофильтрах с увеличенным межэлектродным расстоянием используются агрегаты питания с номинальным выпрямленным напряжением 150 кВ, что удорожает установку электрофильтра.

В 1990 г. типоразмерный ряд электрофильтров ЭГВ вошел в каталог газоочистного оборудования [4]. Здесь приведены характеристики 154 типоразмеров электрофильтров с высотой электродов от 4 до 12 м, с количеством полей от 2 до 8, с площадью активного сечения от 10,7 до 363,8 м<sup>2</sup>, с производительностью по очищаемому газу от 38520 до 1 309 680 м<sup>3</sup>/ч. Важно, что здесь указаны типоразмеры электрофильтров УГ и ЭГА для реконструкции по типу ЭГВ.

Электрофильтры типа ЭГВ сохранили свою конкурентоспособность до настоящего времени. Об этом свидетельствуют победы на международных тендерах, в т.ч. на Рязанской ГРЭС при реконструкции действующих электрофильтров типа ЭГА на блоках мощностью 300 МВт и при строительстве новых 4-х блоков Железногорской ТЭЦ.

За 20 лет, конечно, электрофильтры типа ЭГВ прошли модернизацию, главным образом за счет:

- использования электродов высотой до 18 м с целью повышения производительности аппаратов;
- применения коронирующих электродов типа СФ-2 с острыми иглами для улавливания невысокоомных пылей и типа СФ-2Т с тупыми иглами для улавливания высокоомных пылей [5];
- использования надежных мотор-редукторов с частотным регулированием скорости вращения вала встряхивания электродов для достижения минимального уноса пыли при очистке электродов.

В диссертации [6] впервые теоретически доказана целесообразность использования увеличенного межэлектродного расстояния в электрофильтрах, показана необходимость установки газораспределительной решетки в конфузоре для эффективного использования последнего поля аппарата. Такими решетками комплектуются модернизированные электрофильтры типа ЭГВМ.

С начала 2007 г. электрофильтры типа ЭГВМ (корпус, механическое и электротехническое оборудование) изготавливаются по техническим условиям ТУ 3646-002-12677570-07, имеющие ОКПО 364611, группу Г47 и регистрационный № 004219.

Эти электрофильтры предназначены для очистки промышленных газов и аспирационного воздуха (не являющихся пожаро- и взрывоопасными и не вызывающих коррозию материалов, используемых для изготовления оборудования) от золы и пыли в различных отраслях промышленности при температуре не более 330° С, при массовой концентрации веществ в газовых выбросах не более 90 г/нм<sup>3</sup>.

В ТУ вошел перечень 17 базовых типоразмеров электрофильтров типа ЭГВМ с межэлектродным расстоянием 460 мм: с минимальной производительностью по очищаемому газу 38520 м<sup>3</sup>/ч для ЭГВМ1-6-4-4-3 с высотой электродов 6 м и с максимальной производительностью 1 964 520 м<sup>3</sup>/ч для аппарата ЭГВМ2-70-18-6-4 с высотой электродов 18 м, который имеет габаритные размеры: длина 24,6 м, ширина 36,6 м и высота 25,9 м. Эти электрофильтры имеют следующие показатели надежности:

- установленная безотказная наработка, ч не менее 2000
- установленный срок службы до капитального ремонта, лет не менее 10
- полный назначенный срок службы, лет не менее 25

Эти электрофильтры, комплектуются агрегатами питания типа АПГД с номинальным выпрямленным напряжением 110 кВ (амплитудное значение) и с соответствующим номинальным выпрямленным током, который выбирается на стадии выбора типоразмера аппарата для конкретных исходных данных заказчика. Для управления приводами встряхивания электродов используются контроллеры микропроцессорные. Другое электротехническое оборудование выбирается на стадии выполнения проекта установки электрофильтров.

Модернизированные электрофильтры типа ЭГВМ по своим техническим и экономическим характеристикам являются базовыми аппаратами современных высокоэффективных пылеулавливающих аппаратов. Они могут использоваться как самостоятельно, так и в качестве первой ступени комбинированного электрофильтра, где второй ступенью является рукавный фильтр [7]. В комбинированном электрофильтре газ может быть очищен до 20 мг/нм<sup>3</sup> независимо от начальной запыленности газа и удельного электрического сопротивления пыли.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Экотехника. Защита, атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов. Под общей редакцией Л.В.Чекалова. Ярославль, «Русь», 2004. 424 с.
2. Tkachenko V.M. New generation of el. Filters//Journal of Electrostatics, 1997/V.40-41. P. 705-709.
3. Ткаченко В.М. Современные эффективные электрофильтры для очистки газов от пыли. Международная научно-практическая конференция «Экология энергетики 2000», М., изд-во МЭИ, 2000. С. 86-89.
4. Газоочистное оборудование. Электрофильтры. Каталог. М., ЦИНТИХИМНЕФТ ЕМАШ, 1990.
5. Чекалов Л.В., Ткаченко В.М. Пути интенсификации работы электрофильтров//Электрические станции, № 3, 2005. С.51-57.
6. Чекалов Л.В. Научные основы создания электрогазоочистного оборудования нового поколения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М., 2007. 40 с.

7. Громов Ю.М., Ткаченко В.М., Чекалов Л.В. Высокоэффективный комбинированный электрофильтр. Международная научно-практическая конференция «Экология в энергетике – 2005». М., изд-во МЭИ, 2005. С. 124-126.

**А.И. Завьялов**

## **Малозатратная технология восстановления и модернизации электрофильтров**

Наибольший интерес у эксплуатационников вызывают технические предложения (или ремонтные варианты) по восстановлению разрушенных составных частей, узлов и деталей промышленных сухих электрофильтров УГ, ЭГ, ЭГА, ЭГБМ, УГГ, ЭГТ и т. д. Именно в этих аппаратах, происходит наибольшее число отказов, повреждений и поломок. Это связано с тем, что в отличие от других типов аппаратов, составные части, узлы, и детали сухих электрофильтров подвергаются периодическим ударным нагрузкам, вибрациям и коррозии. Используя опыт разработки технических предложений для восстановления сухих электрофильтров, можно разработать аналогичные технические предложения для рукавных фильтров, мокрых газоочисток, циклонов и других аппаратов. Материалы по техническим предложениям совместно с методическими материалами по стратегии техобслуживаний и ремонтов, влиянию температурных процессов, объемов производства и нормам расхода запчастей и т.д. составляют основу эксплуатационного регламента. Возникновение ремонтных вариантов связано с тем, что любой электрофильтр представляет собой сложную систему, состоящую из разнотипных и независимых составных частей, устройств и механизмов. Количество таких разнотипных частей исчисляется десятками и сотнями штук. В свою очередь каждая составная часть электрофильтра представляет собой набор из однотипных элементов, число которых исчисляется уже сотнями и тысячами штук. Кроме того, каждая составная часть, узел, устройство или механизм имеет свой закон распределения времени безотказной работы (нормальный, экспоненциальный, Вейбулла, логарифмически-нормальный и т. д.). Это приводит к тому, что хотя некоторые составные части, узлы, устройства и механизмы имеют общую равную наработку, отказы этих компонентов будут происходить в разное время. Эксплуатационникам в этом случае приходится корректировать или разрабатывать систему технического обслуживания и ремонтов электрофильтра либо применять ремонтные варианты.

Как показали результаты обследований сухих электрофильтров на промышленных объектах, чаще всего наблюдаются следующие отказы составных частей, узлов и деталей механического оборудования:

- разрушения и обрывы балок встряхивания осадительных электродов;
- ослабление болтовых соединений балок встряхивания с осадительными элементами;
- появление трещин на осадительных элементах в узлах крепления балок встряхивания с элементами;
- обрывы и деформации осадительных и коронирующих элементов;
- разрушения в местах сварки нижних пластин с осадительными элементами;
- разрушения наковален балок встряхивания осадительных электродов и наковален коронирующих электродов;
- износы в узлах и деталях механизмов встряхивания электродных систем и т. д.

Виды, типы и количество отказов зависят от области применения электрофильтров и условий их эксплуатации. Поэтому, приведенный выше перечень отказов может быть расширен. В соответствии с видами и типами отказов механического оборудования электрофильтров, частотой их возникновения были разработаны технические предложения (ремонтные варианты).

### **Техническое состояние механического оборудования сухих электрофильтров на промышленных объектах**

#### **Основные отказы механического оборудования электрофильтров УГ и ЭГ**

- Отсутствие скобообразных наковален балок встряхивания осадительных электродов.

Наковальни балок встряхивания осадительных электродов электрофильтров являются самыми нагруженными элементами электродов, воспринимающих на себя удар встряхивающего механизма. В связи с этим предъявляются повышенные требования к прочности, как самого тела наковальни, так и к соединениям наковальни с полосами (швеллерами) балки встряхивания. Анализ работы промышленных электрофильтров типа УГ и ЭГ показал, что применяемые П-образные (скобообразные) наковальни (рис. 1) не обеспечивают надежную работу осадительных электродов. Это объясняется тем, что, во – первых, уже на

стадии изготовления наковален в узлах сгиба образуются зоны повышенного напряженного состояния. Во – вторых, в узлах сгиба при сварке наковален со швеллерами образуются воздушные “подушки”, представляющие собой демпферы. В третьих, между плоской (вертикальной) частью наковальни и выступающей из швеллеров пластиной, как правило, имеются зазоры из несоблюдения геометрических форм обеих деталей.

- Обрывы по сварочному шву (рис. 1) крайних концевых пластин осадительных элементов.

В сухих электрофильтрах УГ применяются осадительные электроды с подвеской балок встряхивания на крайних осадительных элементах. Узел подвеса выполнен так, что за счет несоосности и разницы диаметров отверстий под палец в балке встряхивания и в нижней пластине осадительного элемента нижняя пластина примыкает к переднему упору балки встряхивания. Такое конструктивное исполнение узла подвеса создает опасность получения жесткой геометрически неизменяемой системы. При ударе балка встряхивания перемещается в горизонтальном направлении, а осадительный элемент отклоняется от вертикали. Если узел подвеса балки встряхивания окажется геометрически неизменяемой системой, то смещение элемента от вертикали будет происходить за счет упругих деформаций самого элемента и звеньев узла подвеса. В условиях циклических нагрузок в узлах, подвергаемых деформациям, могут наблюдаться усталостные трещины и разрушения наиболее слабых узлов. При обследовании осадительных электродов электрофильтров УГ на промышленных объектах было выявлено, что в тех случаях, когда узел подвеса является геометрической неизменяемой системой, наиболее слабым узлом оказывается сварной шов элемента с пластиной.

- Износ (по отверстиям) нижних концевых пластин крайних осадительных элементов.

Износ пластин (рис. 2) может быть предопределен причинами конструктивного характера либо технологическими причинами на стадии изготовления. В случае геометрически неизменяемой системы осадительного электрода (обрывы по сварочному шву крайних концевых пластин) слабым звеном в узле подвеса балки встряхивания может оказаться сама нижняя концевая пластина.

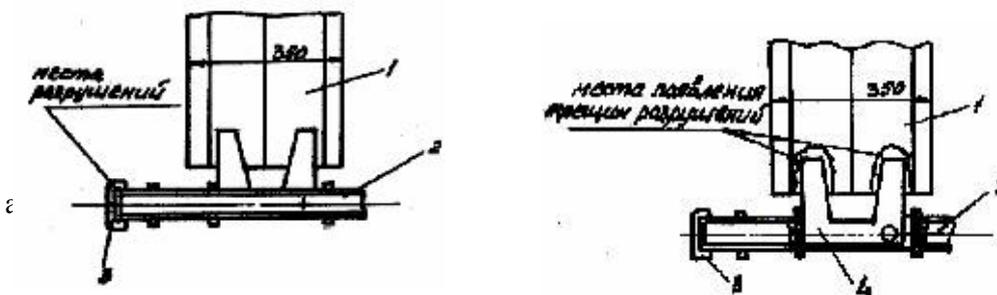
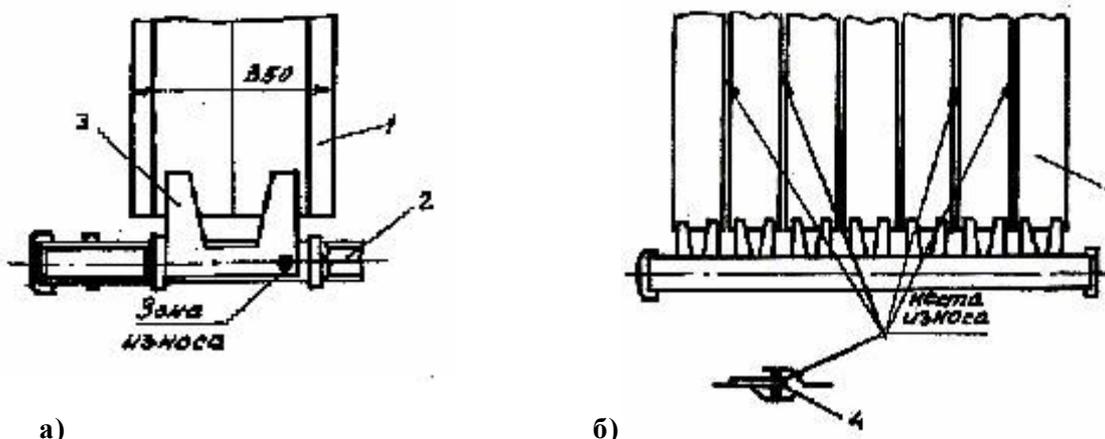


Рис. 1. Разрушение П-образных наковален балок встряхивания осадительных электродов (а) и мест сварки нижних концевых пластин с осадительными элементами э/ф УГ (б).

1 – элемент осадительный; 2 – балка встряхивания; 3 – наковальня П-образного типа; 4 – пластина нижняя



а)

б)

Рис. 2. Износы нижних пластин крайних осадительных элементов (а) и пластин – фиксаторов (б) осадительных элементов электрофильтров УГ.

1 – элемент осадительный; 2 – балка встряхивания; 3 – пластина нижняя; 4 – пластина-фиксатор

Причинами технологического характера могут быть изменение толщины или материала пластины на

стадии изготовления. Износ пластин может быть predetermined также одновременным действием причин конструктивного и технологического характера.

- Износ пластин – фиксаторов осадительных элементов.

Пластины – фиксаторы предназначены (рис. 2) для центровки элементов в плоскости осадительного электрода. Износ фиксаторов и, как следствие, выход элементов из плоскости происходит по нескольким причинам. Во-первых, уже на стадии прокатки элементы имеют пропеллерность, которая сохраняется на все время эксплуатации, так как при изготовлении элементы не отжигаются. Вторая причина возникновения износов является некачественная транспортировка и хранение элементов, что увеличивает их пропеллерность. Правкой элементов на монтаже удается в какой-то степени восстановить плоскостность электрода, но тенденция элементов к кручению сохраняется, особенно у крайних элементов, одни края которых не крепятся. У таких деформированных правкой элементов при их встряхивании возникают сильные крутильные колебания, которые и приводят к износам пластин. Третьей, немаловажной причиной является несоблюдение технологии прогрева аппарата, что приводит к возникновению температурных явлений, способствующих увеличению пропеллерности элементов.

- Отсутствие задних упоров дистанционной решетки системы осадительных электродов.

Отсутствие задних упоров или имеющее место в электрофильтре УГ значительное ( $\geq 100$  мм) расстояние между задним упором и задним концом балки встряхивания приводит к снижению (в 2–3 раза) уровня ускорений на последних элементах осадительного электрода. Установка задних упоров позволяет использовать кинетическое движение осадительного электрода (после удара молотком). Удар электрода об задний упор повышает уровень ускорений и обеспечивает сброс пыли с крайних элементов электрода со стороны заднего упора.

- Разрушение балок встряхивания осадительных электродов.

Разрушение балок встряхивания осадительных электродов электрофильтров УГ происходит в местах сварки промежуточных пластин со швеллерами и в зоне наковальни. Чаще всего разрушения швеллеров наблюдаются в местах стыка прямой (от удара молотка) и отраженной (от заднего конца балки встряхивания) ударных волн. Если место стыка волн совпадает со сварочным соединением промежуточной пластины со швеллерами, наработка балки встряхивания значительно уменьшается. Как правило, место стыка ударных волн находится на расстоянии одной трети длины балки встряхивания от ее заднего конца.

- Разрушение штоковой системы осадительных электродов.

В электрофильтрах УГ для передачи удара на осадительные электроды используется штоковая система (рис.3). Удар производится по штоку, устанавливаемому на двух втулках. Втулки жестко свариваются со швеллерами штоковой системы. При монтаже осадительных электродов, штоковой системы и механизмов встряхивания наблюдаются смещения точки удара молотков по штоку по горизонтали и вертикали относительно проектной (центральной) точки удара. Это приводит к износу втулок, нецентральному удару по наковальне балки встряхивания и, в конечном счете, к отрыву втулок, заклиниванию штоков с балками и механизмами встряхивания.

- Значительное ослабление болтовых соединений и обрывы труб в районе крепления прилегающих наковален коронирующих электродов.

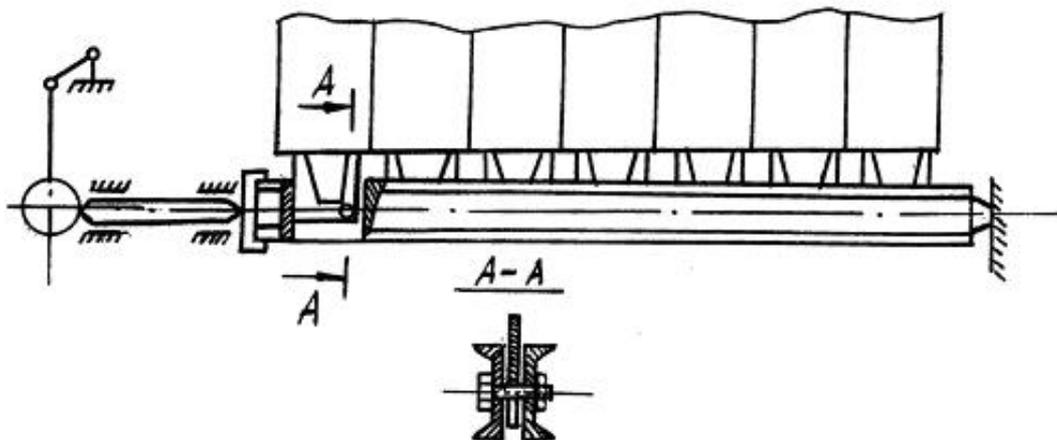
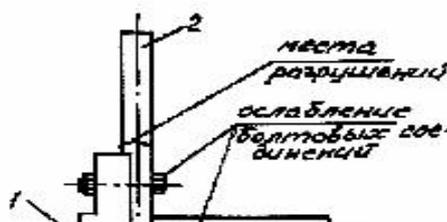
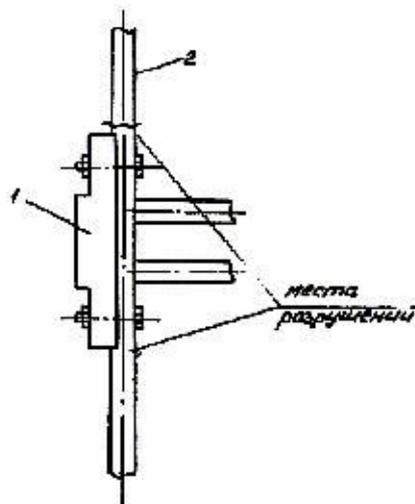


Рис. 3. Штоковая система осадительных электродов электрофильтров УГ





**Рис. 4.** Разрушение рамы и ослабление болтовых соединений коронирующего электрода электрофильтра УГ у наковален.

1 – наковальня прилегающая; 2 – рама коронирующего электрода

Технология установки наковален прилегающего типа (рис. 4) состоит из двух последовательных операций. Сначала наковальни крепятся к трубам с помощью болтовых соединений для установки их в исходное положение. Затем вертикальным швом сваркой внахлест производится приварка наковален к трубам. Основную ударную нагрузку несут вертикальные швы. При обследовании ряда электрофильтров оказалось, что приварка прилегающих наковален к трубам вертикальными швами не была выполнена. У большинства рам коронирующих электродов наковальни, кроме того, были приварены к трубам поперечными швами сверху и снизу наковальни. При таком некачественном монтаже произошло ослабление болтовых соединений и разрушение рам в районе наковальни.

- Значительное ослабление болтовых соединений и обрывы труб в районе крепления хомутовых наковален коронирующих электродов.

Причины данных разрушений (рис.5) идентичны причинам разрушений, происходящих в зоне прилегающих наковален коронирующих электродов. Причины разрушений связаны в основном с неплотным прилеганием наковален хомутового типа к трубам рам, наличием поперечных сварных швов сверху и снизу наковален, некачественной приваркой гаек к болтам.

- Не выполнена натяжка коронирующих элементов (в основном ленточно-игольчатого типа) в рамах и обварка гаек.

В соответствии с правилами сборки коронирующих электродов электрофильтров УГ предполагается, что один (двойной) ряд гаек в местах крепления элементов к трубам полурам обваривается на стадии изготовления в заводских условиях. А другой (двойной) ряд гаек после выборки слабины элементов обваривается на стадии монтажа. Обследование электрофильтров УГ и ЭГА показало, что операции на стадии монтажа по предварительной натяжке элементов и последующей обварке гаек часто не производится. Это явилось одной из причин разрушений в местах перехода от шпильки к элементам (рис.6) и ослаблению элементов.

- Ослабление болтовых соединений у кронштейнов для центровки коронирующих электродов и разрушение труб рам на прямолинейных участках.

Причины ослаблений болтовых соединений кронштейнов идентичны причинам ослаблений болтовых соединений прилегающих и хомутовых наковален коронирующих электродов. Ослабление и разрушение болтовых соединений кронштейнов, разрушение труб рам коронирующих электродов встречаются реже и предложения по восстановлению этих узлов приводятся в разработанном информационном листке.

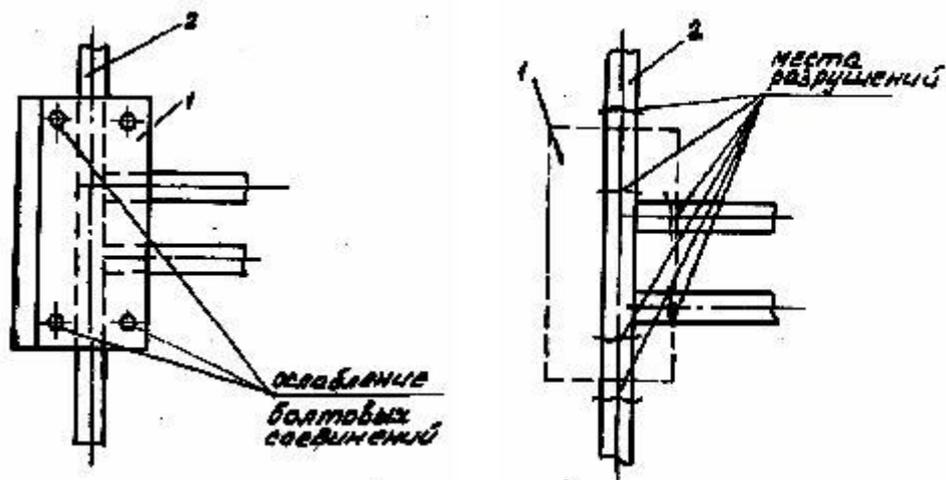
### **Основные отказы механического оборудования электрофильтров ЭГА и ЭГБМ**

Замечания конструктивного и технологического характера, выявленные на стадии эксплуатации сухих электрофильтров УГ и ЭГ, были учтены при разработке нового поколения электрофильтров ЭГА и ЭГБМ. Данные типы электрофильтров были освоены и внедрены на промышленных объектах, начиная с 1982 года. Периодический контроль и обследования технического состояния электрофильтров ЭГА и ЭГБМ показали, что эти электрофильтры работают в промышленности более надежно, чем электрофильтры УГ и ЭГ. Но и в новых электрофильтрах наблюдаются отказы механического оборудования конструктивного и технологического характера.

- Появление трещин и вырывов металла на элементах осадительных электродов.

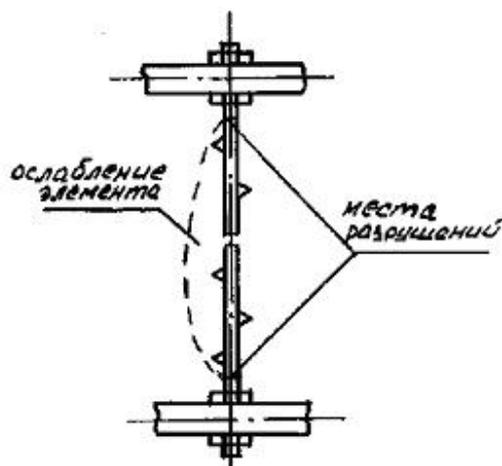
Данные отказы чаще всего наблюдаются на первых и последних элементах, начиная от наковален балок встряхивания осадительных электродов. Это наиболее массовые отказы механического оборудования электрофильтров ЭГА и ЭГБМ. Для передачи ударного импульса от молотка через балку встряхивания к осадительным элементам в осадительных электродах предусмотрено жесткое крепление осадительных элементов с балкой встряхивания (рис. 7). Жесткое крепление обеспечивается силами трения сопрягаемых поверхностей промежуточных пластин (поз. 3) с элементами (поз. 1) или сминанием поверхностей осадительных элементов. Основная функция болтового узла (сеч. А – А) - это обеспечить жесткое крепление сопрягаемых поверхностей с усилием 20 кгм и при этом болт не должен касаться элемента и находится на половине высоты паза (сеч. Б – Б). Поверхности промежуточных пластин, сопрягаемых с элементами, как правило, должны выполняться рифлеными и ровными. В действительности же, в соответствии с технологией изготовления промежуточных пластин их обрубка осуществляется на гильотине. Это приводит к тому, что поверхности пластин получаются “бочкообразными”. При затяжке болтов сопряжение промежуточных пластин с элементами происходит не по всей поверхности пластин, а по горизонтальным или вертикальным граням пластин в зависимости от их установки. Кроме того, при монтаже балки встряхивания очень трудно отцентрировать болт относительно паза. Необходимо отметить, что не на всех производствах имеется моментный ключ для затяжки болтового соединения с усилием 20 кгм. Все эти причины конструктивного, технологического и монтажного характера приводят к тому, что в большинстве случаев в осадительных электродах не обеспечивается жесткое крепление балок встряхивания с осадительными элементами. В результате после непродолжительной наработки болт смещается к элементу, и ударный импульс передается не через пластину к элементам, а через болт. Появляются трещины и вырывы металла в осадительных элементах, что приводит их к обрыву.

- Обрывы балок встряхивания осадительных электродов.



**Рис. 5.** Ослабление болтовых соединений хомутовых наковален и разрушение рамы коронирующего электрода электрофильтра УГ у наковальни.

1 – наковальня хомутового типа; 2 – рама коронирующего электрода



**Рис. 6.** Разрушение крепления элемента со шпилькой; ослабление элемента коронирующего электрода

Нежесткое крепление осадительных элементов с балкой встряхивания приводит к уменьшению общей

жесткости осадительных электродов. Балка встряхивания при периодических ударах молотка опускается по пазам на нижние концы осадительных элементов (рис.7). Кроме того, при периодических ударах молотка происходят значительные горизонтальные смещения осадительного электрода, достигающие 100 – 120 мм. Осадительный электрод находится в равновесном состоянии. Балка встряхивания может оказаться у заднего упора после удара молотка, вернуться в исходное положение или встать между передним и задним упорами. При опускании балок встряхивания удар молотка становится нецентральный. Эксцентриситет по вертикали и горизонтали от проектной точки удара достигает до 10–15 мм. Все это приводит к значительному износу нижних концов осадительных элементов и обрыву балок встряхивания.

- Наблюдаются разрушения полос балок встряхивания.

Разрушения полос балок встряхивания (рис. 8) аналогичны разрушениям балок встряхивания осадительных электродов электрофильтров УГ и причины их поломок те же самые.

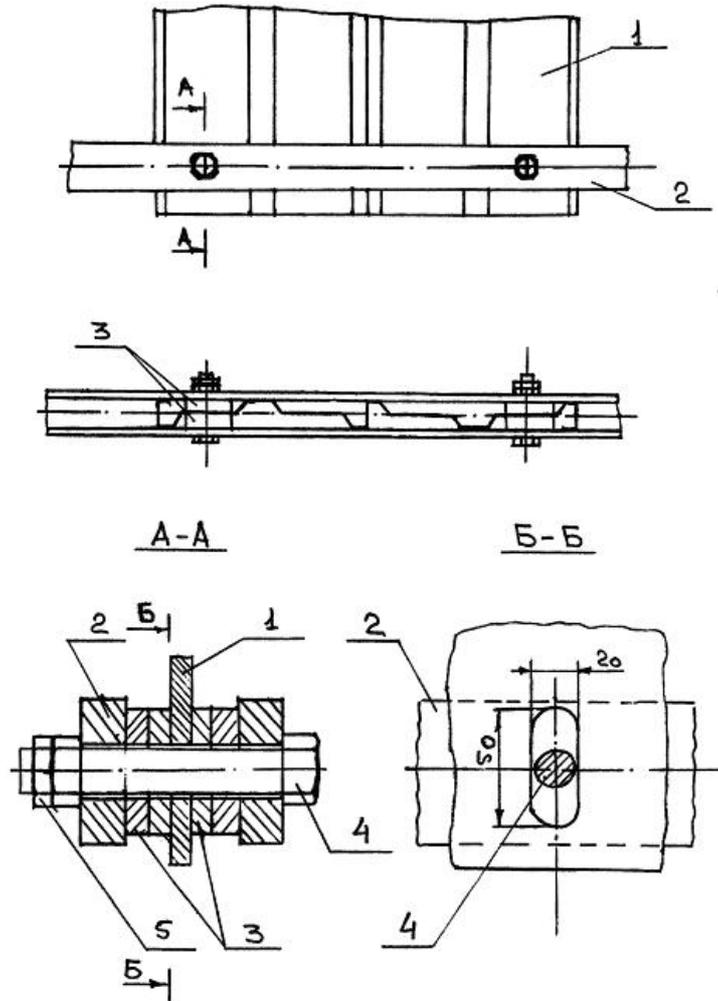


Рис. 7. Крепление осадительного элемента к балке встряхивания.

1 – элемент; 2 – полоса балки встряхивания;  
3 – пластины промежуточные; 4 – болт; 5 – гайка

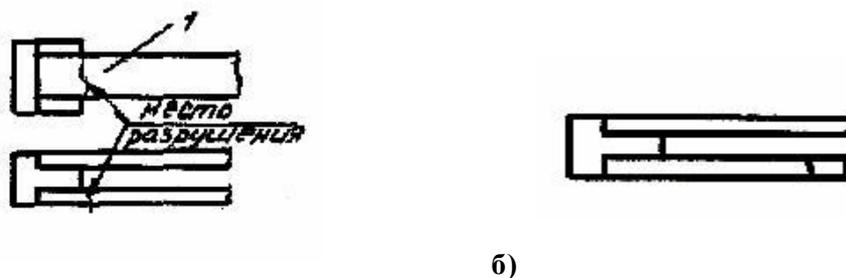
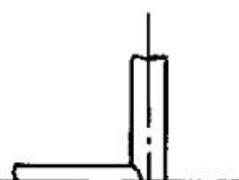


Рис. 8. Деформация балок встряхивания электрофильтра ЭГА, разрушение полос балок у наковальни (а) и по длине (б).

1 – балка встряхивания осадительного электрода



**Рис. 9.** Ослабление креплений наковален и их провисание в коронирующих электродах электрофильтра ЭГА.

1 – наковальня коронирующего электрода;

2 – рама коронирующего электрода

- Отсутствие контргайки в болтах крепления балок встряхивания к осадительным элементам.

В соответствии с инструкцией по монтажу плотная затяжка обеспечивается с помощью двух гаек. При этом вначале с крутящим моментом 20 кгм с помощью динамометрического ключа закручивается первая гайка, затем к ней закручивается до предела вторая гайка с этим же усилием затяжки. Обследование электрофильтров ЭГА показало, что в большинстве случаев на осадительных электродах отсутствуют контргайки, а первые гайки находятся на грани схода с болта и падения в бункер. Таким образом, при монтаже не соблюдены правила инструкции по монтажу.

- Ослабление креплений наковален и их провисание в коронирующих электродах электрофильтров ЭГА.

Данный вид отказа (рис. 9) связан с ослаблением болтового соединения наковальни к поперечной трубе и износом посадочного места в этой же трубе.

- Не выполняется затяжка коронирующих элементов и обварка гаек на стадии монтажа, как и для случая коронирующих электродов электрофильтров УГ и ЭГ.

- Разрушение крепления коронирующих элементов со шпилькой и ослабление элементов в рамках коронирующих электродов.

Разрушения шпилечных соединений (рис.6) связаны с усталостными процессами, происходящих при непрерывном встряхивании коронирующих электродов. Прогибы или ослабления элементов происходят на стадии прогрева электрофильтров ЭГА. Сами элементы прогреваются раньше, чем трубы рам коронирующих электродов. Концы элементов жестко крепятся к горизонтальным трубам, поэтому при такой схеме соединения элементов с трубами происходят поперечные деформации элементов. По мере нагрева вертикальных труб величины температурных деформаций элементов уменьшаются. Но, как правило, элементы в исходное положение не возвращаются и величина остаточной погиби может составлять 10–15 мм.

#### **Разработка и внедрение ремонтных вариантов по повышению надежности работы механического оборудования сухих электрофильтров**

На основании анализа результатов обследования технического состояния механического оборудования сухих электрофильтров были разработаны технические предложения (ремонтные варианты) для восстановления работоспособности механического оборудования низкотемпературных электрофильтров старого поколения (УГ, ЭГ и др.) и нового поколения (ЭГА, ЭГБМ и др.). Реализация разработанных технических предложений непосредственно на объекте в периоды текущих ремонтов силами заказчика без затрат на покупку запасных частей позволит сохранить работоспособность аппаратов на требуемом уровне еще на один межремонтный пробег до следующего капитального ремонта.

Для повышения надежности работы механического оборудования электрофильтров УГ и ЭГ разработан комплекс следующих мероприятий:

По осадительным электродам:

- провести замены П-образных наковален (рис.1) балок встряхивания осадительных электродов на наковальни нового типа более технологичные в производстве и обеспечивающие более высокую надежность сварочных мест с полосами (швеллерами) балок встряхивания;

- изменить (в период ремонтов) конструкцию узла подвеса балок встряхивания на нижних концевых

пластинах первых и последних (по ходу газа) элементах осадительных электродов в соответствии с техническим предложением; данное мероприятие позволяет предотвратить разрушения мест сварки нижних концевых пластин с крайними осадительными элементами;

- провести профилактические меры или установить дополнительные устройства (в период ремонтов) для предотвращения падения балок встряхивания в бункер электрофильтра;

- для осадительных элементов, у которых произошло разрушение мест сварки нижних пластин с крайними элементами, осуществить одно из следующих разработанных мероприятий:

- а) провести ремонт осадительных элементов;
- б) выполнить усиление сварочных мест (на стадии ремонтов);
- в) модернизировать узел подвеса балки встряхивания; последнее мероприятие осуществляется чаще всего в том случае, когда частота отказов штоковой системы становится значительной и увеличиваются затраты на ее восстановление;

- для восстановления плоскостности осадительного электрода в случае отказа пластин – фиксаторов (рис.2б) разработано несколько вариантов устройства для фиксации осадительных электродов; выбор варианта осуществляется заказчиком; монтаж устройства производится в период текущих ремонтов;

- в случае износа нижних концевых пластин (рис. 2а) провести профилактические меры или осуществить модернизацию узла подвеса балки встряхивания в соответствии с разработанным техническим предложением;

- для повышения отряхиваемости осадительных электродов установить дополнительные устройства или провести ремонт осадительных электродов в соответствии с разработанными техническими предложениями;

- при разрушении швеллеров балок встряхивания провести профилактические меры;

- при разрушении штоковой системы осадительных электродов демонтировать штоковую систему, изготовить и смонтировать новые разработанные балки встряхивания;

По коронирующим электродам:

- на коронирующих электродах, на которых зафиксировано ослабление болтовых соединений у наковален прилегающего типа, необходимо выполнить профилактические меры согласно монтажным чертежам для электрофильтров УГ;

- для коронирующих электродов с прилегающими наковальнями, у которых произошло разрушение труб (рис. 9.4), и для электродов, на которых данный отказ не зафиксирован, провести ряд дополнительных профилактических работ;

- для случая, когда зафиксировано одновременно разрушение труб полурам и ослабление болтовых соединений прилегающих наковален, и когда невозможно выполнить сварку наковален к трубам вертикальным швом, необходимо реализовать разработанное для данных отказов техническое предложение;

- произвести 100% замену хомутовых наковален на разработанные наковальни новой конструкции типа; приварку разработанных наковален к трубам выполнить в соответствии с разработанными монтажными чертежами на электрофильтры УГ и ЭГ;

- в соответствии с требованиями монтажных чертежей на электрофильтры УГ произвести 100% натяжку коронирующих элементов с обваркой гаек по полупериметру к трубам рам коронирующих электродов (обварка гаек одного двойного ряда выполнена в заводских условиях); натяжку производить до выбора слабых коронирующих элементов;

- для натяжки ослабленных при эксплуатации коронирующих элементов рекомендуется выполнить профилактические работы по устранению данных отказов в соответствии с разработанным техническим предложением;

- в местах коронирующих электродов, где отсутствуют коронирующие элементы, рекомендуется устанавливать разработанные (без шпилек) элементы; их приварку непосредственно к трубам рам производить в соответствии с разработанными инструкциями;

- с целью предотвращения коротких замыканий в полях электрофильтра УГ рекомендуется установить дополнительные разработанные устройства на коронирующих электродах;

Для повышения надежности работы механического оборудования электрофильтров ЭГА и ЭГБМ разработан следующий комплекс мероприятий:

- выполнить затяжку болтовых соединений балок встряхивания к осадительным элементам с усилием затяжки 20 кгм с помощью двух гаек на всех осадительных электродах (100%) в соответствии с инструкцией по монтажу к электрофильтрам ЭГА и ЭГБМ;

- при восстановлении болтовых соединений балок встряхивания с осадительными элементами применить специальные крепежные детали или изменить узлы крепления балок встряхивания с осадительными элементами в соответствии с разработанными техническими предложениями;

- для случая возникновения деформаций балок встряхивания, разрушений полос балок у наковальни и по длине балок (рис.9.8) провести специально разработанные профилактические работы в соответствии с

инструкциями;

- при появлении трещин и вырывов металла на осадительных элементах и обрывов балок встряхивания восстановление болтовых соединений балок встряхивания к осадительным элементам выполнить по одному из разработанных вариантов крепления балок встряхивания к осадительным элементам; выбор варианта осуществляется заказчиком; восстановление проводится в период текущих ремонтов;

- восстановление разрушенных полос балок встряхивания выполнить в соответствии с разработанными техническими предложениями;

- для предотвращения ослабления крепления наковален в трубах коронирующих электродов провести специально разработанные профилактические работы;

- выполнить все рекомендации по натяжке, восстановлению и замене коронирующих элементов, разработанные для коронирующих электродов электрофильтров УГ и ЭГ.

В настоящей главе рассмотрены материалы по техническим предложениям по восстановлению основных составных частей, узлов и деталей (электродные системы и их механизмы встряхивания) механического оборудования низкотемпературных сухих электрофильтров УГ, ЭГ, ЭГА и ЭГБМ. Разработанные ремонтные варианты внедрены на ряде предприятий энергетики, цементной промышленности, промышленности стройматериалов и т.д. Аналогичные технические предложения разработаны для высокотемпературных сухих электрофильтров УГТ и ЭГТ.

Технические предложения предназначены для восстановления разрушаемых от периодических ударных нагрузок и вибраций механических конструкций осадительных и коронирующих электродов и механизмов встряхивания сухих электрофильтров УГ, ЭГ, ЭГА, ЭГБМ, УГТ и ЭГТ. Разработанные конструктивные решения по ремонту и модернизации составных частей механического оборудования сухих электрофильтров прошли стендовую и промышленную проверку на объектах. Все составные части, выполненные по данным техническим предложениям, имеют наработку более 40000 часов, что составляет более 5 лет.

Внедрение разработанных технических решений без существенного изменения электродных систем и их механизмов встряхивания позволяет сохранить работоспособность аппаратов еще на один межремонтный пробег до следующего капитального ремонта. Реализация технических предложений производится поэтапно в периоды технического обслуживания, технических, средних и капитальных ремонтов основного технологического оборудования. В условиях сокращения объема выпуска аппаратов и запчастей к ним, дефицита денежных средств на предприятиях внедрение разработанных технических предложений приобретает актуальное значение.

Изготовление ремонтных вариантов составных частей производится силами предприятий заказчика или предприятиями, выпускающими составные части, узлы и детали механического оборудования сухих электрофильтров. Область применения – промышленные предприятия, эксплуатирующие сухие электрофильтры УГ, ЭГ, ЭГА, ЭГБМ, УГТ, ЭГТ.

**А.А. Семенов**

## **Системы управления и регулирования для пылеулавливающих аппаратов**

В условиях возросших требований экологических норм по выбросам в атмосферу, появилась необходимость совершенствования пылеулавливающего оборудования, в частности оборудования электрофильтров. Благодаря появлению микроконтроллеров и элементной базы нового поколения, в настоящее время, имеется возможность построения систем автоматики и силовой электроники, обеспечивающей современные требования. Разработаны и постоянно совершенствуются системы управления питанием электрофильтров с использованием микропроцессорной базы, использование которой дает возможность построения автоматических комплексов для управления процессом газоочистки, включающих в себя управление агрегатами питания и механизмами встряхивания, позволяющими вести мониторинг основных параметров. В частности, ЗАО «СФНИИОГАЗ» разработал и постоянно совершенствует блок управления питанием электрофильтров типа БУЭФ, который представляет собой современное микропроцессорное устройство, предназначенное для автоматического управления агрегатами питания всех типов, имеющих тиристорное (симисторное) управление.

Как известно, очистка газов в электрофильтре основана на зарядке взвешенных в газе частиц, в процессе ионизации, с последующим осаждением на электродах. Так как эффективность электрофильтра тем выше, чем больше среднее значение напряжения в межэлектродном промежутке, то для обеспечения эффективной работы электрофильтра, необходимо регулировать напряжение на электродах, поддерживая его на максимально высоком уровне. Эту функцию и выполняют агрегаты питания с устройствами регулирования напряжения, являясь важнейшими компонентами электрофильтров, влияющими на их эффективность.

Способы регулирования напряжения прошли все стадии развития – от использования реостатов, авто-трансформаторов, магнитных усилителей до современных тиристорных регуляторов, которые используются в агрегатах питания и в настоящее время. Достижение максимальной степени очистки газов, как говорилось, возможно, лишь при автоматическом регулировании питания полей электрофильтров. Создание первых систем автоматического регулирования, приходится на 30-е годы, их развитие продолжается и сегодня. Так за последние 20 лет были разработаны и выпускались отечественные устройства управления агрегатами питания серий ПРТ, ПВП, АРП, АРПКУ, САПФИР, построенные на аналоговой базе. Первые системы представляли собой устройства на электронных лампах, позднее на транзисторах и микросхемах. По мере совершенствования электронных комплектующих, совершенствовались и алгоритмы регулирования. Системы управления агрегатами питания реализуют, как правило, следующие алгоритмы управления:

1. по заданному току или напряжению электрофильтра;
2. по мощности коронного разряда;
3. по уровню пробивных напряжений в электрофильтре;
4. по частоте искровых пробоев в электрофильтре;
5. по максимальному среднему напряжению на электрофильтре;
6. по запыленности выходящих газов.

Все указанные алгоритмы (способы) дают хорошие результаты при очистке газов от частиц пыли второй группы ( $\rho$  от  $10^2$  до  $10^8$  Ом/м). И только, алгоритмы – «по частоте искровых пробоев» и «по запыленности выходящих газов» удовлетворительно работают с пылью третьей группы ( $\rho$  от  $10^8$  Ом/м).

Современные системы регулирования построены на основе микроконтроллеров, при этом принцип работы и заложенные алгоритмы определяются не схемными решениями, а программными средствами. Указанные выше алгоритмы реализуются, в частности, и в микропроцессорном устройстве БУЭФ, разработанном ЗАО «СФ НИИОГАЗ». На сегодняшний день более 100 устройств БУЭФ установлено и эксплуатируется в различных отраслях промышленности России и ближнего зарубежья.

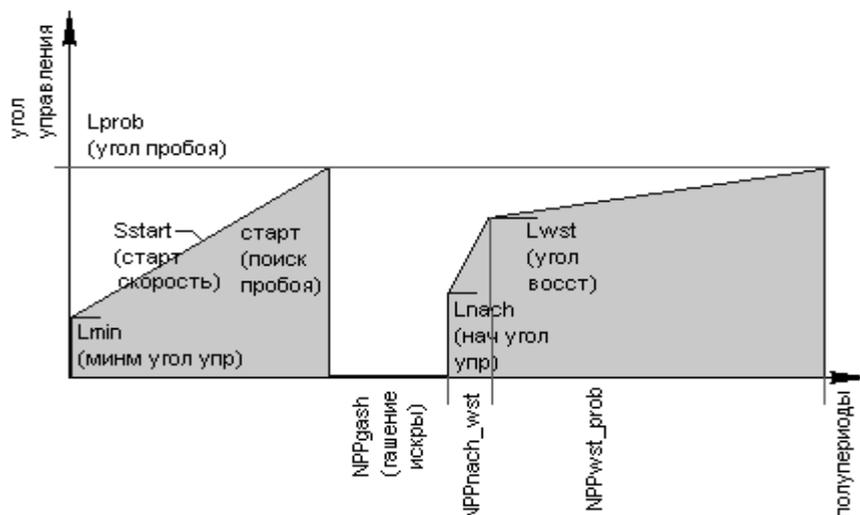
Основными преимуществами микропроцессорных устройств, в частности устройства БУЭФ, по сравнению с аналоговыми устройствами, являются:

- Сокращенная элементная база, за счет использования микропроцессора, что значительно повышает надежность устройств;
- Возможность коррекции алгоритмов регулирования питания, как на стадии наладки устройств, так и в процессе эксплуатации без переделки электрической схемы;
- Наличие линии связи RS-485, позволяющей подключить устройства к современным комплексам АСУ ТП для контроля и управления технологическим процессом на расстоянии до 1 км. без дополнительных согласующих устройств;
- Более совершенные алгоритмы обработки на искру, восстановления напряжения, защиты – в результате при работе с агрегатами питания микропроцессорные устройства демонстрируют отсутствие затяжных и дуговых пробоев, форсированное восстановление напряжения нагрузки, устойчивую работу агрегата при низких токовых нагрузках, защиту агрегатов питания от однополупериодного режима;

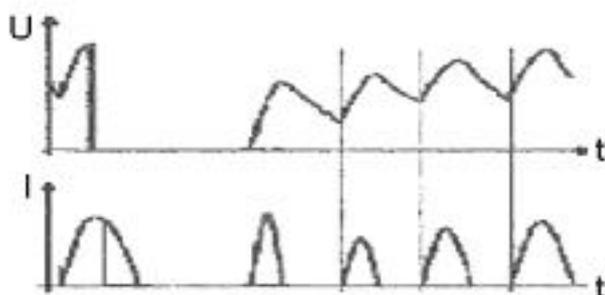
Устройства БУЭФ успешно эксплуатируются на таких заводах как ОАО «Северсталь», ОАО «ГУиР», ОАО «Харанорская ГРЭС», ОАО «НТМК», Хабаровская ТЭЦ-3, ПРУП «Белорусский цем. завод», ЗАО «Шебекино-Мел», ООО «Красноярский цем. завод», ОАО «Байкальский ЦБК», ОАО «Губахинский кокс», ОАО «Горнозаводскцемент», ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод». При этом, за счет улучшения электрического режима работы полей электрофильтров, удалось повысить эффективность процесса газоочистки, например, замена аналоговых устройств АРПКУ на микропроцессорные устройства БУЭФ на «Харанорской ГРЭС», позволила уменьшить выходную запыленность в два раза. Кроме того, ЗАО «СФ НИИОГАЗ», не только производит поставки устройств БУЭФ, но и выполняет монтаж, осуществляет технологическую наладку, с учетом особенностей технологического процесса. Это, в свою очередь, позволяет добиться максимальной эффективности очистки газов, без проведения дополнительных реконструкций механического оборудования электрофильтров. ЗАО «СФ НИИОГАЗ» постоянно совершенствует устройство БУЭФ, учитывая при этом опыт промышленной эксплуатации и пожелания заказчиков. Например, для Хабаровской ТЭЦ-3, с учетом физических свойств частиц в очищаемых газах, был разработан и внедрен режим черезпериодного питания электрофильтра, а для «Ивановского техуглерада» – предварительный пусковой режим питания электрофильтра, с начальным ограничением угла управления силовых тиристоров.

Регулирование напряжения тиристорным агрегатом питания происходит при изменении фазового угла открытия силовых тиристоров, при этом система регулирования, обрабатывая входные сигналы с агрегата питания, несущие информацию о текущем напряжении и токе поля электрофильтра, посылает на управляющие электроды тиристорного блока импульсы, синхронизированные с питающей сетью. Таким образом, после пуска системы регулирования, угол управления силовыми тиристорами начинает увеличиваться с заданной скоростью с начального значения, см. рис.1, пока напряжение на электрофильтре не достигнет

пробивного или ток и напряжение не достигнут, установленных в системе регулирования ограничений. При возникновении искрового разряда система регулирования снимает импульсы с управляющих электродов силовых тиристоров на заданное время (обычно 2-4 п.п.) формируется пауза, если этого не делать, то искровой пробой может стать дуговым. Затем угол управления тиристорами начинает форсированно нарастать и так далее до следующего пробоя.



**Рис. 1.** Алгоритм регулирования угла управления тиристорами в режиме искровых пробоев.



**Рис. 2.** Регулирование тока и напряжения на электрофильтре в режиме искровых пробоев

Скорость подъема напряжения (нарастания фазового угла) устанавливается такой, чтобы поддерживать число искрений на уровне соответствующем максимальным значениям напряжения и тока в поле электрофильтра. Осциллограммы тока и напряжения, при регулировании в режиме искровых пробоев показаны на рис. 2.

Для защиты электрофильтра и источника питания от дуговых пробоев в настоящее время разрабатывается направление, связанное с увеличением быстродействия регуляторов напряжения. В системах с тиристорными регуляторами напряжения, быстродействие можно повысить лишь за счет управляемого их закрытия после пробоя. Однако применение управляемых тиристоров не устранит передачи энергии, запасенной в индуктивной системе агрегата питания. Так как для ограничения токов короткого замыкания при использовании тиристорного регулятора напряжения, необходимы значительные индуктивности, то энергия, выделяемая при пробое, также значительна. Будет возрастать и время восстановления прочности электрического промежутка и, соответственно, возрастет время подачи напряжения на электрофильтр. Наиболее эффективно задача решается применением высокочастотных источников питания.

Обычные высоковольтные источники питания с тиристорным управлением рассчитаны на частоту сети 50 Гц. Это означает, что короткие замыкания, обусловленные пробоями в полях электрофильтров, могут быть устранены за время, равное примерно 10 мсек, т.е за один период. Более длительные токи короткого замыкания требуют продолжительного периода деионизации, до того как на фильтр может быть снова подано напряжение. Кроме того, длительные токи короткого замыкания могут вызывать электрокоррозию электродов в полях электрофильтра, что сокращает срок их службы. Применение высокочастотных преобразователей предоставляет целый ряд преимуществ, это более эффективное распределение нагрузки, благодаря схеме трехфазного питания, значительно более короткий период отклика, малое время деионизации, высокий КПД, меньшая масса, габариты, более высокие средние значения тока и напряжения.

Современный импульсный преобразовательный агрегат питания включает в себя следующие узлы, см.

рис. 3.

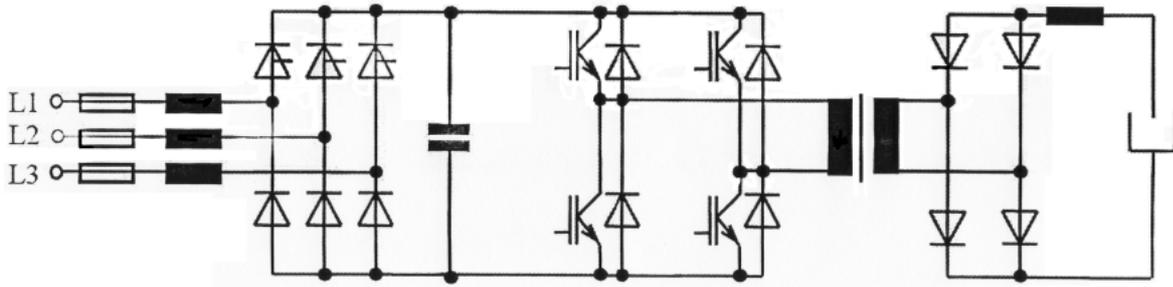


Рис. 3. Электрическая блок-схема импульсного агрегата питания.

- Сетевой фильтр;
- Трехфазный выпрямитель;
- Преобразователь напряжения собранный по мостовой схеме;
- Повышающий трансформатор;
- Высоковольтный выпрямитель;
- Защитный дроссель.

Регулировка напряжения высокочастотным импульсным агрегатом происходит в результате изменения длительности управляющих импульсов на силовых ключах. Форма выходного напряжения и тока импульсного высокочастотного агрегата питания показана на рис. 4. На рисунке видно, что выходное напряжение и ток высокочастотного агрегата имеют, по сравнению с выходным напряжением и током тиристорного агрегата, очень малые пульсации и, вследствие этого, более высокие средние значения.

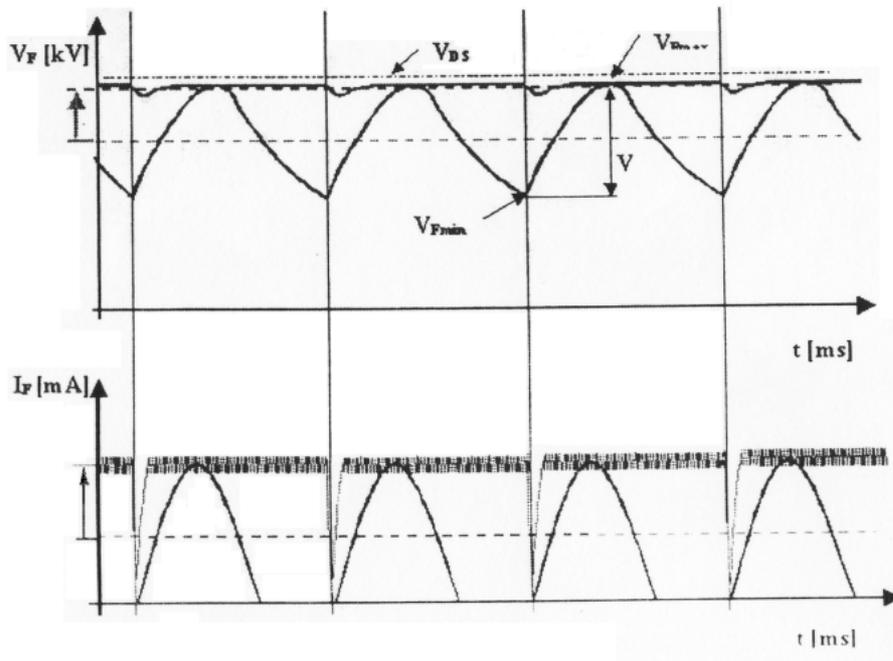
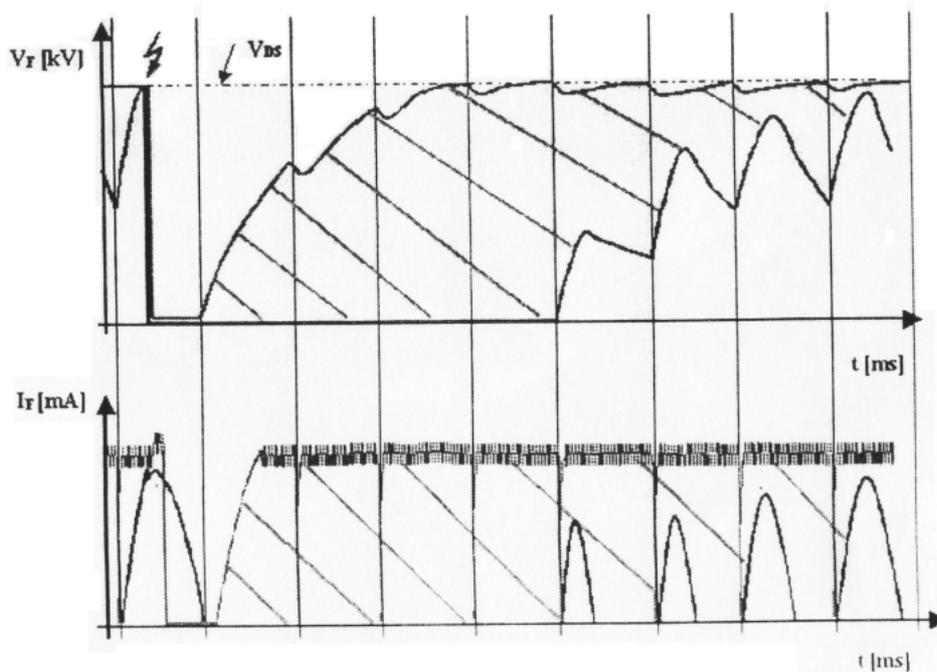


Рис. 4. Осциллограммы тока и напряжения на электрофилт্রে при питании высокочастотным агрегатом.

При искровом режиме работы высокочастотного источника питания, возможно, значительное уменьшение времени паузы после электрического пробоя, без возникновения дуги, см. рис.5, а за счет значительного уменьшения длительности токов короткого замыкания, уменьшение потребляемой электроэнергии, по сравнению с тиристорным агрегатом.



**Рис. 5.** Осциллограммы тока и напряжения в режиме искровых пробоев при питании электрофильтра тиристорным и высокочастотным агрегатом.

В настоящее время ЗАО «СФ НИИОГАЗ» участвует в разработке опытных образцов высокочастотных источников питания, которые предполагается установить на одном из промышленных объектов. Так же ведутся работы по созданию комплексных систем управления электрофильтром, позволяющих управлять питанием электрофильтров, режимами работы механизмов встряхивания, пылеборки, вести мониторинг параметров работы оборудования электрофильтра и параметров очищаемого газа.

# Часть вторая МАТЕРЧАТЫЕ ФИЛЬТРЫ

Громов Ю.И.

## Новые рукавные фильтры с импульсной продувкой типа ФРМИ для больших объемов очищаемого газа

Новые рукавные фильтры типа ФРМИ разработаны с учетом накопленного опыта по эксплуатации отечественных и зарубежных рукавных фильтров и предъявляемых современных требований к их эксплуатации в первую очередь в отраслях теплоэнергетики, цветной и черной металлургии.

Фильтры типа ФРМИ представляют собой набор модулей, которые формируют типоразмерный ряд фильтров с площадью фильтрования от 800 до 16000 м<sup>2</sup>, с расчетной производительностью по очищаемому газу от 70000 до 1380000 м<sup>3</sup>/ч. Пример компоновки фильтров типа ФРМИ представлен на рисунках 1, 2.

Способ регенерации рукавов – импульсная односторонняя продувка сжатым воздухом давлением 0,3-0,6 МПа, с отключением секций на время регенерации.

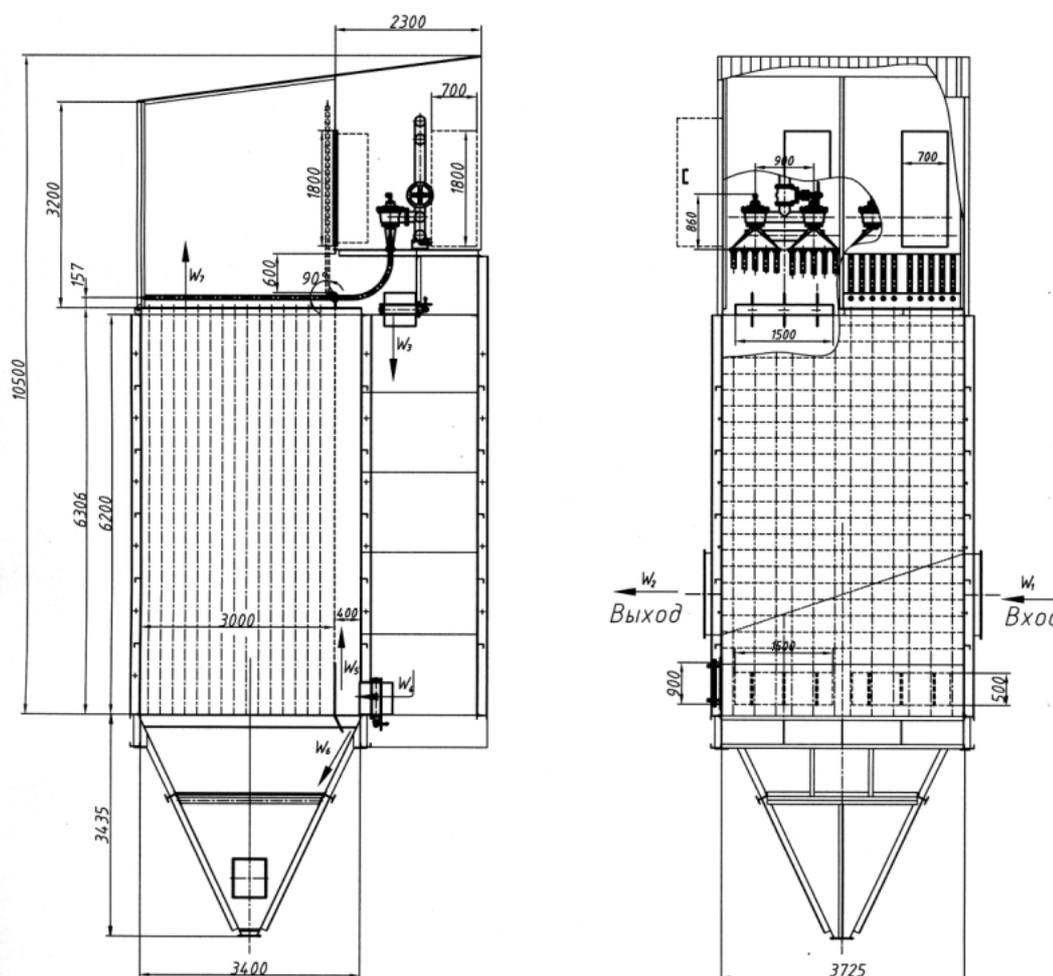


Рисунок 1. Базовый модуль (800 м<sup>2</sup>)

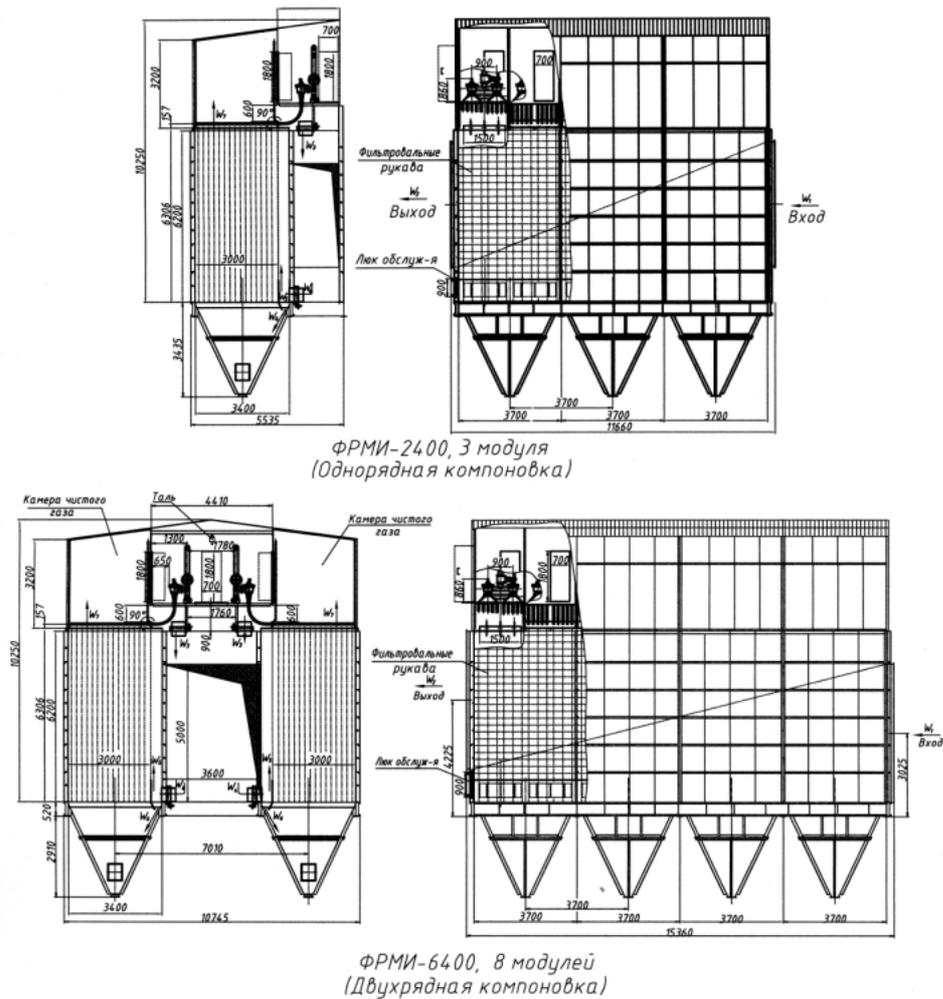


Рисунок 2. Примеры однорядной и двухрядной компоновок.

Сравнительные данные показателей качества рукавных фильтров различных фирм, применяемых в проектах установок газоочистки

Таблица 1.

Наименование показателей	Един. измер.	Значение показателей							
		Фильтр с односторонней импульсной продувкой	ФРИР-7000	ФРИ-1600	AG2L6520 BF	ФРИА-900	ФА-100	ФРМИ-8000(ОС)	FTS (12 секций 2 ряда, l <sub>p</sub> =6м; откл. секций)
		1 шт	1 шт	4 шт	5 шт	8 шт	6 шт.	1 шт	1 шт
		Фирма Лурги (Германия)	НИПИ-энергосталь (Украина)	ОАО «ФИНГО» (Россия)	AJRINDUS RIE (Франция)	ОАО «СФ НИИОГАЗ» (Россия)	АОЗТ «Спейс-Моторс» (Россия + Германия)	ЗАО «Кондор-Эко» (Россия)	ZVZZ (Чехия)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Производительность	м <sup>3</sup> /ч	466200 (8)	630000 (3)	581760 (7)	585000 (6)	626400 (4)	612360 (5)	690660 (1)	632880 (2)
Площадь поверхности фильтрования	м <sup>2</sup>	5180 (8)	7000 (3)	6464 (7)	6500 (6)	6960 (4)	6804 (5)	7674 (1)	7032 (2)
Габариты:									
Д	мм	16250	19000	11220	11833	55552	10000	18500	19860
Ш	мм	10800	13690	19346	26150	39712	34700	10500	9462
В	мм	9540	10710	9400	7860	9500	6100	13000	12600
Удельная газовая нагрузка	м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> мин	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Масса	кг	137528 (5)	168300 (6)	132980 (4)	-	176000 (7)	91800 (1)	100500 (2)	131600 (3)
Удельная масса	Кг/м <sup>3</sup> ч	0,295 (7)	0,267 (5)	0,229 (4)	-	0,281 (6)	0,15 (2)	0,1455 (1)	0,208 (3)

Объем, занимаемый фильтром	м <sup>3</sup>	1674,3 (1)	2785,8 (7)	2040,4 (2)	2432,1 (5)	20957 (8)	2116,7 (3)	2525,25 (6)	2367,7 (4)
Площадь поверхности фильтрования в объеме	м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	3,09 (3)	2,51 (7)	3,17 (2)	2,67 (6)	0,332 (8)	3,21 (1)	3,0389 (4)	2,97 (5)
Производительность на единицу объема	м <sup>3</sup> /ч м <sup>3</sup>	278,55 (3)	226,24 (7)	285,7 (2)	240,38 (6)	29,9 (8)	289,3 (1)	273,5 (4)	267,3 (5)
Площадь, занимаемая фильтром	м <sup>2</sup>	175,5 (1)	258,4 (5)	217,1 (4)	309,4 (6)	2206 (8)	347 (7)	194,25 (3)	187,9 (2)
Площадь поверхности фильтрования на занимаемую площадь	м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	29,5 (4)	27,1 (5)	29,8 (3)	21,0 (6)	3,15 (8)	19,6 (7)	39,5 (1)	37,4 (2)
Количество мембранных клапанов на аппаратах	шт	-	-	768 (4)	-	208 (3)	-	40 (1)	168 (2)
Количество секций	шт	-	-	64 (4)	-	8 (1)	-	20 (3)	12 (2)
Количество управляемых пневмоцилиндров для отключения секций	шт	-	-	-	-	8 (1)	-	40 (3)	24 (2)
Приведенный показатель качества К <sub>пр</sub> *	-	4,44	5,33	3,91	5,86	5,5	3,55	2,42	2,83
Занимаемое место относительно друг друга	-	5	6	4	8	7	3	1	2

\* -  $K_{пр} = \frac{\sum p_i}{n}$ , где  $n$  - число участвующих показателей в анализе,  $i$  - порядковый номер показателя.  
 $p_i$  - соответствующий показатель качества относительно всех фильтров.

**Примечание:** сравнительные данные основных показателей приведены из условий: - одинаковой удельной газовой нагрузки, примерно одинаковой площади фильтрования

Каждый модуль в процессе эксплуатации фильтра может быть отключен от газового потока по входу и выходу газа, что позволяет производить обслуживание и ремонт, не останавливая работу всего фильтра. Данное обстоятельство крайне важно при использовании фильтров в непрерывных технологических процессах. Конструкция фильтров разработана с учетом повышения надежности узлов регенерации и совершенствования системы управления фильтрами. В этом плане достигнуто сокращение числа исполнительных устройств системы регенерации на единицу площади фильтрования по отношению к серийным фильтрам типа ФРИ-630; 800; 12350; 1600 [1] в 22 раза.

Заменена система управления регенерацией типа СУ-24, обеспечивающая циклический режим регенерации с изменением только паузы между импульсами, на микропроцессорный контроллер типа Elex-2200 с возможностью выхода на АСУТП и изменения алгоритма работы путем перепрограммирования системы управления с учетом условий эксплуатации фильтров.

Важной конструктивной особенностью новых фильтров в отличие от серийных фильтров является возможность установки фильтров вне зданий с использованием шатрового исполнения верхней части фильтров, являющейся их неотъемлемой составной частью. При этом, необходимым условием для надежной эксплуатации фильтров является теплоизоляция корпуса и бункеров фильтра, которая должна быть предусмотрена проектом установки.

Конструкция корпуса и основных узлов защищены патентами [2, 3, 4]. Новые решения позволяют исключить влияние скоростных напоров газовых потоков внутри фильтра на износ рукавов и снизить гидравлические потери на фильтры на 20 %.

Рабочая температура фильтров ограничивается рабочей температурой применяемого фильтроматериала, но не более 220°С. Сравнительные данные показателей качества рукавных фильтров различных фирм, применяемых в проектах установки газоочистки, представлены в таблице 1 [5, 6, 7].

Выбор аппаратов осуществляет ЗАО «Кондор-Эко», факс: (08536) 53-112); привязку – ОАО «Гипрогазоочистка», факс: (095) 231-30-52.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Газоочистное оборудование. Каталог. Цинтихимнефтемаш. М., 1988.
2. RU 2179879 С 1 – патент РФ «Рукавный фильтр».
3. RU 2179878 С 1 – патент РФ «Фильтрующий рукав для рукавного фильтра».

4. Решение о выдаче патента на заявку № 202100122/12 от 09.01.2002 «Рукавный фильтр».
5. Рукавные фильтры FTS. Каталог. ZVVZ. Milevsko.
6. *Ерохин А.В., Витер Г.В., Подоляка А.Н., Поставничий В.В.* Унифицированный рукавный фильтр с импульсной регенерацией типа ФРИР для сухого обеспыливания технологических и аспирационных газовых выбросов/Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Харьков, НИПИ «Энергосталь», 2001.
7. Номенклатура рукавных фильтров для сухой газоочистки, типоразмеры и расходы газов от 2000 до 100000 м<sup>3</sup>/ч и более. Каталог ЗАО «Спейс-Моторс».

**Бубнов В.И.**

## **Фильтры рукавные для улавливания твердых частиц и газообразных выбросов в алюминиевом производстве**

Решение экологических проблем в производстве алюминия требует разработки и внедрения все более совершенных схем очистки электролизных газов.

Одним из направлений повышения эффективности очистки газов является переход от «мокрой» очистки газов к схеме «сухой» газоочистки, основанной на процессе сорбции фтористого водорода оксидом алюминия (глиноземом) в модулях «реактор – тканевый фильтр».

Такие схемы нашли широкое применение за рубежом и в последнее время активно внедряются на отечественных алюминиевых заводах. При этом в газоочистных установках используются рукавные фильтры различных конструкций, но предназначенных для общепромышленного применения.

Из-за недостаточного учета в конструкции общепромышленных рукавных фильтров, технологии и специфики сорбционной газоочистки при их эксплуатации возникают проблемы, связанные с надежностью функционирования ряда узлов фильтров, таких как элементы системы регенерации, фильтровальные рукава. В результате проведенных исследований в ОАО «СФ НИИОГАЗ» для систем «сухой» газоочистки алюминиевого производства разработаны специальные фильтры типа ФРИА, конструкция которых наиболее полно отвечает технологическим требованиям схем сообщений газоочистки.

### **О физико-химическом методе сухой сорбционной очистки электролизных газов**

Сухая сорбционная очистка основана на хемосорбции фтористого водорода глиноземом.

Модификации глинозема отличаются активностью по отношению к фтористому водороду.

$\alpha$  –  $Al_2O_3$  – характеризуется наименьшей активностью;

$\gamma$  – наибольшей.

Количество фтористого водорода адсорбированного без снижения степени очистки – сорбционная емкость «а» (мг HF на 1г  $Al_2O_3$ ) – определяется емкостью мономолекулярного слоя фтористого водорода на поверхности глинозема и оценивается как:

$$a=0,29 \times S \text{ мг/г,}$$

где S – величина удельной поверхности, м<sup>2</sup>/г.

В массовых процентах величина «а» составляет:

$$a=0,029 \times S \%$$

Величина удельной поверхности промышленных глиноземов колеблется в основном от 40 до 80 м<sup>2</sup>/г. Соответственно сорбционная емкость колеблется, в основном, от ~12 до 25 мг/г или от 1,2 до 2,5 % массовых. Исходя из количества «HF» поступающего на установку и величины сорбционной емкости «а» определяется минимальное количество чистого глинозема подаваемого на установку (в реакторы):

$$A_{зл.}^ч = \frac{F_{го} \cdot \eta_{ул.} \cdot 100}{a}, \text{ кг / час,}$$

где  $\eta_{ул.}$  – степень улавливания HF, доли единиц;

$F_{го}$  – количество не поступающего на установку, кг/час.

Минимальное количество глинозема, подаваемого в каждый реактор, составит:

$$A_{зл.}^{ч.р} = \frac{A_{зл.}^ч}{n},$$

где n – количество рабочих модулей.

Общее количество глинозема, поступающего в реактор, составит:

$$A_{зл.} = \frac{A_{зл.}^ч}{n} + A_{зл.}^{pec.},$$

где  $A_{гг.}^{рец.}$  – количество рециркулируемого глинозема, т/час.

Исходя из предельной запыленности газа на входе в рукавные фильтры  $\sim 50\text{г/м}^3$  и производительности для ФРИА –  $900 \sim 70000\text{м}^3$ ,  $A_{гг.}$  на 1 модуль не должно превышать  $\sim 3,5\text{т/час}$ . Тогда

$$A_{гг.}^{рец.} = A_{гг.} - \frac{A_{гг.}^ч}{n} = 3,5 - \frac{A_{гг.}^ч}{n}.$$

### Технологическая схема. Конструкция фильтров

Из силоса свежего глинозема глинозем пневмотранспортом подается в буферный бункер через циклон. Сброс аспирационного воздуха из циклона на вход рукавного фильтра. Расход свежего глинозема регулируется запорным валиком. Далее глинозем аэрожелобами распределяется по реакторам.

Реактор представляет собой цилиндрический аппарат с пережимом в центральной части. Газ поступает в аппарат тангенциально под пережимом, сюда же над пережимом подается свежий и рециркуляционный глинозем, возникает взвешенный слой глинозема с внутренней циркуляцией.

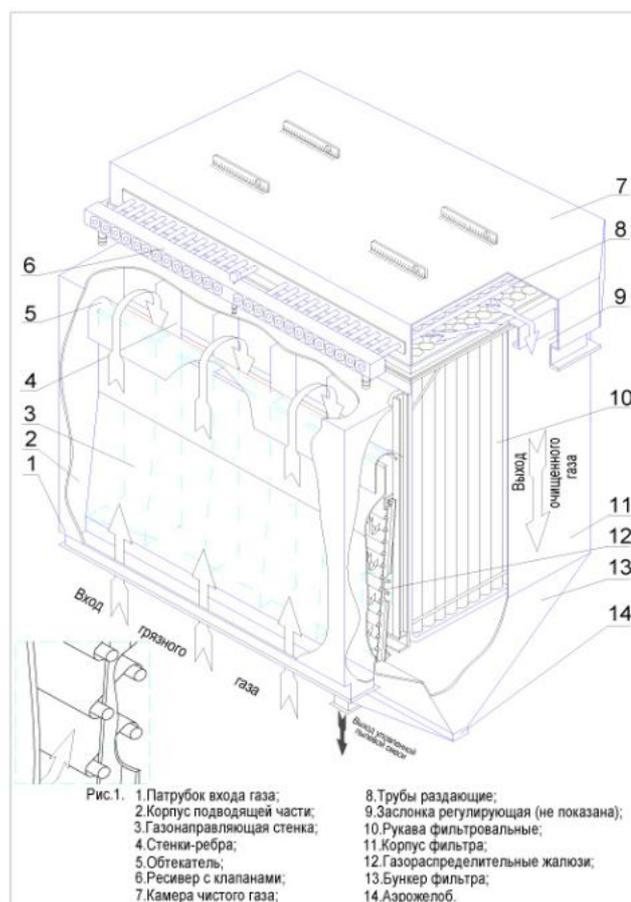
В режиме аэровзвеси происходит процесс хемосорбции фтористого водорода оксидом алюминия.

Из реакторов, через газоподвод, электролизные газы поступают в реакторную часть рукавного фильтра, где этот процесс продолжается. Завершается процесс адсорбции фтористого водорода в проницаемом слое глинозема, сформированном на поверхности рукавов. Конструкцией (см. иллюстрации) обеспечиваются невысокие скорости в газопроводе и его равномерное распределение по рукавам, что создает условия для образования равномерного слоя глинозема на поверхности рукавов.

Пыль с рукавов периодически отряхивается пневматическими импульсами, создаваемыми электропневматическими клапанами по сигналу от микропроцессорного управляющего устройства с частотой, зависящей от величин гидравлического сопротивления фильтра, заданной системой АСУТП.

В фильтрах типа ФРИА применена система импульсной регенерации рукавов сжатым воздухом, обеспечивающая эффективную очистку рукавов с низкими механическими напряжениями на фильтроматериале, что способствует повышению их срока службы до  $2 \div 2,5$  лет.

Пыль, удаляемая с рукавов, осажается в бункере, ссыпается на тканевую перегородку аэрожелоба. Сжатый воздух, подаваемый воздушодувками, проходит через поры ткани, аэрирует пыль-глиноземную смесь; при направлении движения воздуха перпендикулярно поверхности ленты аэрожелоба одновременно с аэрацией происходит сдвиг осадка и выгрузка его через торцевой патрубков. Глинозем, уловленный фильтром через распределительную коробку с помощью винтового питателя, подается частично в реактор на рециркуляцию.



Концентрация глиноз

струкцией фильтра предусмотрена возможность быстрой замены рукавов целыми кассетами или отдельными рукавами.

К настоящему времени по техническим заданиям, согласованным с разработчиками проектов газоочистки – институтом ВАМИ разработаны фильтры (модули) трех типоразмеров: ФРИА-400, ФРИА-900 и ФРИА-1250, производительностью по очищаемому газу, соответственно, до 39000 м<sup>3</sup>/ч, до 78000 м<sup>3</sup>/ч и до 115000 м<sup>3</sup>/ч.

Конструктивно указанные фильтры обычно являются модулями в отдельных блочных фильтрах, включающих требуемое число модулей.

Как одиночные фильтры-модули, так и их блоки, могут быть выполнены как правых, так и левых исполнений, что обеспечивает удобство их компоновки в установках газоочистки.

Применение блочной компоновки фильтров-модулей имеет преимущество перед одиночными фильтрами очень большой производительности, так как позволяет практически исключить простои основного технологического оборудования по причине технического обслуживания и ремонта фильтров-модулей.

Управление регенерацией фильтров ФРИА осуществляется микропроцессорными контроллерами, обеспечивающими автоматическое управление по перепаду давления на фильтроэлементах.

Первые образцы фильтров ФРИА-900 внедрены в 1989 г. в опытном производстве Саянского алюминиевого завода. Еще два фильтра находятся в стадии монтажных работ и пуска-наладки.

На Кандалакшском алюминиевом заводе в 2002 г. даны в эксплуатацию шесть фильтров ФРИА-900х3, каждый из которых состоит из трех фильтров-модулей ФРИА-900.

Проведенные промышленные испытания показали, что фильтры обеспечивают очистку проектных объемов 1 млн. 100 тыс. м<sup>3</sup>/ч электролизных газов на уровне современных требований по допустимым выбросам вредных веществ из газоочистных установок:  $\eta_{\text{газ}} - 99,6 \%$ ,  $\eta_{\text{тв. и пыль}} - 99,9 \%$ .

В настоящее время идет монтаж восьми блоков фильтров ФРИА-900х3 на Богословском алюминиевом заводе. ОАО «СФ НИИОГАЗ» – разработчик фильтров ФРИА – проводит комплектацию, авторский надзор за изготовлением и монтажом, пуска-наладку фильтров, осуществляет сервисное обслуживание фильтров в период их эксплуатации.

На основе отчета эксплуатации и все возрастающих экологических требований к уровню допустимых выбросов проводит непрерывное совершенствование конструкции фильтров ФРИА, обеспечивающее их современный технический уровень.

**Горячев И.К.**

## **Фильтры кассетные с развитой фильтровальной поверхностью типа ФКИ и их использование в различных отраслях промышленности**

В шестидесятых годах в Семибратовском филиале НИИОГАЗ была поставлена тема «Исследование метода очистки газов в фильтрах с развитой фильтровальной поверхностью и импульсной регенерацией». Работа была рассчитана на несколько лет. Конечной целью поставлена задача создания фильтров с максимально возможным сокращением габаритов за счет изыскания уплотненной компоновки фильтровальной поверхности в единице объема рабочей камеры с применением эффективной системы регенерации. Актуальность задачи определялась необходимостью модернизации действующих цехов, связанных с наличием источников пылевыведения в помещениях, имеющих ограниченные площади и высоту производственных помещений. Предприятия асботехнической промышленности, сажевые заводы, предприятия строительной отрасли и другие требовали замены устаревших фильтров аспирационных систем. В основном используемые фильтры базировались на традиционной конструкции рукавного фильтра с механическим отряхиванием рукавов. Это были фильтры с громоздкими переключающими устройствами механизма регенерации, создающими грохот при переключении, не экономичные и малонадежные при эксплуатации.

В результате проработки различных вариантов компоновки, анализа и сопоставления экономических показателей первоначально были созданы фильтры с импульсной продувкой с клиновым расположением фильтровального материала в рабочей камере фильтра [1]. Такие фильтры по занимаемому объему производственного помещения были в 1,3 раза меньше рукавных фильтров типа ФВ и ФВК.

Всестороннее исследование процесса фильтрации и регенерации опытных образцов клиновых фильтров на Ярославском заводе АТИ, на Подольском цементном заводе, на Саткинском заводе «Магнезит» и ряде других предприятий позволили рекомендовать клиновые фильтры и систему регенерации с импульсной продувкой к промышленному использованию. Совместно с Ярославским институтом ВНИИАТИ было разработано техническое задание на создание промышленного образца клинового фильтра с импульсной продувкой.

Институт «Гипрогазоочистка» разработал техническую документацию, а Экспериментальный Семибратовский завод газоочистительной аппаратуры (ЭСЗГА) поставил на промышленное производство фильтры ФПИ-100 для асботехнических производств, которые порядка 10 лет производились на ЭСЗГА и укомплектованные вельветоновой тканью поставлялись на заводы АТИ.

С этих работ практически и начались в СФ НИИОГАЗ исследования способа регенерации импульсной продувкой применительно к различным конструкциям фильтров.

Работы по изысканию более компактных способов размещения фильтровальных материалов в рабочей камере продолжались, одновременно с проработкой системы регенерации для клиновых и рукавных фильтров. В результате в 1967 г. СФ НИИОГАЗ получает авторское свидетельство на изобретение фильтра, позволяющего компоновать фильтровальный материал в несколько раз более рационально по сравнению с рукавным фильтром и компактнее клиновых фильтров [2].

Опытные фильтры первоначально назывались ячейковыми, потом сотовыми и наконец при их промышленном производстве стали называться ФКИ (фильтры кассетные импульсные, рисунок 1).

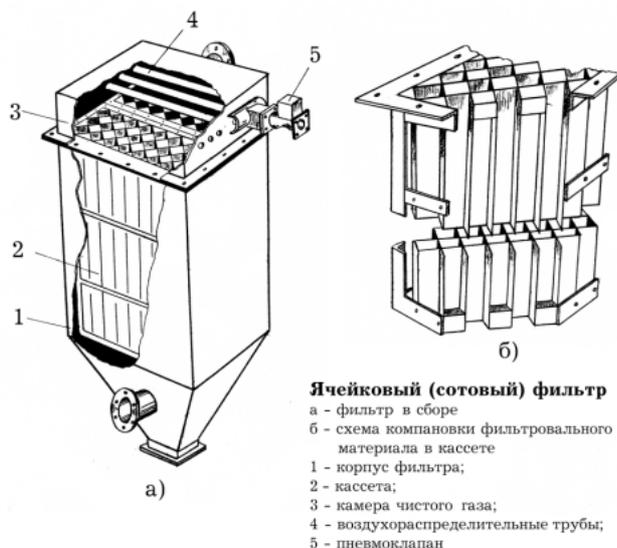


Рисунок 1. ФКИ.

Отличительная особенность новых фильтров является оригинальная компоновка фильтровального материала в рабочей камере фильтра. Пошитый, или соединенный иным способом, фильтровальный материал размещается в каркасе, образуя ячейки для чистого и запыленного газа, расположенные в шахматном порядке. В сечении фильтроэлемент напоминает сотовую структуру (рисунок 2).

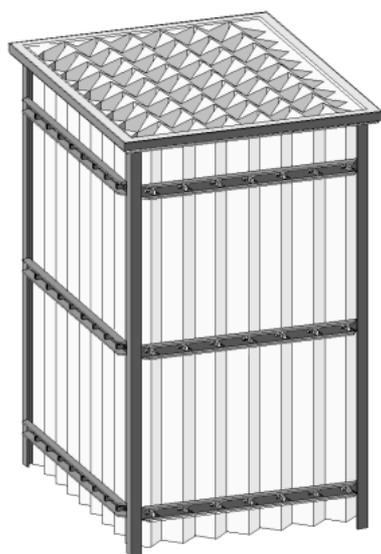


Рисунок 2. Кассета.

Регенерация ткани осуществляется импульсами сжатого воздуха при отключении секции на период регенерации.

В последние годы в ОАО СФ НИИОГАЗ проведена работа по широкому внедрению кассетных фильтров в различные отрасли промышленности. Были разработаны фильтры общепромышленного применения на широкий спектр производительности, а также специальные фильтры для конкретных производств [3].

Фильтры типа ФКИ внедрены и успешно работают на шинных заводах при очистке аспирационного воздуха после резиносмесителей (рисунок 3), в стекольной промышленности (рисунок 4), на предприятиях стройиндустрии, в порошковой металлургии, предприятиях по переработке цветных металлов и др.

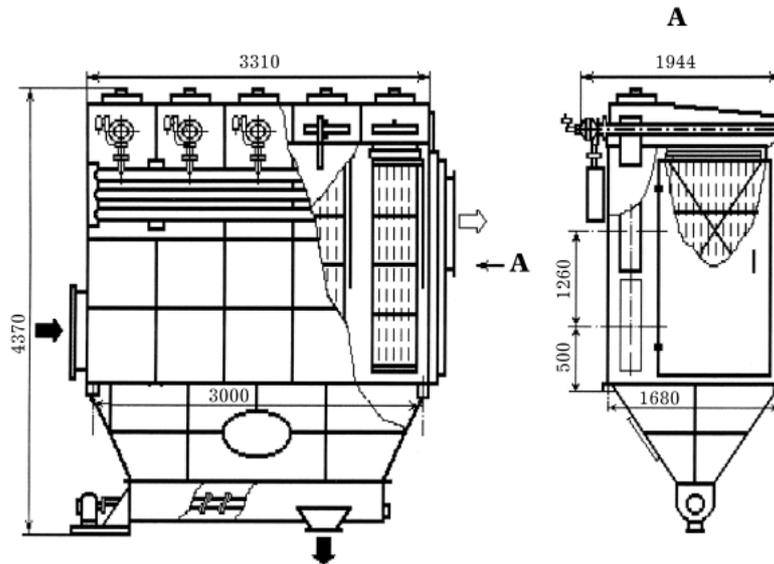


Рисунок 3. ФКИ-140.

На Челябинском металлургическом комбинате «Мечел» был установлен фильтр ФКИ-8000 на 8000 м<sup>2</sup> фильтровальной поверхности (рисунок 5). К сожалению, монтажные работы и первые годы эксплуатации большого фильтра попали на период когда предприятие, испытывающее финансовые затруднения, не могло привлечь к авторскому надзору и пусконаладочным работам авторов, разработчиков, изготовителей и проектировщиков нового фильтра. В результате первый опытный образец большого фильтра не позволил выявить всех недостатков конструкции, он модернизировался эксплуатационниками непосредственно в процессе работы.

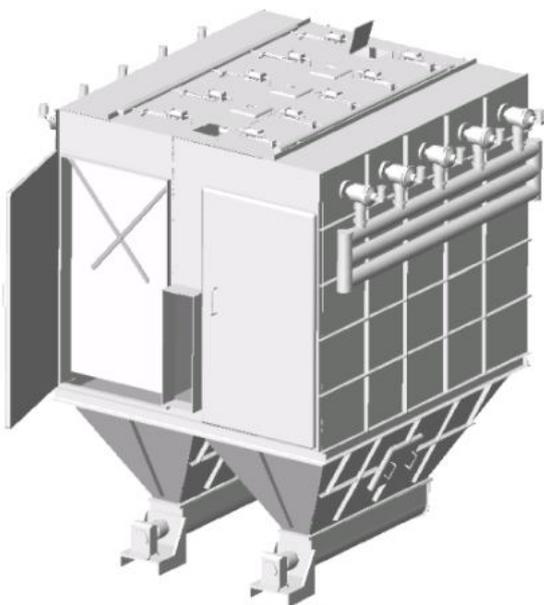


Рисунок 4. ФКИ-280.

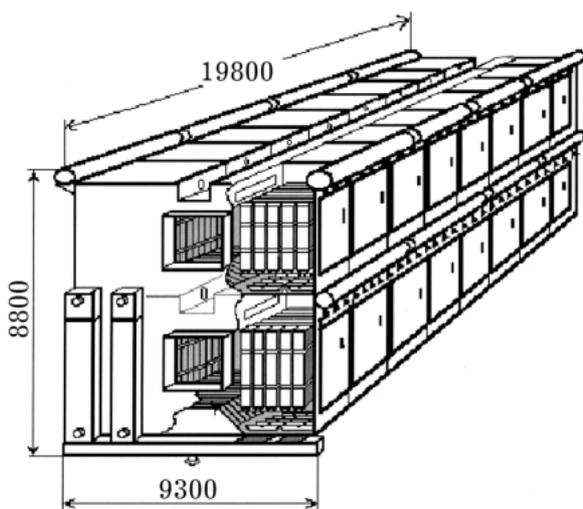


Рисунок 5. ФКИ-8000.

В настоящее время нашей организацией проводятся работы по изысканию возможностей разработки касетных фильтров большой производительности с учетом первого опыта эксплуатации фильтра ФКИ-8000 с привлечением сторонних организаций для проектирования пылеудаляющих устройств. Одновременно с этим проводятся работы по возможности создания больших многэтажных фильтров кассетной компоновки для обеспечения производительности по очищаемому газу миллион и более м<sup>3</sup> газа в час. Главным составляющим элементом фильтров является фильтровальная кассета. Первоначально фильтровальный материал в форме сотовой структуры сшивался на обычных швейных машинах по специально разработанной технологии.

Сшитый элемент растягивался на каркасе. Фильтровальная кассета имеет 28 м<sup>2</sup> рабочей поверхности. В 1987 г. СФ НИИОГАЗ получил патент на способ изготовления фильтровальных элементов и на устройство его осуществления [4]. Основной особенностью нового способа изготовления является то, что фильтровальный материал не сшивается, а соединяется термосваркой, причем весь элемент изготавливается из одного сплошного полотна.

Изготовление фильтровальных элементов осуществляется на специальном станке при полной автоматизации процесса. На спроектированных изготовленных и установленных в лаборатории 2-х станках уже изготовлено и отправлено вместе с фильтрами более 500 кассет.

При использовании ячейки с сечением 60х60 мм обеспечивается работоспособность фильтров при улавливании большинства промышленных пылей. При этом ячейки забиваются только в случае работы фильтров на влажных легкослипающихся пылях или при отсутствии контроля за работой импульсной системы регенерации.

Срок службы фильтровальных элементов зависит от свойств улавливаемой пыли и очищаемых газов, от технологических параметров работы и условий эксплуатации фильтра, от свойств и качества установленного в кассете фильтровального материала и многих других факторов. Средний срок службы обычно составляет от 2-х до 5 лет. Например, на стекловаре «Неман» (Беларусь) при эксплуатации фильтра ФКИ-280 С для очистки дымовых газов от стекловаренной газопламенной печи фильтровальные элементы, изготовленные из нетканого иглопробивного фильтровального материала производственного объединения «Мистра» (Эстония), заменялись через 2 года (информация была дана представителем завода на конференции в г. Гусь-Хрустальный) [5].

На Ярославском шинном заводе в фильтрах ФКИ-140Ш, оснащенных нетканым лавсановым материалом производства НПО «Химпром» (г. Могилев), фильтровальные элементы работают в течение 4 лет без существенных изменений основных технологических показателей.

Фильтровальные элементы сотовой структуры в настоящее время используются в основном в фильтрах общепромышленного применения, разработанных в виде типоразмерного ряда. Это фильтры ФКИ-20, ФКИ-28, ФКИ-56, ФКИ-140, ФКИ-280. Перспективным направлением их использования, на наш взгляд, следует считать очистку взрывоопасных газов с частицами пыли, образующих взрывоопасные смеси, например, при углеприготовлении, изготовлении и пневмотранспортировании алюминиевой пудры, в мукомольной промышленности и др. Разделение внутриобъемного пространства фильтра на отдельные мелкие ячейки повышает безопасность аппарата.

Естественно, при создании таких фильтров необходимо проведение комплекса научно-исследовательских работ. Применение компактных фильтровальных элементов сотовой структуры целесообразно с точки зрения удобства эксплуатации в фильтрах как малой, так и большой производительности.

Фильтры ячейковые, сотовые или, как мы их сейчас называем, кассетные неоднократно демонстрировались на выставках, в том числе международных. Наша организация и участники разработки награждались дипломами и медалями. На проходившем в Москве 2-м Международном салоне инноваций и инвестиций за демонстрацию работы по созданию кассетных фильтров наша организация была награждена дипломом выставки и серебряной медалью.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Горячев И.К.* Тканевый фильтр с клиновой раскладкой ткани. Материалы конференции «Очистка промышленных газов от пыли тканевыми фильтрами». М., ГОСИНТИ, 1965.
2. *Горячев И.К., Саксин В.Н.* Авторское свидетельство на изобретение № 242135
3. *Горячев И.К.* Промышленные кассетные фильтры типа ФКИ//Химическое и нефтяное машиностроение. № 6, 1999. С. 7–9.
4. *Горячев И.К., Трофимов Е.Г., Синягин В.И.* Способ изготовления фильтровального элемента и устройство для его осуществления. Патент СССР № 1711950.
5. Материалы семинара «Экологические проблемы производства стеклотары и сортовой посуды», г. Гусь-Хрустальный, 2001.

**Калинин А.В., Чекалов Л.В., Белогловский А.А.**

## Особенности улавливания заряженных аэрозолей в тканевых фильтрах

### 1. Введение

Тканевые фильтры давно и успешно применяются для очистки промышленных газовых выбросов от мелкодисперсной пыли [1].

В энергетике существует ряд особых условий, когда применение традиционных аппаратов – электрофильтров – приводит к громоздким конструкциям и выглядит неоправданным с технико-экономической точки зрения. К таким особым условиям относятся улавливание высокоомных пылей, обеспечение очень малых значений выходной запыленности, улавливание частиц с размером 1 мкм и менее. Для применения в этом случае предложен комбинированный электрофильтр [2], состоящий из собственно электрофильтра и тканевого фильтра, размещенного последовательно по ходу газа. Это позволяет сочетать благоприятные

свойства электрофильтра и тканевого фильтра одновременно.

Электрофильтр, эффективно работая при относительно высокой концентрации частиц, удаляет основную часть пыли на начальной стадии и, далее, тканевый фильтр при малой концентрации частиц обеспечивает требуемую степень очистки.

Существенной особенностью работы тканевых фильтров как составной части комбинированного фильтра является то, что он улавливает заряженные частицы. Следует рассмотреть, как наличие зарядов на частицах сказывается на формировании пылевого слоя на тканевом фильтре и как влияет на регенерацию фильтровального материала.

## 2. Предварительные результаты

Уже в начальный период применения тканевых фильтров разработчики отмечали влияние статической электризации на эффективность работы фильтров. Далее с этим приходилось сталкиваться постоянно и статическая электризация пыли стала одним из важных факторов, определяющих выбор ткани, условия регенерации и даже срок службы ткани. Ухудшение условий регенерации связывали с увеличением слипаемости частиц в слое. Это, в свою очередь, приводило кросту гидравлического сопротивления [5].

С другой стороны, при исследованиях осаждения частиц в волокнистых фильтрах тонкой очистки [3, 4] отмечалось существенное увеличение степени очистки при улавливании заряженных аэрозолей. Авторы отдельных работ расходятся в количественных оценках, но всегда отмечалось, что заряд частиц приводит к снижению проскока в несколько раз. Особенно велико влияние зарядов частиц на их осаждение в фильтрах с относительно большим размером ячеек, например, с пенометаллом или пористым полиуретаном [6].

Отметим, что в фильтрах тонкой очистки осаждение частиц происходит в каналах внутри фильтра. Преобладающими являются следующие механизмы: инерционный (для  $a > 0,7$  мкм), зацепления (для  $1,0 < a < 0,4$  мкм), гравитационный ( $a > 0,8$  мкм) и под действием диффузии для частиц радиусом менее 0,4 мкм [3, 4]. Во всех этих случаях зарядка частиц и действие электрического поля увеличивают степень осаждения частиц в фильтре.

Степень осаждения в волокнистых фильтрах рассчитывается на основании теории единичного волокна [3, 4]

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{2K_{\text{зах}}C}{\pi R}X\right) \quad (1)$$

где  $R$  – радиус волокна или элемента пористой структуры;  $C$  – коэффициент заполнения фильтра, т.е. отношение объема материала к полному объему фильтра;  $X$  – толщина фильтра.

Коэффициент эффективности захвата частиц  $K_{\text{зах}}$  определяется как

$$K_{\text{зах}} = \frac{y_0}{R} \quad (2)$$

где  $y_0$  – расстояние от оси симметрии, определяющие предельную траекторию частицы, заканчивающуюся осаждением на волокне.

Таким образом, расчет степени очистки сводится к определению коэффициента захвата. Исходным для расчета предельной траектории, определяющей коэффициент захвата, является уравнение движения заряженной частицы в электрическом поле и потоке воздуха:

$$m \frac{dV_q}{dt} = q\bar{E} - 6\pi\mu\alpha K_K (V_q - V_{\text{пот}}) \quad (3)$$

где  $q$  – заряд частицы;  $E$  – вектор напряженности электрического поля;  $\mu$  – коэффициент вязкости воздуха;  $V_q$  – скорость частицы;  $V_{\text{пот}}$  – скорость потока,  $K_K$  – поправка Кенингема.

$$K_K = \left(1 + A_K \frac{l_m}{a}\right)^{-1} \quad (4)$$

где  $l_m = 0,942 \cdot 10^{-7}$  м – эквивалентная длина свободного пробега молекул воздуха при нормальных условиях;  $A_K = 0,86$  – постоянная Кенингема для гладких сферических частиц.

Обычно предполагается, что заряд частиц  $q$  равен предельному заряду, который она получает по ударному и диффузионному механизму ионной зарядки в поле униполярного коронного разряда определенной напряженности [7]. На рис. 1 представлены результаты расчета коэффициента эффективности захвата частиц при различных значениях характерных параметров. При расчетах по уравнению (3) заряд частиц принят равным заряду, приобретенному в поле коронного разряда при  $E_{\text{зф}} = 10^5$  В/м. Из кривых рис. 1 следует, что влияние заряда и поля особенно велико для частиц радиусом 1,0 мкм и менее. Коэффициент  $K_{\text{зах}}$  может возрасти в 4 и более раз.

Как отмечалось ранее, осаждение частиц первоначально происходит в каналах внутри фильтра. Внутри каналов формируется рыхлая дендритообразная структура. По мере заполнения каналов образуется слой

на поверхности ткани. Считается, что осаждение частиц на слое происходит за счет ситового эффекта [1, 5]. Однако в формировании слоя видимо присутствуют все перечисленные выше механизмы. Скорость роста слоя определяется потоком частиц, поступающих на слой

$$h_{cl} = \frac{QZt}{K_{yn} \cdot \gamma_{yd}} = \Delta h \cdot t \quad (5)$$

где  $Q$  – удельная газовая нагрузка на слой [ $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{мин}$ ],  $Z$  – массовая концентрация частиц,  $K_{yn}$  – коэффициент упаковки частиц в слое,  $\gamma_{yd}$  – удельный вес материала частиц,  $t$  – время формирования слоя.

Если принять, что массовая концентрация частиц на входе в тканевый фильтр комбинированного фильтра составляет  $Z=5-10 \text{ г/м}^3$ , а удельная газовая нагрузка на слой  $Q=0,5-1,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{мин}$ , то диапазон значений скорости роста слоя составляет  $\Delta h=1,5-10 \text{ мкм/мин}$ . При интервале времени регенерации, равном 1–2 часа, толщина слоя перед регенерацией составит только долю от толщины фильтрованного материала ( $h_{\text{тк}}=1, 0-4,0 \text{ мм}$ ). То, что слой пыли формируется непосредственно на поверхности ткани и то, что при регенерации частично удаляется пыль из каналов ткани, свидетельствует о существенном влиянии фильтровального материала на свойства отряхиваемого слоя, в том числе на электрические характеристики.

### 3. Электрические характеристики

Рассчитаем электрические характеристики слоя, который образуется при осаждении заряженного аэрозоля на фильтровальный материал после регенерации. Схема формирования слоя представлена на рис. 2. Слой частично формируется в каналах и на поверхности фильтровального материала. На схеме представлена также арматура каркаса, который поддерживает рукав и может оказывать влияние на структуру поля вблизи слоя и на стекание заряда со слоя. Реальной схеме формирования слоя соответствуют два предельных случая: изолированный слой (рис. 2а) и слой на заземленном электроде (рис. 2б).

Заданы: удельная газовая нагрузка  $Q$ , массовая концентрация частиц  $Z$ , средний радиус  $a$  и заряд  $q$  частиц.

При определенном времени  $t_{cl}$  в соответствии с (5) толщина слоя составляет  $h_{cl}$  и он накапливает заряд, равный

$$q_{cl} = \frac{3qh_{cl}K_{yn}}{4\pi a^3} \quad (6)$$

Для изолированного слоя напряженность равна нулю в центре слоя и максимальна на границе:

$$E = \frac{q_{cl}}{2\epsilon_0} = \frac{3qh_{cl}K_{yn}}{8\pi\epsilon_0 a^3} \quad (7)$$

Для слоя на заземленном электроде напряженность равна нулю у поверхности слоя и максимальна у электрода:

$$E = \frac{q_{cl}}{\epsilon_0} = \frac{3qh_{cl}K_{yn}}{4\pi\epsilon_0 a^3} \quad (8)$$

Если учесть, что слой характеризуется некоторой объемной эквивалентной проводимостью  $\gamma_v$  и, соответственно, эквивалентной относительной проницаемостью  $\epsilon_{cl}$ , то распределение напряженности в слое на заземленном электроде можно определить из уравнения неразрывности для плотности тока:

$$\gamma_v E + \epsilon_0 \epsilon_{cl} \frac{dE}{dt} = j = const \quad (9)$$

$$\text{где } j = \frac{3QZq}{4\pi\gamma_{yd}a^3}$$

Решением уравнения (9) является

$$E = \frac{j}{\gamma_v} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h-x}{\Delta h \cdot \tau}\right) \right] \quad (10)$$

$$\text{где } \tau = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{cl}}{\gamma_v}, \quad x \leq h_{cl}$$

На рис. 3 представлены рассчитанные по (7) и по (8) значения максимальной напряженности на границе слоя в зависимости от радиуса частиц и толщины слоя. Принято, что заряд частиц соответствует заряду, приобретенному в поле коронного разряда при напряженности  $E_{3\text{ф}}=3 \text{ кВ/см}$ :

$$q = 4\pi\epsilon_0 a \left[ 3aF + 7 \frac{D}{K} \right]$$

Расчетные данные свидетельствуют о больших возможных значениях напряженности на границе слоя

уже при толщине слоя менее 100 мкм и, тем более, при его росте до 300–500 мкм.

Имеет место сильная зависимость напряженности от радиуса частиц. При  $a > 2,5 \text{ мкм}$  она обратно пропорциональна первой степени радиуса, а при  $a \leq 0,7 \text{ мкм}$  – квадрату радиуса.

В комбинированном электрофилт্রে рукавный филтър работает с хвостовыми фракциями золы и поэтому, как правило, средний радиус частиц составляет менее 2,5 мкм. Таким образом, для этих условий характерны высокие значения напряженности на границе слоя.

В реальных условиях структура поля в слое и тканевом филт্রে соответствует схеме рис. 2 и может приближенно оцениваться как промежуточная между моделями а) и б) (рис. 2). На рис. 3б возможные значения напряженности соответствуют заштрихованным областям. Верхние и нижние граничные значения различаются в 2 раза.

Рассмотрим влияние проводимости на распределение напряженности в слое, что отражается формулой (10).

Максимальная напряженность ( $x=0$ )

$$E_m = \frac{j}{\gamma_v} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h}{\Delta h \cdot \tau}\right) \right] \quad (11)$$

Зависимость постоянной времени слоя  $m$  от удельной электропроводности слоя частиц  $y_v$  представлена в табл. 1. Принято, что  $\epsilon_{\text{слоя}} \approx K_{\text{ун}} \cdot \epsilon_{\text{част}} = 2$ .

При сопоставлении постоянной времени слоя  $\tau$  с интервалом времени регенерации ткани  $t_{\text{рег}}$ , можно выделить три характерные области.

Первая ( $y_v > 10^{-11} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ )  $\tau \ll t_{\text{рег}}$  – заряд перетекает на границы слоя или стекает при наличии контакта с электродом.

Переходная область ( $10^{-11} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} > y_v > 10^{-14} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ ) –  $\tau \approx t_{\text{рег}}$  – промежуточное распределение напряженности.

Третья область соответствует частицам – хорошим диэлектрикам ( $y_v > 10^{-14} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ ).

Распределение напряженности в слое на заземленном электроде представлено на рис. 4 для указанных трех областей. Учитывая большие значения интервала времени регенерации ткани можно отметить, что заряд сохраняется в объеме слоя только для диэлектриков с  $y_v > 10^{-14} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ .

Заряд может сохраниться на слое во всех случаях, если отсутствует или чрезвычайно мала утечка со слоя через структуру ткани.

#### 4. Разрядные процессы в слое

Рассмотрим разрядные процессы в слое, если распределение заряда сохраняется, и в слое реализуются высокие значения напряженности поля.

Разряды в слое похожи на частичные разряды, которые обычно наблюдаются в газовых включениях в высоковольтной изоляции. Убедительное доказательство существования частичных разрядов задолго до пробоя слоя получено регистрацией свечения с помощью ФЭУ, расположенного под прозрачным электродом. О том, что частичные разряды не распространялись на весь слой, свидетельствует отсутствие тока ФЭУ, расположенного под слоем.

В части слоя, где происходят ионизационные процессы, распределенный заряд частично или полностью нейтрализуется, что приводит к выравниванию напряженности в этой области. Распределение напряженности во всем слое приобретает близкую к трапециидальной форму. При дальнейшем росте толщины слоя размеры зоны частичных разрядов возрастают, а напряженность в ней снижается в соответствии с общей тенденцией снижения разрядной напряженности с увеличением расстояния.

В электрофилтрах развитие ионизационных процессов в слое приводит к возникновению обратного коронного разряда. Следует иметь в виду, что в электрофилтрах разрядные процессы в слое протекают значительно интенсивнее из-за подзарядки слоя током коронного разряда. Условия возникновения обратной короны связываются с пробоем слоя, который характеризуется значением пробивной напряженности  $E_{\text{пр}}$ .

Пробивная напряженность для порошковых слоев определяется экспериментально с помощью положительного плоского электрода. На рис. 5 представлены обобщенные экспериментальные результаты многих исследований пробивной напряженности порошковых слоев. При относительно слабой зависимости пробивной напряженности от дисперсного состава эти данные можно отнести к диапазону размеров частиц 5–150 мкм. Наиболее сильное влияние на  $E_{\text{пр}}$  оказывают толщина слоя и объемная эквивалентная проводимость слоя. Интересно сопоставить пробивную напряженность слоя с пробивной напряженностью соответствующего воздушного промежутка с однородным полем по кривой Пашена:

$$E_{\text{пр}} = A\delta + B\sqrt{\frac{\delta}{h_{\text{сн}}}} \quad (12)$$

где  $A = 2,1 \text{ МВ/м}$ ,  $B = 8,5 \cdot 10^2 \text{ МВ/м}^{1/2}$ ;  $\delta$  – относительная плотность воздуха.

Учитывая существенные различия условий, в которых развивается пробой в слое и в воздушном промежутке, совпадение следует признать хорошим.

При интенсивных ионизационных процессах в слое, в нем устанавливается распределение напряженности, близкое к равномерному. Тогда можно записать:

$$\sigma = -\varepsilon_0 \varepsilon_1 E_{np} \quad (13)$$

где  $\delta$  – поверхностная плотность заряда на слое.

Если иметь в виду начальные ионизационные процессы, то эквивалентная поверхностная плотность заряда будет больше

$$\sigma_{эв} = -k \varepsilon_0 \varepsilon_1 E_{np} \quad (14)$$

где  $k$  – коэффициент,  $k > 1$ .

Вместе с тем,  $\sigma_{эв}$  не должна превышать полный заряд слоя, определяемый потоком заряженных частиц на слой, т.е.  $\sigma_{эв} < q_{сл}$ .

Если слой имеет контакт с электродом, то часть заряда слоя стекает на электрод. Для изолированного слоя ионизационные процессы начинаются с внешней поверхности слоя. Часть ионов под действием поля слоя инжектируется в воздушное пространство над слоем.

На рис. 36 нанесена зависимость  $E_{np} = f(h_{сл})$ , которая ограничивает напряженность в слое по условию пробоя. Формирование слоя заряженных частиц в отличие от незаряженных частиц, как уже отмечалось ранее, происходит таким образом, что при приближении частиц к слою и при осаждении частицы испытывают отталкивающее действие уже находящихся на слое частиц. Поэтому образуется рыхлый слой.

Хотя многими работами показана более высокая эффективность захвата тканевыми фильтрами заряженных частиц, то, что образуется более рыхлый слой и уменьшается гидравлическое сопротивление при одной и той же пылеемкости ткани определено в основном только качественным физическим анализом. Изучение поверхностных слоев, полученных в системах рекуперации порошковых полимерных материалов при электростатическом напылении, свидетельствует о более рыхлой структуре униполярно заряженных порошковых слоев.

Фирмой American Precision Industries разработан опытный фильтр Arifton, в котором частицы размером 3+7 мкм сначала заряжаются в поле коронного разряда, а затем подаются в рукавный фильтр из фетра Номекс. В центре рукавов были расположены электроды, находящиеся под высоким потенциалом и создающие в пространстве внутри рукава электростатическое поле [8]. Благодаря применению высокого напряжения и зарядке частиц удалось при одном и том же гидравлическом сопротивлении увеличить скорость фильтрации в 4 раза. Сравнительные показатели фильтра Arifton и других пылеулавливающих аппаратов представлены в табл. 2. Удельный объем означает отношение объема аппарата к производительности по газу, удельная мощность — отношение потребляемой мощности к производительности.

Данные таблицы показывают, что фильтр Arifton при более высокой степени очистки имеет габариты в три раза меньше, чем электрофильтр, и почти в два раза меньше, чем стандартный рукавный фильтр.

Наиболее интересными по результатам являются исследования, проведенные в НИИОГАЗ [9, 10]. После зарядного устройства пылевой поток поступает на очистку в фильтр, содержащий сменный фильтрующий элемент. Перед ним устанавливалась электродная система, создающая либо электростатическое поле, либо поле коронного разряда у поверхности фильтрующего элемента. Среднемассовый заряд частиц рассчитывался по измеренным значениям массы уловленной пыли и напряжению на конденсаторе, включенном в цепь фильтрующего элемента. Средний размер частиц составлял 5 мкм. В качестве фильтрующего материала использовалась металлическая ткань С 120х1300 ГОСТ 3137-67 (диаметр нитей: 250 мкм - основа и 150 мкм - уток), а также иглопробивной материал из лавсана. Объемная удельная проводимость иглопробивного материала из лавсана составила  $0,33 \cdot 10^{-12} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ .

Во всех экспериментах скорость фильтрации поддерживалась постоянной и равной 2,0 м/мин. Пыль на фильтрующем материале накапливалась в количестве, создающем гидравлическое сопротивление 200 мм вод. ст. Эксперименты проводились при отсутствии подзарядки частиц и при зарядке их в поле отрицательной униполярной короны и в поле короны переменного тока.

Как показывают результаты экспериментов, подзарядка частиц кварцевой пыли в поле отрицательной короны перед фильтрацией на металлической ткани увеличивает пылеемкость на 37% и уменьшает проскок пыли в 2,3 раза. Зарядка частиц и наложение электрического поля напряженностью 4 кВ/см повышает пылеемкость в 3,15 раза и снижает проскок в 5,8 раза.

Одновременно изменяется структура слоя пыли. Фотографии слоя свидетельствуют, что при подзарядке частиц и осаждении в электростатическом поле  $E=4$  кВ/см слой пыли получается более рыхлый, чем при отсутствии подзарядки. На фотографии отчетливо видны неоднородности поверхности слоя и ветвистые образования, так называемые «дендриты», характерные для осаждения заряженных частиц на поверхность пористых материалов в электрическом поле. При фильтрации заряженной пыли в поле отрицательной ко-

роны напряженностью 8 кВ/см, пылеемкость увеличилась только в 2,6 раза. Слой пыли получился более плотным, чем при осаждении частиц в электростатическом поле. Это непосредственно связано с накоплением на слое заряда из-за тока короны на слой. Силы взаимодействия прижимают слой к поверхности металлической ткани. Для иглопробивного материала зарядка частиц перед фильтрацией привела к увеличению пылеемкости на 17% и уменьшению в 1,5 раза проскока. Наложение дополнительного электрического поля увеличивает на 55% пылеемкость и снижает проскок частиц на 40%.

В целом, зарядка частиц и наложение дополнительного поля повышают степень очистки и уменьшают гидравлическое сопротивление слоя, таким образом, благоприятно влияя на работу тканевого фильтра. Относительно малое улучшение показателей работы лавсанового фильтра по сравнению с фильтром из металлической ткани объясняется тем, что и при отсутствии подзарядки лавсановый фильтр обеспечивает высокие показатели. Степень очистки превышает значения для металлического фильтра, то же самое и в отношении пылеемкости. Более высокая пылеемкость лавсанового фильтра определяется рыхлой структурой слоя, поскольку силы взаимодействия с металлической основой существенно больше, чем с лавсановым материалом, обладающим относительно невысоким диэлектрическим материалом.

### 5. Электрическая регенерация фильтровального материала

Формирование слоя заряженных частиц на фильтрованном материале открывает возможность применить как метод регенерации наряду с импульсной продувкой и другими газодинамическими методами метод электрической регенерации. Такой метод предлагается в данной работе и на него подана заявка на получение патента РФ.

Для осуществления электрической регенерации используется каркас (рис. 2), который изолируется от корпуса и других заземленных частей и на который при регенерации подается напряжение, по знаку совпадающее со знаком заряда слоя и частиц, находящихся в порах фильтровального материала. При отключении секции тканевого фильтра осаждение частиц под действием основного газового потока прекращается и в обратном направлении (как при импульсной продувке) начинает действовать электрическая сила, которая сбрасывает с поверхности фильтровального материала отдельные элементы слоя, агрегаты и частицы. Привлекательность электрической регенерации заключается в том, что электрическая сила действует на другие элементы слоя, чем газодинамическая продувка. Если в первом случае газ прорывается через каналы в пористой структуре, то электрическая сила действует на весь объем слоя. Конечно, следует иметь в виду, что для заряженного слоя и сама импульсная продувка проходит более эффективно из-за рыхлой структуры заряженного слоя.

Оценим возможные значения удельной электрической силы (давления) действующей на слой. Примем, что поле системы регенерации составляет  $E_{рег}=5$  кВ/см, а заряд частицы получают в поле коронного разряда напряженностью  $E_{зр}=3$  кВ/см. На рис. 6 представлены зависимости давления  $F=E_{рег} \cdot q_{сл}$  от толщины слоя  $h_{сл}$  при различных значениях среднего радиуса частиц. Видим, что удельная электрическая сила приблизительно обратно пропорциональна радиусу частиц при  $a \geq 1$  мкм и растет пропорционально толщине слоя  $h_{сл}$ . Как следует из рис. 6, электрическое давление на слой соизмеримо с перепадом давления на слое (гидравлическим сопротивлением) в режиме осаждения, особенно, если средний радиус частиц составляет 5 мкм и менее.

Необходимо отметить, что реальные заряды частиц могут быть существенно больше, чем это принято при расчетах: как за счет более высоких значений напряженности в промежутке электрофильтра (до 3,5 кВ/см), так и за счет подзарядки частиц у коронирующего электрода ( $K_3=1,2-1,3$ ).

На рис. 6 нанесен ограничивающая кривая 5, рассчитанная по условию пробоя слоя. Видно, что микро-разрядные процессы и пробой слоя приводят к уменьшению возможного давления на слой. Однако, учет того обстоятельства, что значения  $E_{пр}$  получены по кривой Пашена для равномерного поля, а реальное распределение близко к линейному, свидетельствует о заниженных значениях давления. Разрядка слоя, как указывалось ранее, так же может ограничивать заряд слоя. В связи с этим предлагается усовершенствование системы электрической регенерации.

Обратимся снова к рис. 2. Металлический каркас тканевого фильтра для каждого рукава представляет собой цилиндр диаметром 132 мм, который состоит из колец, расположенных на расстоянии 200 мм друг от друга, соединенных восемью равномерно распределенными по окружности колец стержнями. Все эти элементы изготавливаются из прутка диаметром 4,0 мм. Таким образом, ячейка каркаса имеет размер 200x52 мм. Но этот размер представляется слишком большим, чтобы поле такой структуры могло эффективно воздействовать на слой.

Разместим по высоте, в каждой ячейке по два кольца из провода диаметром примерно 0,3–1,0 мм. Тогда получаются ячейки размером 50 x 52 мм. При подаче напряжения на каркас  $U > U_0$  у поверхности проводов возникает коронный разряд и происходит осаждение ионов на фильтровальный материал. В результате возникает дополнительное давление на фильтровальный материал и слой, вызывающие их перемещение.

Изменение полярности напряжения интенсифицирует колебания материала и слоя, так как в первый мо-

мент после изменения полярности направление давления меняется на противоположное, а далее, из-за изменения полярности заряда оно восстанавливается. Таким образом, применение знакопеременного питания каркаса вызывает колебательные движения фильтровального материала и способствует его регенерации.

Для того чтобы оценить реальные значения напряженности при воздействии поля каркаса на заряженный слой и фильтровальный материал, был произведен расчет электростатического поля. Описанная выше система проводников, образующих каркас, представлена на рис. 7. Для расчета электростатического поля использован метод эквивалентных зарядов. Кроме центральной части каркаса, состоящий из ячеек размером 200 x 52 мм учитывались по одной дополнительной секции с каждой стороны (рис. 7).

Для каждой из расчетных точек, указанных цифрами на рис. 7, построены распределения напряженности поля по нормали к поверхности электродов по направлениям I-I и II-II (рис. 8). Отметим, что координата  $g$  отсчитывается от оси электродов, поэтому поверхности основных стержней и колец соответствует  $g=2$  мм, а тонким кольцам –  $g=0,5$  мм. Распределения поля в случаях, когда установлены одно или три дополнительных тонких кольца, представлены на рис. 9. Во всех случаях на каркас подано напряжение 50 кВ.

Как видно из рис. 8 и 9, напряженность поля вблизи поверхности электродов  $\varnothing$  4мм составляет от 7 кВ/см до 1,0 кВ/см. Наибольшие значения соответствуют внешней стороне каркаса. Поле быстрее спадает внутри каркаса, чем снаружи. При установке тонких дополнительных колец в целом поле становится более однородным. С тонких колец возникает коронный разряд, так как  $E > E_0 = 71,5$  кВ/см. Таким образом, при напряжении 50 кВ усилия, действующие на слой и фильтровальный материал, примерно соответствуют значениям, указанным на рис. 6 (с учетом ограничений по условию пробоя в слое). Они могут превосходить эти значения с учетом действия коронного разряда.

### 6. Заключение

Предложенный в последнее время комбинированный электрофильтр, состоящий из собственно электрофильтра и тканевого фильтра, на входе имеет преимущества перед обычным электрофильтром при улавливании пылей с неблагоприятными электрическими свойствами и при особо жестких требованиях к чистоте газов на выходе аппарата. Тканевый фильтр при этом улавливает заряженные в электрофильтре частицы, что способствует интенсификации осаждения частиц в фильтровальном материале и улучшает условия его регенерации. Предварительные исследования и расчеты подтверждают это.

Для улучшения качества регенерации тканевого фильтра предлагается использовать в дополнение к импульсной обратной газовой продувке использовать электрическую регенерацию фильтровального материала. Дальнейшие исследования будут направлены на поиск новых путей улучшения работы тканевого фильтра за счет использования подзарядки частиц и электрического воздействия на слой.

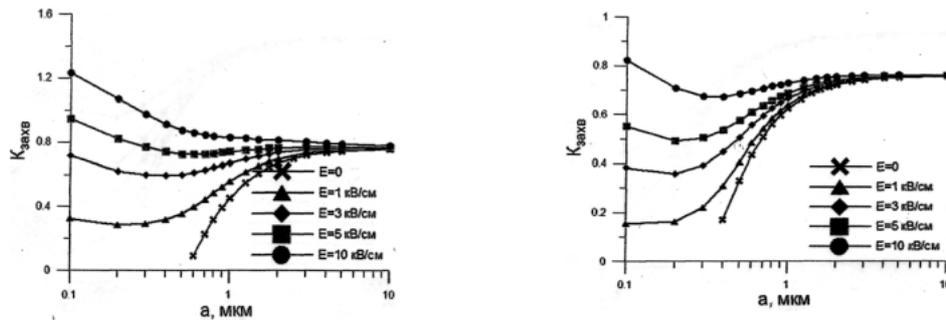


Рис. 1. Зависимости коэффициента эффективности захвата частиц от их радиуса  $a$  при различных значениях скорости потока воздуха  $v_{0 ном}$  и напряженности электрического поля  $E_0$ : а -  $v_{0 ном} = 0,2$  м/с; б -  $v_{0 ном} = 0,5$  м/с;  $q=q_{max}$ ,  $R_0=500$  мкм,  $b=10R_0$ .

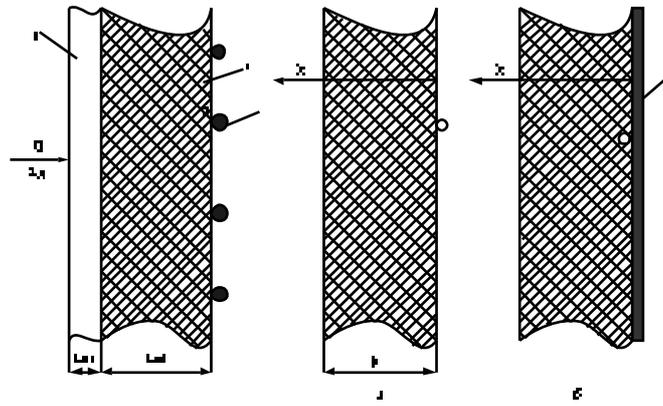


Рис. 2. Схема формирования слоя на фильтровальном материале: 1 – фильтровальный материал; 2 – каркас; 3 – слой; 4 – электрод; а – б – в –

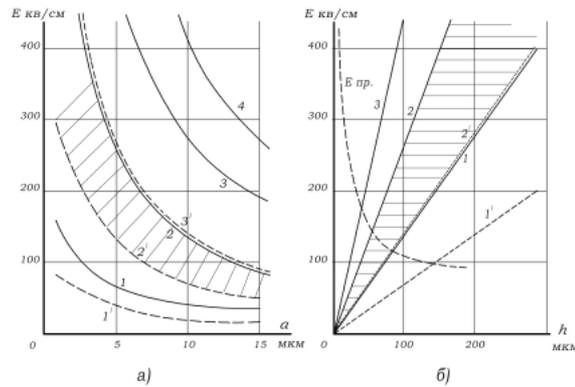


Рис. 3. Зависимости максимальной напряженности на границе слоя: а) От радиуса частиц. 1-1<sup>1</sup>-h<sub>сл</sub> = 95,0 моль; 2-2<sup>1</sup>-h<sub>сл</sub> = 100 моль; 3-3<sup>1</sup>-h<sub>сл</sub> = 200 моль; 4-4<sup>1</sup>-300 мкм. б) От толщины слоя. 1-1<sup>1</sup>-α = 10 мкм, 2-2<sup>1</sup>- α = 5 мкм, 3-3<sup>1</sup>- α = 2,5 мкм; 4 – ограничение по E<sub>пр</sub> K<sub>уп</sub> = 0,5; заряд q<sub>max</sub> соответствует E<sub>зар</sub> = 3 кв/см. Цифры со штрихами – изолированный слой (7), цифры без штрихов – слой на электроде (8).

Таблица 1. Значения постоянной времени и слоя

$\gamma_v$ (Ом·м)	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$	$10^{-12}$	$10^{-13}$	$10^{-14}$	$10^{-6}$
$\tau$ (с)	$1,8 \times 10^3$	$1,8 \times 10^2$	0,18	1,8	18	180	$1,8 \times 10^3$	$1,8 \times 10^5$

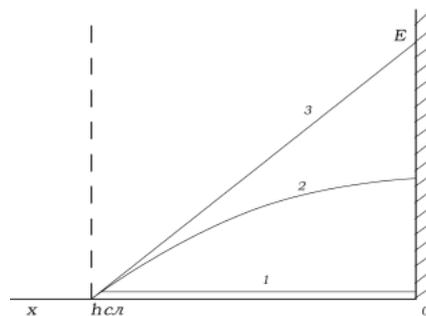


Рис. 4. Распределение напряженности в слое при различной удельной электропроводности 1 –  $\tau \ll t_{per}$ ; 2 –  $\tau \approx t_{per}$ ; 3 –  $\tau \gg t_{per}$ .

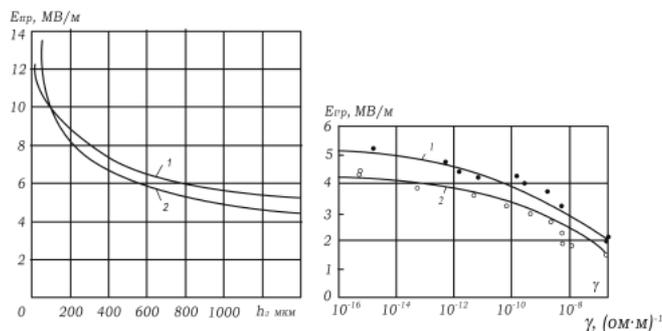


Рис. 5. Зависимость проивной напряженности порошковых слоев от:  
 а) толщины слоя при  $\gamma_v < 10^{-14} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$ .  
 1 – аппроксимация экспериментальных данных; 2 – расчет по формуле.  
 б) удельной электропроводности 1 –  $h = 1 \text{ мм}$ ; 2 –  $h = 2 \text{ мм}$ .

Таблица 2. Сравнительные показатели некоторых типов пылеуловителей

Тип Пылеуловителя	Удельный объем апп. $\text{м}^3/\text{м}^3/\text{мин}$	Степень очистки %	Удельная мощность $\text{кВт}/\text{м}^3/\text{с}$
Фильтр «Apitron»	30	99,99	1,8
Электрофильтр	90	99,8	0,48
Рукавный фильтр	50	99,9	1,44
Скруббер	80	98	4,8

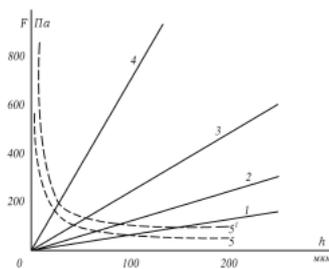


Рис 6. Зависимости давления, действующего на слой при электрической регенерации (при  $E=5 \text{ кВ}/\text{см}$ ) от толщины слоя. Зарядка частиц соответствует  $E_{\text{зар}}=3 \text{ кВ}/\text{см}$ ; 1- $a=10 \text{ мкм}$ ; 2- $a=5 \text{ мкм}$ ; 3- $2,5 \text{ мкм}$ ; 4- $a=1 \text{ мкм}$ ; 5 - ограничение по условиям пробоя слоя,  $5^1$  - наибольшие возможные значения давления с учетом увеличения  $E_{\text{пр}}$ .

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов/Под ред. Чекалова Л.В. «Русь», Ярославль, 2004.
2. Чекалов Л.В., Ткаченко В.М., Громов Ю.И. Пылеулавливающий аппарат. Патент на изобретение РФ №2248837 с приоритетом от 30.04.2004 г.
3. Brown R.C. Air filtration. Pergamon Press, 1993.
4. Davies C.N. Air filtration. Academic Press. London, New York, 1973.
5. Горячев И.К., Рябчиков С.Я. Фильтры рукавные. Современные тенденции развития и новые области применения. М., ЦИНТ ИХИМНЕФТ ЕМАШ 1987.
6. Балашов Е.В., Викторов А.Н., Володина Е.В. и др. Результаты комплексных исследований установки для обеззараживания газовой среды орбитальных космических станций//Авиакосмическая и экологическая медицина. М., 1996. Т. 30, № 6. С. 37–42.
7. Дымовые электрофильтры/Левитов В.И., Решидов И.К., Ткаченко В.М. и др. Под общ. ред. Левитова В.И. М., Энергия, 1980.
8. Apitron a new baghouse filter system. «Phosphorous and Potassium», 1977 № 88, p. 39.
9. Сербин А.Н., Сыч Н.А. Влияние электростатических зарядов ткани на эффективность пылеудержания и регенерации. «Промышленная и санитарная очистка газов». № 2, 1978.
10. Антонов В.Н. Исследование эффективности улавливания тканевым фильтром предварительно заряженных аэрозолей. Отчет по НИР, НИИОГАЗ, 1981 г.

## Пылеуловитель передвижной кассетный ППК-10

Работы по созданию высокоэффективных пылеулавливающих систем и аппаратов в последние годы были в большей мере ориентированы на очистку больших объемов запыленных газов. В результате были разработаны и поставлены на промышленное производство газоочистительные аппараты способные очищать сотни тысяч кубических метров в час технологических газов, образующихся при работе сталеплавильных печей, сажевых реакторов, цементных печей и мельниц и т.п.

Проблема очистки воздуха малых аспирационных систем (участков пересыпки, транспортировки, сварки, пайки, резки, распиловки, заточки, пескоструйной обработки и т.п.) остается до настоящего времени решенной в недостаточной степени. В связи с этим создание универсальных высокоэффективных малогабаритных пылеуловителей является актуальной задачей. Перспективным направлением при создании таких аппаратов является использование метода фильтрации с применением в конструкции компактных фильтровальных элементов. В ОАО «СФ НИИОГАЗ» разработан передвижной кассетный пылеуловитель ППК-10 на базе ячейкового тканевого фильтра. Проведенные испытания в стендовых условиях при очистке воздуха запыленного золой подмосковного каменного угля подтвердили возможность применения ППК-10 в аспирационных системах с объемом очищаемого воздуха до 1000 м<sup>3</sup>/час.

Передвижной пылеуловитель состоит из следующих основных узлов (см. рис. 1):

- 1 – корпус прямоугольной формы;
- 2 – крышка камеры чистого газа;
- 3 – узел регенерации фильтровального материала;
- 4 – фильтровальная кассета;
- 5 – тягодутьевое устройство (вентилятор с электродвигателем);
- 6 – платформа с роликами;
- 7 — пылесборник.

Корпус аппарата изготовлен из элементов гнутого профиля. В верхней части корпуса имеется патрубок с фланцем для подсоединения к пылезаборному устройству. Корпус разделен на камеры чистого и запыленного газа. Камера чистого газа соединена с вмонтированным в корпус тягодутьевым устройством, позволяющим работать в автономном режиме на небольших удельных газовых нагрузках на фильтровальный материал.

При работе на повышенных газовых нагрузках, позволяющих повысить производительность, аппарат подсоединяется к внешнему стационарному вентилятору через штуцер, предусмотренный в нижней части корпуса. При этом, установленный в корпусе вентилятор демонтируется, или вход в него перекрывается заглушкой (см. рис. 2). Корпус аппарата в верхней его части закрыт крышкой, закрепляемой на корпусе с помощью 4-х застёжек. Пылесборник, представляющий собой емкость выполненную из листового металла, герметично крепится в нижней части корпуса с помощью эксцентрикового устройства. Фильтровальная кассета содержит 10 м<sup>2</sup> нетканого иглопробивного фильтровального материала, установлена в корпусе между камерами запыленного и чистого газа и герметично уплотнена с помощью прокладки и 4-х прижимов.

Фильтровальный материал в кассете образует объемную структуру в виде ячеек для чистого и запыленного газа. Ячейки для чистого газа закрыты в нижней части, ячейки для запыленного газа – в верхней части кассеты. Изготовление фильтровальных элементов для кассет выполняется на специальном стенде [1]. В качестве фильтровального материала обычно используется иглопробивное нетканое лавсановое полотно [2]. Узел регенерации состоит из воздухораспределительных труб, электропневматического клапана и прибора управления регенерацией.

Электропневматический клапан может быть установлен или непосредственно на раздающей трубе пылеуловителя или отдельно от ППК-10, на линии сжатого воздуха и подсоединяется к пылеуловителю лишь на время регенерации кассеты.

Принцип работы передвижного кассетного пылеуловителя ППК-10 аналогичен работе стационарных кассетных фильтров типа ФКИ [3]. Пылегазовый поток поступает в камеру запыленного газа через входной патрубок, движется вниз корпуса, огибает вертикальную перегородку и распределяется по ячейкам фильтровальной кассеты. В процессе фильтрования пыль осаждается на материале кассет, очищенный воздух выходит в камеру очищенного газа и отводится из пылеуловителя через патрубок. При достижении определенного, заранее заданного, сопротивления, по команде управляющего устройства или вручную подается сигнал на пневмораспределитель установленный на пневмоклапане. Сжатый воздух из магистральной трубы через отверстия остронаправленными струями поступает в открытые полости ячеек. Происходит продувка фильтровальной перегородки сжатым воздухом и воздухом эжектируемым из камеры чистого газа. Длительность пневматического импульса равна 0,2–0,4 сек.

Отличительной особенностью пылеуловителя является возможность быстрого его перемещения для подключения к другой аспирационной линии и возможность проведения регенерации фильтровального материала вне зоны его основной работы. При оснащении передвижного пылеуловителя более мощным тягодутьевым устройством он может быть использован в качестве пылесоса для уборки производственных помещений. С целью выявления оценочных технических характеристик пылеуловителя были проведены стендовые исследования по определению фильтровальных и регенерационных свойств при различных технологических параметрах его работы.

Исследования эффективности пылеулавливания и регенерируемости малогабаритного передвижного пылеуловителя подключенного к внешнему вентилятору проведены на четырех удельных газовых нагрузках на фильтровальный материал: 420 м<sup>3</sup>/час, 600 м<sup>3</sup>/час, 750 м<sup>3</sup>/час, 900 м<sup>3</sup>/час. Испытания проводились на пыли золы каменного угля. При входной запыленности воздуха в пределах 2-6 г/м<sup>3</sup> запыленность воздуха на выходе из аппарата не превышала значения 0,003 г/м<sup>3</sup>.

Остаточное гидравлическое сопротивление аппарата при удельной газовой нагрузке равной 1 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>мин. после регенерации находилось в пределах 40-50 мм вод. ст.

Длительность цикла фильтрации при входной концентрации воздуха 2-6 г/м<sup>3</sup> и удельной газовой нагрузке на фильтровальный материал равной 0,7 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>мин равнялась примерно 3 часам. Для регенерации фильтровального материала использовалось давление сжатого воздуха 5кг/см<sup>2</sup>. Гидравлическое сопротивление аппарата при работе на чистом воздухе находилась в пределах 10-20 мм. вод. ст. Подсосы в период испытаний находились в пределах 5-6 %. При проведении испытаний в течении двух месяцев не было отмечено существенных нарушений в работе узлов и деталей аппарата. При работе в автономном режиме с производительностью 180 м<sup>3</sup>/час эффективность пылеулавливания практически равнялась 100 %.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горячев И.К. Компактные фильтровальные элементы аспирационных фильтров и способы их изготовления //Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2002, № 6.
2. Горячев И.К. Выбор фильтровальных материалов для аспирационных рукавных фильтров //Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2002, № 12.
3. Горячев И.К. Промышленные кассетные фильтры типа ФКИ //Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1999, № 6.

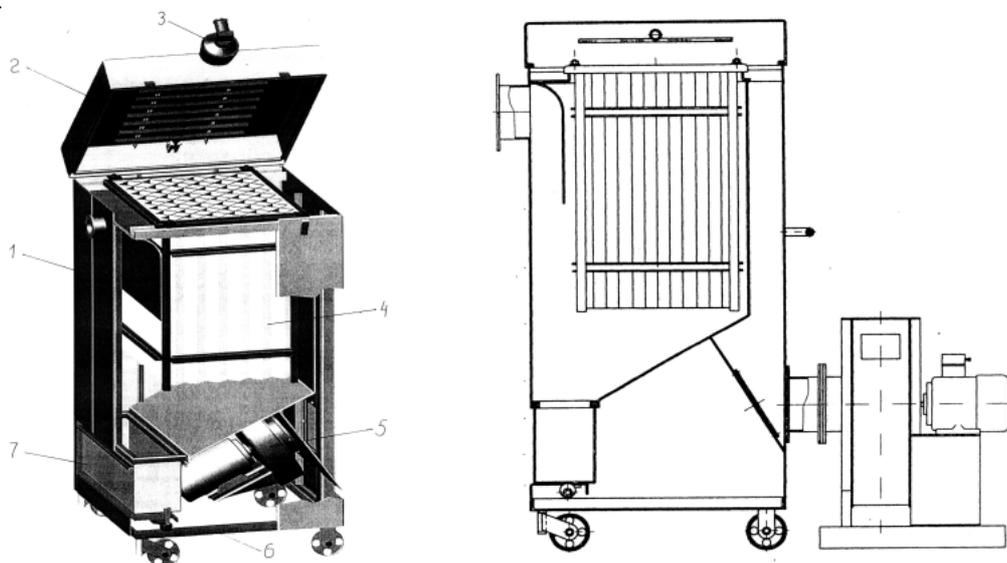


Рис. 1. Пылеуловитель передвижной кассетный ППК-10

Рис. 2. Пылеуловитель передвижной ППК-10 с внешним вентилятором

В.С.Корягин, В.И.Бубнов

### Опыт внедрения фильтров типа ФРИА для очистки электролизных газов в алюминиевой промышленности

В результате тесного сотрудничества с институтом ВАМИ в Семипалатинском филиале НИИОГАЗ в конце 80-х годов прошлого столетия на базе комплекса научно-исследовательских и проектных работ для схем «сухой» очистки электролизных газов от взвешенных и газообразных вредных веществ был разработан специальный фильтр типа ФРИА-900.

Конструкция фильтра ФРИА-900 создавалась на основе накопленного к тому времени в СФ НИИОГАЗ большого опыта по разработке рукавных фильтров с импульсной продувкой общепромышленного применения, таких как фильтры ФРКН, ФРКИ, ФРИ, фильтров с обратной продувкой типа ФРО, а также технологических требований института ВАМИ, учитывающих мировые тенденции и достижения, а также опыт применения схем «сухой» адсорбционной очистки электролизных газов как за рубежом, так и на отечественных алюминиевых заводах.

В фильтре ФРИА-900 (рис.1) был применен ряд технических решений, позволяющий учитывать специфику технологии адсорбционной очистки электролизных газов, повышающих эффективность и надежность фильтра, и тем самым, выгодно отличающий этот фильтр от фильтров общепромышленного применения:

- в фильтре был применен специально разработанный мембранный быстродайствующий клапан  $D_{\text{к}}80$  большой производительности;
- в фильтре для регенерации фильтровальных рукавов используется сжатый воздух с избыточным давлением 0,2 МПа;
- корпус фильтра включает в себя реакторную газоподводящую часть;
- в фильтре предусмотрены длинномерные фильтровальные рукава при односторонней их продувке сжатым воздухом;
- в фильтре предусмотрена кассетная компоновка фильтровальных рукавов;
- в фильтре применен бункер с аэрожелобом для выгрузки уловленной пылегазоземной смеси.

Первые два фильтра ФРИА-900 были введены в эксплуатацию в 1989 году в составе опытной газоочистной установки опытно-промышленного корпуса (ОПК) Саянского алюминиевого завода и без существенных изменений эксплуатировались до 1997 года. В 1997 году, в связи с увеличением мощности ОПК, была проведена модернизация опытной газоочистной установки, направленная в основном на совершенствование АСУ ТП, замену тягодутьевого и компрессорного оборудования.

На основе положительного опыта эксплуатации фильтров ФРИА-900 в ОПК САЗа и результатов научно-исследовательских и проектных работ, в ОАО «СФ НИИОГАЗ» был разработан типоразмерный ряд фильтров ФРИА. Типоразмерный ряд включает фильтры ФРИА-400, ФРИА-900, ФРИА-1250, ФРИА-1500, ФРИА-1700, ФРИА-1900. Техническая характеристика фильтров ФРИА приведена в таблице 1.

Рис. 1. Фильтр рукавный ФРИА-900

1. Входной патрубок; 2. Корпус подводящей части; 3. Продольная пластина; 4. Поперечные пластины; 5. Направляющий желоб; 6. Электропневматический клапан; 7. Аэрожелоб; 8. Бункер; 9. Распределительная решетка; 10. Жалюзийная решетка; 11. Фильтрующий блок; 12. Фильтровальный рукав; 13. Заслонка (не показана); 14. Камера чистого газа; 15. Раздающая труба; 16. Ресивер.

Таблица 1  
ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРОВ ФРИА

Наименование параметров	ФРИА-400	ФРИА-900	ФРИА-1250	ФРИА-1500	ФРИА-1700	ФРИА-1950
Производительность по очищаемому газу, м <sup>3</sup> /ч, не более	39200	78500	115000	135000	153000	173700
Поверхность фильтрования, м <sup>2</sup>	435	870	1287	1470	1693	1930
Количество фильтровальных рукавов, шт.	208	416	416	546	624	624
Длина фильтровального рукава, мм	5000	5000	7500	6500	6500	7500
Диаметр фильтровального рукава, мм	135	135	135	135	135	135
Количество пневмоклапанов, шт.	13	26	26	26	26	26
Диаметр пневмоклапана D <sub>к</sub> , мм	80	80	80	80	80	90
Разрежение в фильтре, кПа, не более	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Температура очищаемых газов, °С, не более	200	200	200	200	200	200
Гидравлическое сопротивление, кПа, не более:						
- фильтровальных рукавов	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
- фильтра	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Давление сжатого воздуха для регенерации, МПа	0,22	0,22	0,32	0,32	0,32	0,32
Расход сжатого воздуха для регенерации, м <sup>3</sup> /ч, не более	75	150	210	245	285	335
Установленная мощность, кВт	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Габаритные размеры, мм, не более						
- длина	4800	6944	6898	6898	6898	6898
- ширина	3820	5140	5750	6350	6970	6970
- высота	9200	9500	11830	11290	11660	12650

В фильтрах ФРИА применены технические решения, выгодно отличающие их от других аппаратов аналогичного назначения:

- фильтры ФРИА разработаны в виде модулей, проектно-компонованных в блоки любой производительности;
- фильтры разработаны в виде двух зеркальных исполнений, позволяющих оптимально компоновать их в установках газоочистки;
- фильтры состоят из унифицированных узлов и элементов, освоенных в производстве, что позволяет сокращать сроки разработки любых новых исполнений с учетом предъявляемых требований;
- в фильтрах применены современные высокоэффективные фильтровальные материалы германских фирм BWF и TTL, каркасы для фильтровальных рукавов собственного производства, обеспечивающие высокие надежность фильтровальных элементов и эксплуатационную эффективность фильтра;
- фильтры сертифицированы на соответствие требованиям промышленной безопасности опасных производственных объектов и на их применение получено Разрешение Ростехнадзора;
- фильтры рассчитаны на разрежение в корпусе до 8 кПа и применение в районах со сейсмичностью до 8 баллов;
- конструкция фильтров защищена патентами.

В ОАО «ВАМИ» с использованием фильтров ФРИА разработана отечественная схема «сухой» адсорбционной очистки электролизных газов (рис.2), основу которой составляет очистной блок, состоящий из фильтра ФРИА и реактора-адсорбера.

Разработанная технологическая схема позволяет комплексно решать вопросы дозировки и транспорта

глинозема, высокоэффективной комплексной очистки электролизных газов от загрязняющих веществ и практически полной утилизации уловленных фтористых соединений.

Отечественная технологическая схема на базе фильтров ФРИА достаточно универсальна и может использоваться для очистки газов от электролизеров любого типа, при этом эффективность и надежность оборудования соответствует современным требованиям.

Оценка затрат на создание газоочистных установок показывает, что при использовании отечественных технических решений и отечественного газоочистного оборудования капитальные затраты сокращаются на 30-40%.

В ОАО «ВАМИ» с использованием фильтров ФРИА-400 и ФРИА-900 разработаны и реализованы проекты газоочистных установок для Кандалакшского, Богословского и Красноярского алюминиевых заводов.

В ОАО «СибВАМИ» с использованием фильтров ФРИА-1250 разработаны и реализованы проекты ГОУ для опытного участка «Электролиз-300» Уральского алюминиевого завода, для V серии электролиза Иркутского алюминиевого завода, III серии электролиза Волгоградского алюминиевого завода.

Применение в схемах компоновки ГОУ модулей “реактор-фильтр” позволяет создавать газоочистные установки на любую производительность. При этом производительность очистного модуля также может варьироваться с учетом предъявляемых требований путем использования реакторов и фильтров из предлагаемого типоразмерного ряда.

Так при создании газоочистных установок для Кандалакшского и Богословского алюминиевых заводов были применены блоки фильтров, состоящие из трех фильтров ФРИА-900 (ФРИА-900х3), для реконструкции газоочистных установок корпусов № 5, 6 Красноярского алюминиевого завода – фильтры ФРИА-900, для реконструкции газоочистных установок корпусов № 13, 1, 2, 3, 4 Красноярского алюминиевого завода – блоки фильтров, состоящие из двух фильтров ФРИА-400 (ФРИА-400х2).

При эксплуатации ГОУ, укомплектованных отечественным оборудованием, гарантируются следующие показатели очистки :

- от фтористого водорода – 99,8%
- от твердых фторидов – 99,5%
- от электролизной пыли – 99,5%
- от смолистых веществ,  
в том числе бенз(а) пирена – 97-98 %

Проектные значения показателей действующих “сухих” ГОУ приведены в таблице 2.

Опыт эксплуатации “сухих” ГОУ на Красноярском алюминиевом заводе показал, что установки “сухой” очистки газов корпусов № 5, 6 по эффективности соответствуют самому высокому мировому уровню, а затраты на их сооружение значительно ниже, чем при использовании импортного оборудования.

Средняя эффективность ГОУ № 5-1 и № 5-2, полученная специалистами ОАО «ВАМИ», составила: HF – 99,75%, SO<sub>2</sub> – 60,3%, пыль – 98,8%, смолистые вещества – 99,0%, бенз(а) пирен – 99,4%.

Результаты приемочных испытаний ГОУ блока №1 Кандалакшского алюминиевого завода, выполненных специалистами ОАО «ВАМИ» и ОАО «СФ НИИОГАЗ» в феврале 2003г., показали высокую эффективность очистки газов: HF – 99,8%, Fтв – 99,8%, смолистые вещества – 97,5%.

Результаты повторного обследования ГОУ блока № 1, выполненные в феврале 2003 года, через два года эксплуатации, подтвердили высокий уровень эффективности очистки электролизных газов: концентрация пыли на выходе фильтра - 3ч5 мг/м<sup>3</sup>, эффективность очистки от HF – 99,2%; Fтв - 98,3% смолистых веществ – 97,3%.

Результаты приемочных испытаний газоочистной установки блока № 2 Кандалакшского алюминиевого завода, выполненных в августе 2005 года, показали, что концентрация взвешенных частиц на выходе фильтра составляет 3 мг/м<sup>3</sup>.

Опыт эксплуатации ГОУ 6-ой серии Богословского алюминиевого завода также подтверждает высокую эффективность и надежность фильтров ФРИА. Степень очистки, полученная при испытании ГОУ, составила: HF – 98,5%; пыль – 99,9%; смолистые вещества – 99,65; Fтв – 98,5%.

ОАО «СФ НИИОГАЗ», как разработчик фильтров типа ФРИА, постоянно проводит работу по совершенствованию фильтров. Так для повышения эффективности очистки газов в фильтрах ФРИА для изготовления фильтровальных рукавов используются фильтроматериалы германских фирм WWF и TTL, хорошо зарекомендовавшие себя и позволяющие обеспечить очистку газов, отвечающую экологическим требованиям. С учетом полученных замечаний от монтажных организаций и служб эксплуатации газоочистных установок алюминиевых заводов для повышения монтажной пригодности, эксплуатационной надежности и увеличения срока службы фильтровальных рукавов изменена конструкция проволочных каркасов фильтровальных рукавов (переход с проволоки ш3 мм на проволоку ш4 мм), а так же освоена технология изготовления каркасов из коррозионностойкой стали; доработана конструкция пневмоклапана, в результате чего

примерно в 2 раза увеличен ресурс его работы.

Для повышения производительности фильтров, при практически неизменных их габаритах, в фильтрах ФРИА-1250 и ФРИА-1950 применены фильтровальные рукава длиной 7,5 м.

Первые два фильтра ФРИА-1250 в 2004 году были поставлены на Уральский алюминиевый завод для газоочистной установки опытного участка «Электролиз-300». Фильтры введены в эксплуатацию в мае 2005 года и, как показали испытания, эффективность очистки от HF составляет 99,2-99,7%, концентрация HF на выходе ГОУ (0,21-0,64) мг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, опыт эксплуатации ГОУ с фильтрами ФРИА для электролизеров как с предварительно обожженными, так и самообжигающимися анодами, подтверждает их высокую эффективность и надежность.

В настоящее время в стадии монтажа и пуско-наладки находятся 24 фильтра ФРИА-1250-01 в составе 1-го и 2-го блока газоочистки V серии электролиза Иркутского алюминиевого завода и 4 фильтра ФРИА-1250-01 в составе газоочистной установки III серии электролиза Волгоградского алюминиевого завода.

.

:

:

|

|

## (схема ОАО «ВАМИ»)

Таблица 2

ДЕЙСТВУЮЩИЕ УСТАНОВКИ СУХОЙ ОЧИСТКИ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ ГАЗОВ  
ФИЛЬТРАМИ ФРИА ПО ПРОЕКТАМ ОАО «ВАМИ»

№ п/п	Завод	Тип элек- тро- лизера	Номера корпу- сов	Тип фильт- ра	Год ввода в экс- плуа- тацию	Производи- тельность по газу, м <sup>3</sup> /ч	Степень очистки, %			
							Ф газ.	Фтв.	Смо- листые веще- ства	3,4 бенз/ а/ пирен
1	Канда- лакш- ский алюми- ниевый завод	БТ	Блок №1	ФРИА- 900х3	Декабрь 2002 г.	1 200 000	99,8	99,8	99,9	97,5
2		БТ	Блок №2	ФРИА- 900х3	Август 2005 г.	1 200 000	99,8	99,8	99,9	97,5
3	Бого- словский алюми- ниевый завод	БТ	6-я се- рия элек- тро- лиза	ФРИА- 900х3	Июль 2004 г.	1 700 000	98,5	98,5	95,6	95,6
4	Красно- ярский алюми- ниевый завод	ВТ	5-6 (5- 2)	ФРИА- 900-01	Июль 2002 г.	100 000	>99, 0	>99, 0	98,0	98,0
5		ВТ	5-6 (5- 1)	ФРИА- 900	Май 2003 г.	100 000	>99, 0	>99, 0	97,0	95,0
6		ВТ	13	ФРИА- 400х2	Май 2004 г.	100 000	99,6	99,5	97,0	96,5
7		ВТ	3-4 (ДЗ-2)	ФРИА- 400х2	Апрель 2005 г.	100 000	99,6	99,5	97,0	96,5
8		ВТ	3-4 (ДЗ-1)	ФРИА- 400х2	Июль 2005 г.	100 000	99,6	99,5	97,0	96,5

9		ВТ	1-2 (Д1-2)	ФРИА- 400x2	Июнь 2005 г.	100 000	99,6	99,5	97,0	96,5
10		ВТ	1-2 (Д1-1)	ФРИА- 400x2	Июль 2005 г.	100 000	99,6	99,5	97,0	96,5

С.В.Обичкин, А.Е.Мужичин

## Результаты внедрения и опыт эксплуатации рукавных фильтров модульного типа ФРМИ

Разработанные до 2002 г. рукавные фильтры типа ФРКДИ, ФРКИ, ФРИ и др. предназначались для установок газоочистки, размещаемых в помещениях.

Максимальный объем очищаемых этими аппаратами газов не превышал 150000 м<sup>3</sup>/час.

В конце 2002 г. было принято решение разработать типоразмерный ряд рукавных фильтров нового поколения. Разработка фильтра велась совместными усилиями трех организаций: ЗАО «Кондор-Эко», ЗАО «СФ НИИОГАЗ» и ОАО «Гипрогазоочистка». Руководитель проекта – Ю.И.Громов. Уже к началу 2004 г. такие фильтры были разработаны.

Новые рукавные фильтры типа ФРМИ разработаны с учетом накопленного опыта по эксплуатации отечественных и зарубежных рукавных фильтров и предъявляемых современных требований к их эксплуатации в первую очередь в отраслях теплоэнергетики, цветной и черной металлургии.

Фильтры типа ФРМИ представляют собой набор модулей, которые формируют типоразмерный ряд фильтров с площадью фильтрования от 800 до 16000 м<sup>2</sup>, с расчетной производительностью по очищаемому газу от 70000 до 1380000 м<sup>3</sup>/час. По конструктивному исполнению фильтры ФРМИ могут быть одно- и двухрядного исполнения. Исполнения показаны на прилагаемых рисунках.

. Каждый модуль имеет камеру грязного и чистого газа, которые разделены между собой рукавными плитами. Каждый модуль оснащен пирамидальным бункером. Все бункеры фильтра связаны с опорным поясом, на котором монтируются все корпусные детали модулей.

Бункеры фильтра снабжены механизмом встряхивания, необходимость которого определяется проектом установки.

Между рядами модулей при двухрядной компоновке размещены собирающий и подводящий газоходы переменного сечения. Подводящий газоход служит для подвода запыленного газового потока и раздачи его по модулям через жалюзийные устройства. Собирающий газоход служит для сбора очищенного газа из модулей через жалюзийные устройства и обеспечения выхода газа на дымососы.

Камеры чистого газа модулей и часть пространства над газоходом чистого газа представляют собой шатровую часть фильтра. Внутри шатра между рядами камер чистого газа модулей размещены узлы системы регенерации фильтра: коллекторы, мембранные клапаны, задвижки, диффузоры, пневмоцилиндры с электропневмораспределителями приводов жалюзийных заслонок.

Для очистки газов от пыли в рукавные плиты вставлены фильтровальные элементы, состоящие из каркасов и рукавов. Для обеспечения регенерации рукавов над рукавами установлены раздающие трубы с соплами. Каждая раздающая труба связана с патрубком. Раздающие трубы с патрубками объединены в группы по пять труб и соединены с диффузором, который присоединен к мембранному клапану с условным проходом Ду 150

Подвод сжатого воздуха к мембранным клапанам предусмотрен через коллекторы, служащие ресиверами для сжатого воздуха.

Для обеспечения ремонтных работ мембранных клапанов и работ на узлах модулей предусмотрены задвижки отключения сжатого воздуха с целью безопасности.

При необходимости (например, при замене рукавов) каждый модуль может быть отключен от газового потока по входу и выходу газа.

Для уменьшения абразивного износа рукавов пылегазовым потоком, выходящим из жалюзийных устройств, в зону размещения рукавов установлены распределительные устройства, состоящие из стенки и решетки, расположенных под углом относительно рукавов.

Запыленный газовый поток поступает на вход фильтра. Далее по газоходу вдоль фильтра газовый поток проходит через жалюзийные устройства, попадая в зону размещения рукавов, преодолевая распределительные

тельное устройство, которое разделяет газовый поток примерно на две равные части. Одну часть потока устройство направляет через бункерное пространство на рукава, другую часть – через решетку в вертикальную зону расположения рукавов. На рукавах происходит отделение пыли от газового потока и накопление ее. Очищенный газ из рукавов попадает в камеры чистого газа модулей, из которых через жалюзийные устройства поступает в собирающий газоход и далее на дымосос.

Для восстановления фильтровальной способности рукава периодически подвергаются регенерации импульсами сжатого воздуха, подаваемыми мембранными клапанами.

Управление регенерацией фильтров осуществляется контроллером SIEMENS с возможностью выхода на верхний уровень АСУТП.

Импульсы сжатого воздуха, попадая во внутрь рукавов, отделяют от поверхности рукавов накопленную пыль, которая за счет собственного веса уходит в бункеры фильтра. Далее, через систему пылевых затворов, которые предусматриваются проектом, пыль попадает в систему пылеудаления.

Для обслуживания и ремонта фильтров на бункерах, в камерах чистого газа, на стенках шатра и на газоходе грязного газа предусмотрены люки, двери, крышки.

Специального инструмента, испытательного и другого оборудования в ходе контроля и регулирования, а также по техническому обслуживанию и техническому ремонту фильтра и его составных частей, не требуется.

Конструкция фильтров разработана с учетом повышения надежности узлов регенерации и совершенствования системы управления фильтрами. В этом плане достигнуто сокращение числа исполнительных устройств системы регенерации на единицу площади фильтрования по отношению к серийным фильтрам типа ФРИ-630; 800; 1250; 1600 в 22 раза.

Важной конструктивной особенностью новых фильтров в отличие от серийных является возможность их установки вне зданий с использованием шатрового исполнения верхней части фильтров, являющейся их неотъемлемой составной частью.

Конструкция корпуса и основных узлов фильтров защищены пятью патентами ( № 2179878; № 2179879; № 2207898; № 2283166; № 2283685. Новые решения позволяют исключить влияние скоростных напоров газовых потоков внутри фильтра на износ рукавов и снизить гидравлические потери на 20%.

Первый из типоразмерного ряда рукавный фильтр ФРМИ-9600-12-Д-УХЛ1-ОС был смонтирован в 2006 г. в системе аспирации 125-тонной электродуговой печи ДСП-6 ЭСПЦ-2 ЗАО «Волгоградский металлургический завод «Красный Октябрь».

В системе аспирации воздух отбирается от трех точек:

- от четвертого отверстия печи;
- от межэлектродного пространства (фронтальный зонт);
- от подкрышного зонта.

Смешанный поток воздуха проходит через водоохлаждаемый газоход, боров и газоход с клапаном подсоса атмосферного воздуха, далее через фильтр и дымосос в дымовую трубу.

Характеристики оборудования газоочистки.

Рукавный фильтр ФРМИ-9600-12-Д-УХЛ1-ОС:

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ РУКАВНОГО ФИЛЬТРА ФРМИ-9600-12-Д-УХЛ1-ОС

№ п/п	ПОКАЗАТЕЛИ	Ед. измер.	Величина
1	Объем очищаемых газов,	м <sup>3</sup> /ч	830000
2	Разрежение в корпусе фильтра	кПа	13
3	Температура очищаемого газа на входе в фильтр	°С	130
4	Запыленность газов на входе в фильтр	г/м <sup>3</sup>	до 50
5	Запыленность газов на выходе из фильтра	мг/м <sup>3</sup>	≤ 20
6	Гидравлическое сопротивление фильтра	Па	2000
8	Расчетная площадь фильтрования	м <sup>2</sup>	9209,2
9	Количество модулей	шт	12
10	Количество секций	шт	24
11	Количество мембранных клапанов	шт	48
12	Количество жалюзийных отключающих заслонок	шт	24
13	Тип исполнительного механизма привода жалюзийной заслонки: пневмоцилиндр с электропневмораспределителем фирмы «Camozzi»		
14	Длина рукава	Мм	6200
15	Диаметр рукава	Мм	135
16	Расход сжатого воздуха, подаваемого на регенерацию и управ-	м <sup>3</sup> /мин	20

ление заслонками при 0,6 МПа  
Класс чистоты - 10

### Дымосос ДА-26х2М двухстороннего всасывания с электродвигателем 2ДАО-2000-1000-6-У1.

Производительность, тыс.м <sup>3</sup> /час	715-840
Полное давление, Па	8000
Число оборотов, об/мин	1000
Мощность электродвигателя, кВт	2000

#### Оборудование пылеудаления

Конвейер трубный скребковый	159 КСТ
Скорость ходовой части, м/с	0,21
Производительность, м <sup>3</sup> /час	1,0
Мощность привода, кВт	5,25

#### Смеситель-гранулятор

Производительность:	ТЛГ 041 УО2
-грануляции, т/час	3-8
-смешивания, т/час	8-16
Диаметр корпуса, мм	410
Мощность привода, кВт	30

В период 7.06.06 г. по 11.06.06 г. проведены испытания введенной в эксплуатацию газоочистной установки. Во время испытаний:

Температура газа на входе в фильтр	49°С
Температура газа на выходе из фильтра	47°С
Количество очищаемых газов на входе	761800м <sup>3</sup> /час
Подсосы воздуха в фильтре	4%
Удельная газовая нагрузка	1,38м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> мин

#### Результаты испытаний:

При запыленности газов на входе в фильтр, равной 1,298г/нм<sup>3</sup> запыленность на выходе не превышала 9 мг/нм<sup>3</sup> и по результатам девяти замеров составила 8 мг/нм<sup>3</sup>.

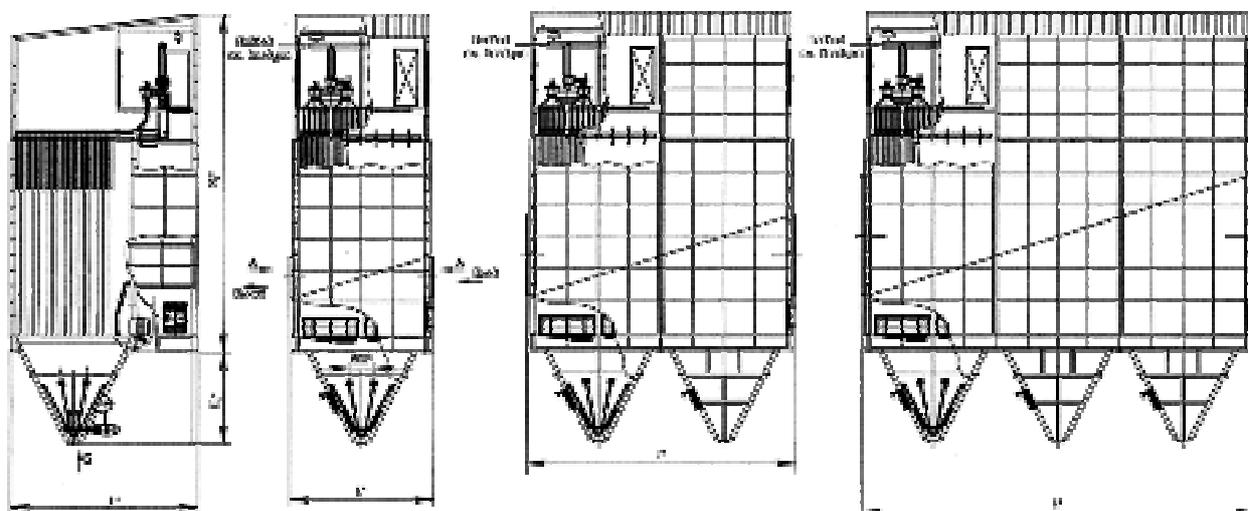
По настоящее время фильтр работает в проектном режиме, отказов не зафиксировано, замены вышедших из строя рукавов или других узлов и деталей не было.

В августе 2007 г. принята в эксплуатацию вторая очередь сухой газоочистки ДСП 125 в составе которой в качестве пылеуловителя аналогичный фильтр ФРМИ-9600-12-Д-УХЛ1-ОС. По результатам испытаний второй очереди при средней запыленности газов на входе в установку 2,07 г/нм<sup>3</sup> запыленность на выходе составила 11 мг/нм<sup>3</sup>. Объем очищаемых газов 628600м<sup>3</sup>/час при температуре 54°С.

### РУКАВНЫЙ ФИЛЬТР ТИПА ФРМИ

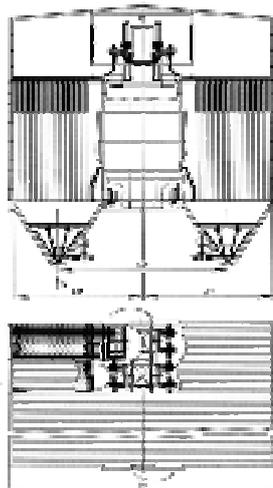
Базовый модуль для формирования типоразмерного ряда фильтров ФРМИ

Среднее исполнение фильтра

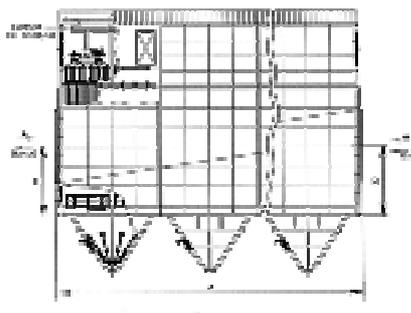


### ДВУХРЯДНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ФИЛЬТРА

Раз



Трост



Ограничение прои  
связанных с необходи  
бовало разработки ма.

В связи с этим в п  
ставлена тема «Иссле  
импульсной регенераи  
создания фильтров с  
компоновки фильтро  
системы регенерации  
цехов, связанных с на

и высоту производственных помещений. Предприятия асботехнической промышленности, сажевые заводы, предприятия строительной отрасли и другие требовали замены устаревших фильтров аспирационных систем. В основном используемые фильтры базировались на традиционной конструкции рукавного фильтра с механическим отряхиванием рукавов. Это были фильтры с громоздкими переключающими устройствами механизма регенерации, создающими грохот при переключении, не экономичные и малонадежные при эксплуатации.

В результате проработки различных вариантов компоновки, анализа и сопоставления экономических показателей первоначально были созданы фильтры с импульсной продувкой с клиновым расположением фильтровального материала в рабочей камере фильтра. Такие фильтры по занимаемому объему производственного помещения были в 1,3 раза меньше рукавных фильтров типа ФВ и ФВК.

Всестороннее исследование процесса фильтрации и регенерации опытных образцов клиновых фильтров на Ярославском заводе АТИ, на Подольском цементном заводе, на Саткинском заводе магнезит и ряде других предприятий позволили рекомендовать клиновые фильтры и систему регенерации импульсной продувкой к промышленному использованию. Совместно с Ярославским институтом АТИ было разработано ТЗ на создание промышленного образца клинового фильтра с импульсной продувкой.

Институт Гипрогазоочистка разработал техническую документацию, а Семибратовский завод ГОА поставил на промышленное производство фильтры ФПИ-100 для асботехнических производств, которые порядка 10 лет производились на ЭСЗГА и укомплектованные вельветоновой тканью поставлялись на заводы АТИ.

С этих работ практически и начались в СФ НИИОГАЗ исследования способа регенерации импульсной продувкой применительно к различным конструкциям фильтров.

Работы по изысканию более компактных способов размещения фильтровальных материалов в рабочей камере продолжались, одновременно с проработкой системы регенерации для клиновых и рукавных фильтров. В результате, в 1967 году СФ НИИОГАЗ получает авторское свидетельство на изобретение фильтра, позволяющего компоновать фильтровальный материал в несколько раз более рационально по сравнению с рукавным фильтром и компактнее клиновых фильтров.

Опытные фильтры первоначально назывались ячейковыми, потом сотовыми и, наконец, при их промышленном производстве стали называться ФКИ (фильтры кассетные импульсные).

Отличительной особенностью новых фильтров является оригинальная компоновка фильтровального материала в рабочей камере фильтра. Пошитый или соединенный иным способом фильтровальный материал размещается в каркасе, образуя ячейки для чистого и запыленного газа расположенные в шахматном порядке. В сечении фильтроэлемент напоминает сотовую структуру (рис. 1).

Регенерация фильтровального материала осуществляется импульсами сжатого воздуха при отключении секции на период регенерации.

В последние годы в ОАО СФ НИИОГАЗ проведена работа по широкому внедрению кассетных фильтров в различные отрасли промышленности. Были разработаны фильтры общепромышленного применения на широкий спектр производительности, а также специальные фильтры для конкретных производств.

Фильтры типа ФКИ внедрены и успешно работают на шинных заводах при очистке аспирационного воздуха после резиносмесителей, в стекольной промышленности, на предприятиях стройиндустрии, в порошковой металлургии, предприятиях по переработке цветных металлов и др.

мьх заводов и фабрик,  
ылевых веществ, потре  
блеулавливания.

ле НИИОГАЗ была по  
вальной поверхностью и  
целью поставлена зада  
изыскания уплотненной  
именением эффективной  
рнизации действующих  
ограниченные площади

С учетом имеющегося опыта разработки фильтров большой производительности (ФКИ-2000, ФКИ-8000) целесообразно продолжать работу по созданию больших многоэтажных фильтров кассетной компоновки для обеспечения производительности миллион и более м<sup>3</sup> в час (рис. 2).

Первоначально фильтровальный материал в форме сотовой структуры сшивался на обычных швейных машинах по специально разработанной технологии.

Сшитый элемент растягивался на каркасе. Фильтровальная кассета имеет 28 м<sup>2</sup> рабочей поверхности. В 1987 году СФ НИИОГАЗ получает патент на способ изготовления фильтровальных элементов и на устройство его осуществления.



Рис. 1. Фильтрующая кассета фильтров ФКИ

- 1-каркас; 2-фильтрующий элемент; 3-пруток;
- 4-ячейка грязного газа; 5-ячейка чистого газа;
- 6-зацеп; 7-рамка; 8-упор; 9-уплотнитель;
- 10-ролик; 11-стяжка; 12-ткань фильтроэлемента; 13-шплинт

Основной особенностью нового способа изготовления является то, что фильтровальный материал не сшивается, а соединяется термосваркой, причем весь элемент изготавливается из одного сплошного полотна. Изготовление фильтровальных элементов осуществляется на специальном станке при полной автоматизации процесса. В зависимости от производительности фильтров кассеты могут быть выполнены с различными габаритными размерами. Максимальная высота кассеты при ширине стороны квадрата сечения ячейки 60 мм составляет 2 м. Минимальный размер сечения ячейки, испытанной в кассетных фильтрах для очистки сажегазовой смеси был равен 20x20 мм. При использовании ячейки с сечением 60x60 мм обеспечивается работоспособность фильтров при улавливании большинства промышленных пылей. При этом ячейки забиваются только в случае работы фильтров на влажных легкослипающихся пылях или при отсутствии контроля за работой импульсной системы регенерации.

Срок службы фильтровальных элементов зависит от свойств улавливаемой пыли очищаемых газов, от технологических параметров работы и условий эксплуатации фильтра, от свойств и качества установленного в кассете фильтровального материала и многих других факторов. Средний срок службы обычно составляет от 2-х до 5 лет. Например, на стеклозаводе «Неман» (Беларусь) при эксплуатации фильтра ФКИ-280 С для очистки дымовых газов от стекловаренной газопламенной печи фильтровальные элементы, изготовленные из нетканого иглопробивного фильтровального материала производства «Мистра» (Эстония), заме-

Рис. 2. Образец многоэтажного фильтра ФКИ (ФКИ 6720)



нялись через 2 года (информация была дана представителем завода на конференции в г. Гусь-Хрустальный). На Ярославском шинном заводе в фильтрах ФКИ-140Ш, оснащенных нетканым лавсановым материалом производства НПО «Химволокно» (г. Могилев), фильтровальные элементы работали в течение 4-х лет без существенных изменений основных технологических показателей.

Фильтровальные элементы сотовой структуры в настоящее время используются в основном в фильтрах общепромышленного применения, разработанных в виде типоразмерного ряда. Это фильтры ФКИ-5, ФКИ-10, ФКИ-20, ФКИ-28, ФКИ-56, ФКИ-84, ФКИ-112, ФКИ-140, ФКИ-168, ФКИ-224, ФКИ-280. Перспективным направлением их использования на наш взгляд следует считать очистку взрывоопасных газов с частицами пыли, образующих взрывоопасные смеси, например при углеприготовлении, изготовлении и пневмотранспортировании алюминиевой пудры, в мукомольной промышленности и др. Разделение внутриобъемного пространства фильтра на отдельные мелкие ячейки повышает безопасность аппарата.

Естественно, при создании таких фильтров необходимо проведение комплекса научно-исследовательских работ.

Применение компактных фильтровальных элементов сотовой структуры целесообразно с точки зрения удобства эксплуатации в фильтрах как малой, так и большой производительности.

На базе ячейкового тканевого фильтра в ОАО «СФ НИИОГАЗ» разработан передвижной кассетный пылеуловитель ППК-10. Проведенные испытания в стендовых условиях при очистке воздуха, запыленного золой подмосковного каменного угля, подтвердили возможность применения ППК-10 в аспирационных системах с объемом очищаемого воздуха до 1000 м<sup>3</sup>/час.

Передвижной пылеуловитель состоит из следующих основных узлов (см. рис. на 4-й стр. обложки):

- 1 – корпус прямоугольной формы;
- 2 – крышка камеры чистого газа;
- 3 – узел регенерации фильтровального материала;
- 4 – фильтровальная кассета;
- 5 – тягодутьевое устройство (вентилятор с электродвигателем);
- 6 – платформа с роликами;
- 7 – пылесборник.

Корпус аппарата изготовлен из элементов гнутого профиля. В верхней части корпуса имеется патрубок с фланцем для подсоединения к пылезаборному устройству. Корпус разделен на камеры чистого и запыленного газа. Камера чистого газа соединена с смонтированным в корпус тягодутьевым устройством, позволяющим работать в автономном режиме на небольших удельных газовых нагрузках на фильтровальный материал.

При работе на повышенных газовых нагрузках, позволяющих повысить производительность, аппарат подсоединяется к внешнему стационарному вентилятору через штуцер, предусмотренный в нижней части корпуса. При этом, установленный в корпусе вентилятор демонтируется, или вход в него перекрывается заглушкой (см. рис. 4).

Корпус аппарата в верхней его части закрыт крышкой, закрепляемой на корпусе с помощью 4-х застежек. Пылесборник, представляющий собой емкость, выполненную из листового металла, герметично крепится в нижней части корпуса с помощью эксцентрикового устройства.

Фильтровальная кассета (см. рис. на 4-й стр. обложки) содержит 10м<sup>2</sup> нетканого иглопробивного фильтровального материала, установлена в корпусе между камерами запыленного и чистого газа и герметично уплотнена с помощью прокладки и 4-х прижимов.

Фильтровальный материал в кассете образует объемную структуру в виде ячеек для чистого и запыленного газа. Ячейки для чистого газа закрыты в нижней части, ячейки для запыленного газа – в верхней части каскеты. Изготовление фильтровальных элементов для кассет выполняется на специальном стенде (рис. 6). В качестве фильтровального материала обычно используется иглопробивное нетканое лавсановое полотно.

Узел регенерации состоит из воздухораспределительных труб, электропневматического клапана и прибора управления регенерацией.

Электропневматический клапан может быть установлен или непосредственно на раздающей трубе пылеуловителя или отдельно от ППК-10, на линии сжатого воздуха и подсоединяется к пылеуловителю лишь на время регенерации каскеты. Принцип работы передвижного кассетного пылеуловителя ППК-10 аналогичен работе стационарных кассетных фильтров типа ФКИ. Пылегазовый поток поступает в камеру запыленного газа через входной патрубок, движется вниз корпуса, огибает вертикальную перегородку и распределяется по ячейкам фильтровальной каскеты.

В процессе фильтрования пыль осаждается на материале каскеты, очищенный воздух выходит в камеру очищенного газа и отводится из пылеуловителя через патрубок. При достижении определенного, заранее заданного сопротивления, по команде управляющего устройства или вручную подается сигнал на пневмораспределитель, установленный на пневмоклапане. Сжатый воздух из магистральной трубы через отверстия остронаправленными струями поступает в открытые полости ячеек. Происходит продувка фильтро-

вальной перегородки сжатым воздухом и воздухом, эжектируемым из камеры чистого газа. Длительность пневматического импульса равна 0,2 - 0,4 сек.

Отличительной особенностью пылеуловителя является возможность быстрого его перемещения для подключения к другой аспирационной линии и возможность проведения регенерации фильтровального материала вне зоны его основной работы. При оснащении передвижного пылеуловителя более мощным тягодутьевым устройством он может быть использован в качестве пылесоса для уборки производственных помещений.

С целью выявления оценочных технических характеристик пылеуловителя были проведены стендовые исследования по определению фильтровальных и регенерационных свойств при различных технологических параметрах его работы.

Исследования эффективности пылеулавливания и регенерируемости малогабаритного передвижного пылеуловителя, подключенного к внешнему вентилятору, проведены при четырех удельных газовых нагрузках на фильтровальный материал: 420 м<sup>3</sup>/час, 600 м<sup>3</sup>/час, 750 м<sup>3</sup>/час, 900 м<sup>3</sup>/час. Испытания проводились на пыли золы каменного угля. При входной запыленности воздуха в пределах 2-6 г/м<sup>3</sup> запыленность воздуха на выходе из аппарата не превышала значения – 0,003 г/м<sup>3</sup>.

Остаточное гидравлическое сопротивление аппарата при удельной газовой нагрузке, равной 1 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>мин., после регенерации находилось в пределах 40-50 мм вод. ст.

Длительность цикла фильтрации при входной концентрации воздуха 2-6 г/м<sup>3</sup> и удельной газовой нагрузке на фильтровальный материал, равной 0,7 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>мин., равнялась примерно 3 часам. Для регенерации фильтровального материала использовалось давление сжатого воздуха 5 кг/см<sup>2</sup>. Гидравлическое сопротивление аппарата при работе на чистом воздухе находилась в пределах 10-20 мм вод. ст. Подсосы в период испытаний находились в пределах 5-6 %. При проведении испытаний в течение двух месяцев не было отмечено существенных нарушений в работе узлов и деталей аппарата.

При работе в автономном режиме с производительностью 180 м<sup>3</sup>/час эффективность пылеулавливания практически равнялась 100 %. Способ изготовления ячеевых фильтровальных элементов и устройство для их осуществления запатентованы Семибратовским филиалом НИИОГАЗ и его приемником ЗАО СФ НИИОГАЗ (Патент СССР №1711950).

Разработанные и внедренные в различные отрасли промышленности матерчатые фильтры с развитой фильтровальной поверхностью неоднократно демонстрировались на выставках, в том числе международных, награждались дипломами и медалями.

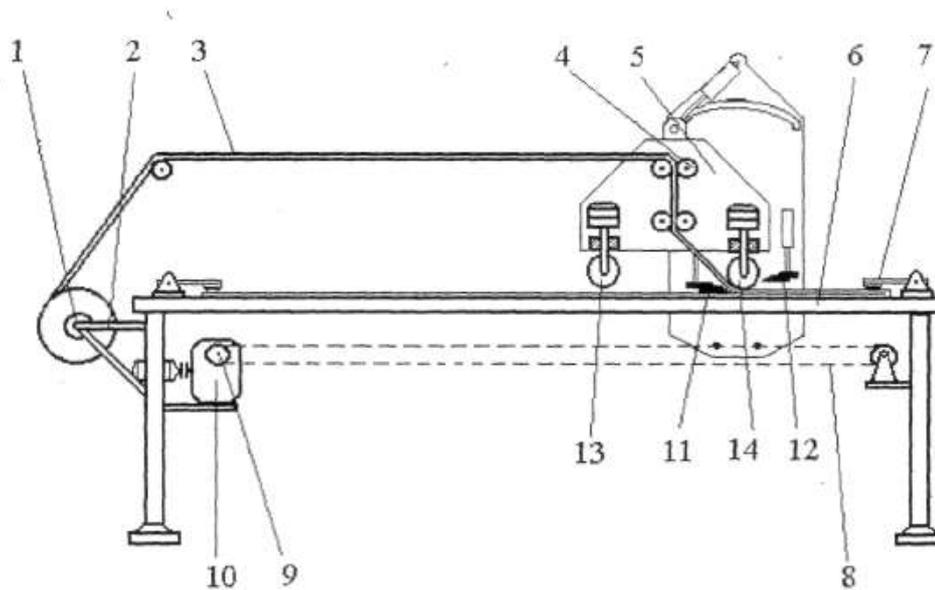


Рис. 6. Термосварочное устройство для изготовления ячейковых фильтровальных инструментов

1-рулон фильтровального материала; 2-стойки рулонодержателя; 3-полотнище фильтровального материала; 4-ролики направляющие; 5-суппорт; 6-стол; 7-прижимное устройство; 8-цепь; 9-звездочка редуктора; 10-редуктор; 11-12-левая и правая панели нагревательных элементов; 13-14-левый и правый прижимные ролики.

## Применение инерционных пылеуловителей на предприятиях г. Ярославля

Исторически сложилось так, что крупные индустриальные предприятия, являющиеся наиболее значительными источниками пылевых выбросов, оказались окруженными жилыми массивами, поэтому проблема улавливания пыли для г. Ярославля весьма актуальна.

Одним из простейших пылеуловителей, который во многих случаях позволяет успешно решить проблему очистки от пыли газов, выбрасываемых в атмосферу промышленными предприятиями, является аппарат инерционной очистки газов (циклон).

Циклоны среди пылеуловителей составляют самую многочисленную группу. Они составляют более 90 % от общего числа применяемых в промышленности пылеуловителей, и ими улавливается более 80 % от общей массы уловленной всеми аппаратами пыли. Циклоны применяются практически во всех отраслях промышленности.

В течение более чем ста лет, с момента появления первых циклонов, их исследованиям занималось большое количество различных организаций. Это, естественно, привело к значительному количеству их типов и разновидностей. Только на территории бывшего СССР находит применение более 20 типов циклонов. Это циклоны разработки МИОГа, ЛИОГа, СИОГа, ВЦНИИОГа, Гипродревпрома, НИИОГАЗа, ГрозНИИ, УНИХИМа, ВУХИНа, а также Семибратовской фирмы НИИОГАЗ, входящей в холдинговую группу «Кондор-Эко».

Известно, что любые циклоны характеризуются тремя основными параметрами, а именно: эффективностью, гидравлическим сопротивлением и надежностью.

Эффективность циклонов в значительной мере зависит от его размеров и режима работы. Разница в эффективности у одного и того же циклона в зависимости от диаметра и режима работы может достигать до 1520 %. Показателем, характеризующим энергоемкость конструкции циклона, является его коэффициент гидравлического сопротивления. Спектр коэффициентов гидравлических сопротивлений циклонов весьма широк и находится в диапазоне значений от 50 до 1500.

И, наконец, третьим параметром, характеризующим функционирование циклона является его надежность, определяемая способностью циклона противостоять абразивному износу. Практика эксплуатации циклонов показывает, что интенсивность абразивного износа может составлять до 10–15 мм в год. Сквозной износ циклонов ведет к резкому снижению его эффективности и, как следствие, повышению выбросов пыли в атмосферу.

Исследования различных типов циклонов, проведенные как отечественными, так и зарубежными специалистами позволили получить функциональные зависимости эффективности, гидравлического сопротивления и надежности аппаратов от их конструктивных параметров и режимов эксплуатации.

В литературе данные зависимости отражались в виде графиков, таблиц и в какой-то мере позволяли прогнозировать эффективность и гидравлическое сопротивление нужного типа циклона, а использование каталогов – осуществлять приближенный подбор диаметра аппарата, требуемого для очистки необходимого объема газа.

При этом, величина между ожидаемыми и замеренными в ходе эксплуатации значениями эффективности и гидравлического сопротивления достигала значительной величины. Реальные значения эффективности находились, в основном, в интервале от 70 до 80 %. Надежность циклонов вообще во внимание не принималась и не прогнозировалась.

Переход экономики на рыночные рельсы, повышение требований природоохранных организаций к эффективности очищаемых газов, необходимость экономии средств, заставил по иному взглянуть на проблему подбора циклонов и перевести её на новый качественный уровень. Сформировалась задача не приближенного подбора, а математического расчета циклона, наиболее оптимального для каждого конкретного источника пылевыделения, которая и была решена посредством разработки соответствующей программы.

Эта программа позволяет рассчитать не один, а как правило, 10–12 вариантов наиболее подходящих для конкретного источника пылевыделения. Расчет ведется с шагом по диаметру циклона равным пятьдесят мм, в отличие от каталогов, где шаг по диаметру равен 100 мм. Разница между расчетным и замеренным значением эффективности и гидравлического сопротивления весьма незначительна и составляет несколько процентов.

Среди предприятий г. Ярославля, с которыми осуществлялось наиболее тесное сотрудничество в облас-

ти разработки циклонов, следует отметить Ярославский моторный завод и предприятия Северной железной дороги: локомотивное депо станции Ярославль-Главный, ПМС-319, Ярославский электровозоремонтный завод. Наиболее значительными источниками пылевыделения, характерными для г. Ярославля являются литейное, кузнечно-прессовое, ремонтное и деревообрабатывающее производство, поэтому большинство разработанных нами циклонов было применено именно там. Замеры эффективности внедренных нами циклонов, проведенные независимыми аттестованными лабораториями показали, что при правильной эксплуатации циклонов, их эффективность превышает 90 %.

Так, эффективность циклона для камеры обдувки двигателей ПМС-319 составляет 98 %, циклона для наждаков 97,5 %, циклона для большого голтовочного барабана литейного цеха Ярославского электровозоремонтного завода 98,5 %, циклона для деревообрабатывающего участка дистанции пути 96,6 %. Всего же, на предприятиях Северной железной дороги, расположенных в г. Ярославле, внедрено 23 групповых и одиночных циклонов различных типов.

Эффективность циклонов, которыми оснащены наиболее значительные источники пылевыделения в литейном и кузнечном производстве Ярославского моторного завода – дробеметные камеры, в основном, составляет 94,5–94,8 %, Всего по нашим разработкам на Ярославском моторном заводе установлено 49 групповых и одиночных циклонов, которые очищают более 600 тысяч м<sup>3</sup>/ч газа. Если предположить, что средняя запыленность газов, поступающих на очистку этих 600 тысяч м<sup>3</sup>/ч газа составляет всего лишь 10 мг/м<sup>3</sup>, и источники пылевыделения работают 4 часа в сутки, то за год на головы ярославцев было бы выброшено более 30 тонн пыли. Таким образом, применение современных методов расчетов циклонов позволяет при минимальных финансовых затратах, достигнуть значительных положительных результатов в деле охраны атмосферного воздуха.

**Е.П.Смирнов**

## **Совершенствование инерционных пылеуловителей**

Основным типом пылеуловителя, применяемым в массовом количестве в промышленном производстве остается инерционный пылеуловитель – в основном циклон, в котором очистка воздуха происходит под действием сил инерции, образующихся в закрученном потоке.

Циклоны среди пылеуловителей составляют самую многочисленную группу – более 90% от общего числа применяемых в промышленности пылеуловителей, и ими улавливается более 80% от общей массы уловленной всеми аппаратами пыли. Циклоны характеризуются тремя основными параметрами: эффективностью, гидравлическим сопротивлением и стойкостью к абразивному износу или надежностью.

Первый патент на изобретение «Циклон» был получен американским инженером О.Морсе в 1883 году, и с тех пор количество патентов, полученных в разных странах превышает тысячу, а работа над циклонами и другими инерционными пылеуловителями продолжается и сейчас.

На протяжении 45-летней истории СФ НИИОГАЗ эти работы продолжались в лаборатории инерционной очистки газов, долгие годы возглавляемой Д.Т.Карпуховичем. были разработаны модификации высокоэффективных, надежных одиночных и групповых циклонов типа СЦН-40, циклонов повышенной надежности, названные СЦН-50, вертикальные прямоточные циклоны ВПЦ. Циклон ЦН-50, который предназначен для замены широко применяемого циклона ЦН-15, при одинаковом гидравлическом сопротивлении превосходит его по эффективности на 2-4%, а по долговечности работы в 1,5-2,5 раза.

В конце 1960 г. проводились исследования по ультразвуковой коагуляции сажи на стенде групповых циклонов НИИОГАЗ. В настоящее время институт приступил к исследованию влияния инфразвуковых колебаний на эффективность и гидравлическое сопротивление циклонов, работающих на золе и кварцевой пыли. Образно выражаясь, за 45 лет своего развития институт прошел путь от ультра до инфразвуковых колебаний.

Несмотря на кажущуюся простоту конструкции и принципа действия циклонов, их эффективность в значительной степени зависит от правильного подбора и эксплуатации. Является нормальным, когда эффективность циклонов составляет 85-90% и выше.

Как справедливо отмечалось в книге под названием «Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов», выпущенной нашей холдинговой группой «такие, на первый взгляд, простейшие экотехнические устройства, как циклоны при практическом их применении приносят столько неожиданностей, что только опыт разработчика позволяет их преодолевать» [1].

Циклоны могут применяться как самостоятельные средства пылеулавливания, так и в качестве первой (предварительной) ступени очистки. Так В.Т.Степаненко (ВУХИН), длительное время работающий в области очистки газов от пыли, образующейся в технологических процессах коксохимического производства, утверждает, что «наилучшие перспективы применения на первой ступени очистки имеют простые инерци-

онные пылеуловители- циклоны». Циклон СЦН-40 рекомендован им для использования в качестве второй ступени двухступенчатых систем обеспыливания аспирационного воздуха [2].

Исследования различных типов циклонов, проведенные как отечественными, так и зарубежными специалистами позволили получить функциональные зависимости эффективности, гидравлического сопротивления и надежности аппаратов от их конструктивных параметров и режимов эксплуатации.

В литературе данные зависимости отражаются в виде графиков, таблиц и в какой-то мере позволяют прогнозировать эффективность и гидравлическое сопротивление нужного типа циклона, а использование каталогов – осуществлять приближенный подбор циклона, требуемого для очистки необходимого объема газа. Как правило, циклоны выбираются из типоразмерного ряда устаревших циклонов ЦН-15. Надежность циклонов вообще во внимание не принимается.

Переход экономики на рыночные рельсы, повышение требований природоохранных организаций к эффективности очищаемых газов, необходимость экономии средств, заставляют по иному взглянуть на проблему подбора циклонов и перевести ее на новый качественный уровень.

Сформировалась задача не приближенного подбора, а математического расчета на ЭВМ эксклюзивного циклона, наиболее оптимального для каждого конкретного источника пылевыделения. Эта задача была решена посредством разработки соответствующей компьютерной программы. Расчет ведется с шагом по диаметру циклона равным 50 мм. В программе заложена возможность расчета 11 типов циклонов. Среди них разработанные нами спиральные высокоэффективные циклоны СЦН-40, абразивостойкие циклоны средней эффективности СЦН-50, успешно замещающие циклоны ЦН-15, циклоны ЦПКИ, ВПЦ, и ряд других.

Выбор циклонов проводится на основании комплексного анализа данных, полученных при аэродинамическом расчете циклонов, расчете эффективности и надежности циклонов. Таким образом, заказчик в каждом конкретном случае получает эксклюзивный вариант циклона, наиболее подходящий для имеющегося источника пылевыделения.

Примерами подобного успешного решения проблемы очистки газов от пыли являются циклоны, установленные на предприятиях железной дороги: в локомотивном депо Ярославль-Главный, Ярославском электровозоремонтном заводе, ПМС-319, дистанции пути, а также ОАО «Автодизель», ОАО «Автокран» г.Иваново, ОАО «Стеклопластик» г.Зеленоград, Песковского КСМ Московской обл.

Эффективность, замеренная сразу после монтажа циклона для камеры обдувки двигателей ПМС-319, составляет 98%, циклона для наждаков- 97,5%, циклона для большого голтовочного барабана литейного цеха Ярославского электровозоремонтного завода – 98,5%, циклона для деревообрабатывающего участка дистанции пути – 96,6%.

Применение вертикального прямоточного циклона (ВПЦ) в жестких условиях дефицита производственных площадей ОАО «Автодизель» позволило разместить циклон ВПЦ-450х4 там, где размещение обычных противоточных циклонов невозможно. Материалоемкость циклона ВПЦ по сравнению с обычными циклонами снизилась более чем на 25%, гидравлическое сопротивление в 1,7 раза.

После замены групповых циклонов ЦН-15 на групповые циклоны СЦН-50 в цехе № 1 Песковского КСМ качество выпускаемой продукции стало соответствовать требованиям ГОСТа, достигнуто улучшение работы системы аспирации, выбросы снизились на 2 %. Общая эффективность системы, состоящей из циклонов СЦН-40 и СЦН-50, для улавливания стеклянных микросфер, разработанная для ОАО «Стеклопластик» составила 99,52 %.

Все выше сказанное позволяет утверждать, что применение современных методов расчета циклонов позволяет при минимальных финансовых затратах существенно снизить выбросы пыли в атмосферу, а значит, получить положительный результат в деле охраны воздушного бассейна России.

Анализ патентно-литературных и электронных источников позволяет утверждать, что в настоящее время ведется активная работа над усовершенствованием циклонов и созданием принципиально новых аппаратов инерционного принципа действия.

Примером работы над усовершенствованием циклонов, проводимой в настоящее время может служить разработанный Завьяловым Ю.И. (ООО «Планета ЭКО» и защищенный патентом циклон, содержащий на внутренней поверхности корпуса уступы (аэродинамические ловушки) которые, по утверждению автора, позволяют увеличить эффективность улавливания мелкодисперсной пыли [3].

Представляет несомненный интерес и разработанный в Тульском государственном университете и названный разработчиками «инерционно-центробежный пылеуловитель», в котором эффект инерционной очистки газов, огибающих специальный экран дополняется инерционным эффектом, создаваемым специальным завихрителем [3, 4].

Все выше сказанное говорит о том, что, несмотря на более чем вековую историю циклона, он представляется весьма интересным для все новых и новых поколений исследователей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов. Под общ. ред. Л.В.Чекалова. Ярославль, «Русь», 2004. 424 с.
2. Стефаненко В.Т. Исследования технологических выбросов в атмосферу и разработка средств для улавливания пыли на коксохимических предприятиях: Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. доктора техн. наук. Екатеринбург, 2007. 47 с.
3. Патент 2174452 С1 (Россия), МПК В 04 С 5/103. Пылеуловитель / Ю.И.Завьялов (Россия). Опубл. 10.10.2001.
4. Обеспыливание промышленных газов: Монография / Э.М.Соколов, Н.И.Володин, О.М.Пискунов, Ю.И.Санаев, П.Г.Варьяш. Тула, Тульский гос. ун-т, 1999. 376 с.

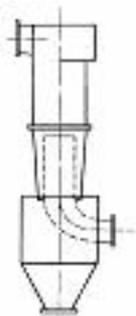


Рис. 1. Схема циклона ВПЦ

Смирнов М.Е.

### Современное состояние и перспективы развития инерционных пылеуловителей

Интенсивное развитие различных отраслей промышленности в двадцатом столетии привело к значительному ухудшению экологической обстановки. Одним из основных источников загрязнения атмосферы являются пылевые выбросы, получаемые в результате переработки сыпучих материалов металлургических процессов, обогащения руд, производства стекла, цемента, минеральных удобрений, а также

литейного и машиностроительного производства.

Повышение требований к чистоте атмосферного воздуха приводит к необходимости совершенствования способов и аппаратов пылеулавливания. Наиболее целесообразным для улавливания средне- и крупнодисперсной пыли является применение аппаратов инерционной очистки газа. В зависимости от требований, предъявляемых к очистке газов, от свойств и дисперсного состава частиц аппараты инерционной очистки могут применяться самостоятельно или использоваться в качестве аппаратов первой и второй ступени очистки.

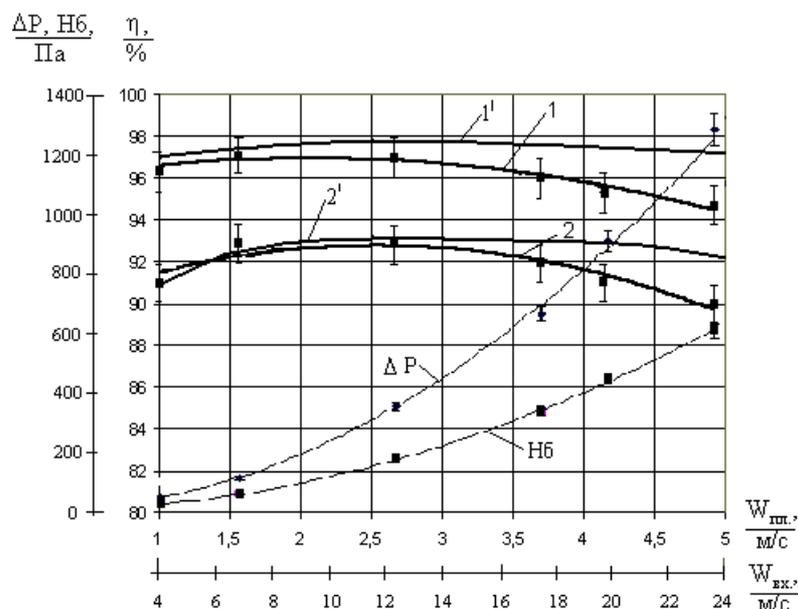
Широкому распространению инерционных пылеуловителей способствовали такие известные их преимущества, как простота устройства, незначительные габариты, низкое гидравлическое сопротивление, способность улавливания пыли в сухом виде и достаточно высокая эксплуатационная надежность [1,2].

Проведенное ознакомление с системами пылеулавливания, применяемыми на наиболее крупных машиностроительных заводах области, позволяет утверждать: проблема улавливания высокоабразивных пылей средней и крупной дисперсности не решена до настоящего времени. Промышленная эксплуатация в основном используемых для этих целей противоточных циклонов типа ЦН показывает, что хотя они и обладают сравнительно высокой степенью очистки, однако ненадежны из-за быстрого выхода из строя по причине абразивного износа. Жесткий дефицит площадей для размещения оборудования на большинстве заводов предъявляет повышенные требования к компактности разрабатываемых пылеулавливающих установок.

Перспективным направлением решения указанных недостатков является применение осевых прямоточных циклонов.

В результате проведенного комплекса теоретических исследований движения частиц в данном циклоне и экспериментальных исследований была разработана и запатентована конструкция вертикального прямоточного циклона (ВПЦ), рисунок 1 [3,4].

Результаты экспериментальных исследований представлены в виде графиков на рисунке 2. Для удобства анализа полученных результатов ниже шкалы  $W_{пл}$  приведена шкала соответствующих значений средней скорости потока  $W_{вх}$  на входе в циклон.



■ - экспериментальные данные;

1' , 2' - расчетные зависимости степени очистки (соответственно от пыли №1 и пыли №2).

Рисунок 2. Зависимость степени очистки  $\eta$ , гидравлического сопротивления  $\Delta P$ , разрежения в бункере  $H_b$  от плановой скорости воздуха  $W_{пл}$  и скорости во входном патрубке  $W_{вх}$ .

Анализ зависимости степени очистки воздуха  $\eta$  от средней скорости воздуха  $W_{вх}$  во входном патрубке циклона позволяет утверждать, что минимальная скорость потока на входе в циклон, при которой аппарат начинает стабильно и эффективно работать, составляет  $W_{вх} = 6 \text{ м/с}$ . Это имеет принципиальное значение при оценке показателей надежности исследуемого циклона, так как величина абразивного износа металла, по данным ряда отечественных и зарубежных исследователей, пропорциональна скорости набегающего потока в третьей степени. Таким образом, по сравнению с результатами исследований представленных в работе [5], удалось снизить минимальное значение входной скорости воздуха во входном сечении с 9 до 6 м/с и значительно повысить эксплуатационную надежность циклона [1,6].

По результатам исследований для вентиляционной системы В-7 термического цеха производства коробок передач ОАО «Автодизель» разработана промышленная установка (рисунок 3) производительностью  $9000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , состоящая из четырех циклонов ВПЦ диаметром 450 мм [7, 8].

Оригинальным решением, использованным в конструкции установки, является то, что коллектор очищенного газа находится в бункере для сбора пыли причем, две стенки коллектора образуются стенками бункера. Подобное решение приводит к снижению металлоемкости установки и делает ее более компактной.

В ходе испытаний, проведенных аккредитованной лабораторией ЗАО УПНР «Экология», установлено, что при плановой скорости в циклоне  $W_{пл} = 5,5 \text{ м/с}$  степень очистки газа от пыли составляет  $\eta = 94,2 \%$ . Также проведены замеры абразивного износа корпуса циклона. На момент проведения замеров установка проработала 4210 часов (при этом масса пыли прошедшая через один циклон составила 3940 кг). Результаты замеров износа корпуса циклона показали, что максимальный износ составляет 0,2 мм, а зона максимального износа находится напротив входного патрубка.

Разработан и введен в эксплуатацию второй групповой циклон производительностью  $27000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , состоящий из четырех циклонов диаметром 750 мм, предназначенный для очистки воздуха, отходящего от трех дробеметных барабанов кузнечного цеха ОАО «Автодизель». В ходе проведенных испытаний установлено, что при плановой скорости в циклоне  $W_{пл} = 4,5 \text{ м/с}$  степень очистки газа от пыли составляет  $\eta = 94,8 \%$ , разработана и защищена патентом РФ конструкция вертикального прямоточного циклона.

Экспериментальные исследования показали, что его конструкция позволяет эффективно работать при скоростях во входном патрубке от 6 до 19 м/с. По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработана методика расчета основных аэродинамических и геометрических параметров вертикального прямоточного циклона. Методика позволяет также рассчитывать время наработки до отказа пылеуловителя.

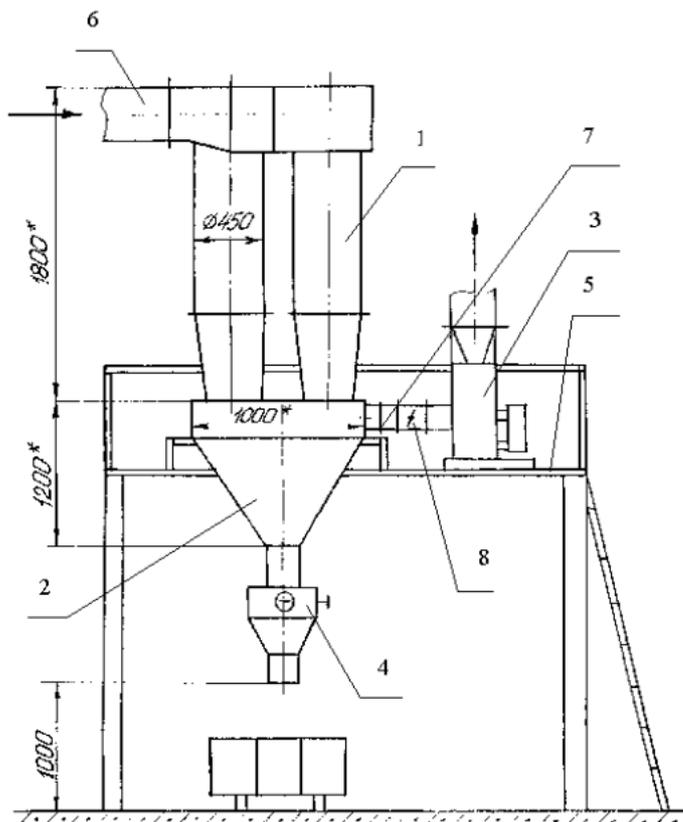


Рисунок 3. Схема пылеулавливающей установки

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. Л., Химия, 1982.
2. Гальперин В.И., Василенчук А.С., Романцева Т.Н. Проблемы и достижения в области сухого пылеулавливания. М., НИИТЭХИМ, 1981.
3. Патент 2135300 С1 (РФ). Циклон/ Смирнов М.Е., Сугак А.В., Гончаров Г.М. Оpubл. в Б.И. № 24, 1999.
4. Смирнов М.Е., Сугак А.В., Гончаров Г.М. Исследование гидродинамических характеристик вертикального прямоточного циклона. Деп. в НИИТЭХИМ, №6, 1999. С. 13.
5. Стефаненко В.Т., Лысенко Т.В., Воронкова Т.И. Улавливание коксовой пыли в циклонах//Промышленная и санитарная очистка газов. №4, 1985. С. 9–11.
6. Эрозия: Перевод с англ./Под ред. К. Прис. М., Мир, 1982.
7. Смирнов М.Е., Сугак А.В., Гончаров Г.М. Циклон для литейного производства // Экология и промышленность России. Май 2000. С. 13–14.
8. Смирнов М.Е., Сугак А.В., Гончаров Г.М. Улавливание пыли в вертикальном прямоточном циклоне//Экология и промышленность России. Апрель 2001. С. 28–29.

## 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ

### Коронирующий электрод штампованного типа

В практике отечественной пылегазоочистки известен электрофильтр [1], состоящий из корпуса, пластинчатых осадительных и коронирующих электродов с ленточными коронирующими элементами. К недостаткам этого электрофильтра относится недостаточная надежность и большая металлоемкость коронирующих элементов из-за большого их количества и повышенных закручивающих колебаний при ударе из-за того, что центр тяжести профиля элемента находится вне тела элемента. К тому же недостаточна эффективность электрофильтра из-за малой заостренности игл и быстрого напряжения запыления короны. Также известен электрофильтр [2], в котором с целью повышения эффективности очистки газов на зубцах и корпусе коронирующего элемента выполнены прорезы. Наличие прорезей приводит к ослаблению сечения элемента и, как следствие, к понижению его надежности и эффективности встряхивания из-за потери жесткости профиля. К тому же большое количество элементов повышает вероятность их выхода из строя.

Наиболее близким к предлагаемому устройству по технической сущности, решаемой технической задаче и совокупности общих существенных признаков является устройство, раскрытое в [3] и принятое за прототип. Согласно ему электрофильтр включает в себя осадительные электроды и коронирующие электроды рамной конструкции, в которой рядами с определенным шагом установлены коронирующие элементы, каждый из которых представляет собой ленточный корпус, с равномерно расположенными по торцевым сторонам зубцами. Коронирующие элементы имеют повышенную надежность из-за исключения закручивающих колебаний. Однако недостаточная эффективность их работы («тупые» иглы) и ненадежность (вероятность их выхода из строя из-за большого количества) отрицательно сказываются на работе аппарата в целом.

Технической задачей заявленного изобретения и достигаемый при ее решении технический результат заключается в повышении эффективности работы электрофильтра, в максимальном использовании и увеличении активной зоны электрофильтра, повышении надежности его работы, понижении металлоемкости. Указанный технический результат достигается тем, что электрофильтр включает в себя осадительные электроды и коронирующие электроды рамной конструкции, в которой рядами с определенным шагом установлены коронирующие элементы. Каждый из этих коронирующих элементов представляет собой ленточный корпус, с равномерно расположенными по торцевым сторонам зубцами. Конец каждого зубца расщеплен на две части, которые отогнуты в противоположные стороны к осадительным электродам под углом, близким к прямому. Вдоль корпуса каждого коронирующего элемента с противоположных сторон выдавлены две канавки, за счет которых в поперечном сечении коронирующего элемента образуется зигзаг. Кроме того, в частном случае реализации изобретения, – ширина упомянутого коронирующего элемента равна половине шага расположения коронирующих элементов в ряду. Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата.

Возможность осуществления изобретения, охарактеризованного приведенной выше совокупностью признаков, а также возможность реализации назначения изобретения может быть подтверждена описанием возможной конструкции устройства, выполненной в соответствии с изобретением, сущность, которая поясняется графическими материалами, на которых изображено следующее:

На рисунке 1 изображен повторяющийся фрагмент конструкции коронирующего элемента.

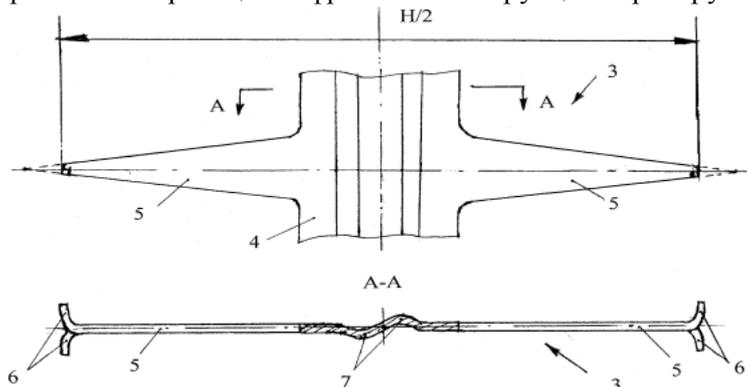


Рисунок 1

На рисунке 2 изображена схема расположения коронирующих элементов в одном из коронирующих электродов вместе с осадительными электродами предлагаемого электрофильтра.

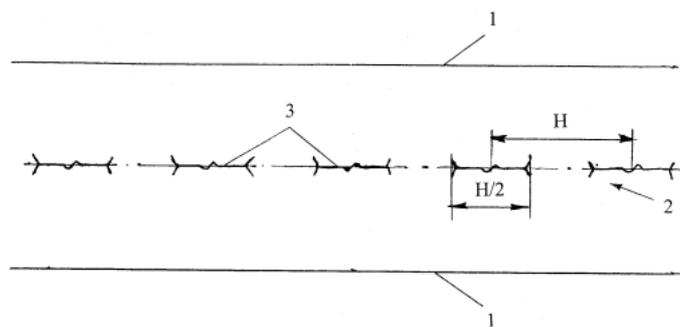


Рисунок 2

Предлагаемый электрофильтр включает в себя осадительные электроды 1 и коронирующие электроды 2 рамной конструкции, в которой в ряд с определенным шагом «Н» установлены коронирующие элементы 3. Каждый из этих коронирующих элементов представляет собой ленточный корпус 4, с равномерно расположенными по торцевым сторонам зубцами 5.

Зубцы 5 в плане имеют треугольную форму, а по толщине равны толщине корпуса 4. Конец каждого зубца 5 расщеплен на две части 6, которые отогнуты в противоположные стороны к осадительным электродам 1 под углом, близким к прямому. Вдоль корпуса 4 каждого коронирующего элемента 3 с противоположных сторон выдавлены две канавки 7, за счет которых в поперечном сечении коронирующего элемента образуется зигзаг или «полная волна». При монтаже коронирующего электрода 2 коронирующие элементы 3 устанавливаются таким образом, чтобы соблюдалась следующая зависимость – ширина коронирующего элемента 3 равна половине шага «Н» расположения коронирующих элементов в упомянутом ряду, т.е. равна  $H/2$ .

Корпус коронирующих элементов, в отличие от прототипа, выполнен жестким, что достигается за счет двух канавок с противоположных сторон корпуса и вдоль его. В результате центр тяжести профиля корпуса не смещается, что исключает необходимость его натяжки при монтаже и улучшает отряхиваемость от пыли. К тому же, за счет того, что конец каждого зубца расщеплен на две части, которые отогнуты в противоположные стороны к осадительным электродам под углом, близким к прямому, повышает эффективность работы электрофильтра за счет пониженного напряжения зажигания короны.

Загнутые концы противоположных зубцов соседних коронирующих элементов, расположенных на расстоянии половины шага «Н» коронирующих элементов в ряду, позволяет в 2 раза снизить количество упомянутых элементов, а следовательно в 2 раза уменьшить вероятность разрушения коронирующих элементов, и следовательно повысить надежность работы электрофильтра и понизить его металлоемкость.

Такое конструктивное исполнение электрофильтра повышает эффективность его работ, способствует максимальному использованию и увеличению активной зоны электрофильтра.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специальной оснастки и новой технологии.

Описанная в данном примере и изображенная в графических материалах конструкция устройства не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [4].

## Коронирующий электрод сварной

Известен электрофильтр [1], включающий в себя корпус, пластинчатые осадительные электроды, коронирующие электроды с ленточными коронирующими элементами. К недостаткам этого электрофильтра относится недостаточная надежность и большая металлоемкость коронирующих элементов из-за большого их количества и повышенных закручивающих колебаний при ударе из-за того, что центр тяжести находится вне тела элемента. К тому же недостаточна эффективность электрофильтра из-за малой заостренности игл и высокого напряжения зажигания коронного разряда.

В электрофильтре [5] с целью повышения эффективности очистки газов на зубцах и корпусе коронирующего элемента выполнены прорезы. Наличие прорезей приводит к ослаблению сечения элемента и, как следствие, к понижению его надежности и эффективности встряхивания из-за потери жесткости профиля. К тому же большое количество элементов повышает вероятность их выхода из строя.

Наиболее близким к предлагаемому устройству по технической сущности, решаемой технической

задаче и совокупности существенных признаков является устройство, раскрытое в патенте США № 4521229 [6] и принятое за прототип.

Согласно ему электрофильтр включает в себя корпус, пластинчатые осадительные электроды, коронирующие электроды, установленные рядами с определенным шагом, каждый из которых представляет собой полую трубу, в сечении имеющую форму эллипса. Вдоль трубы с двух сторон установлено большое количество стержней, выходящих из трубы и лежащих в плоскости, параллельной осадительным электродам.

Эллипсная форма трубы электрода позволяет создать сравнительно высокую напряженность электростатического поля, за счет чего образуется зона интенсивного пылеосаждения пыли, что положительно сказывается на эффективности пылеулавливания. Однако недостаточная эффективность их работы определяется использованием стержней в качестве элементов коронирования («тупые» точки коронирования), большое расстояние от точек коронирования до осадительных электродов, малая площадь их проекции на осадительный электрод и недостаточное электростатическое поле, создаваемое стержнями.

Технической задачей заявленного изобретения и достигаемый при ее решении технический результат заключается в повышении эффективности работы электрофильтра.

Указанный технический результат достигается тем, что электрофильтр включает в себя пластинчатые осадительные электроды, между которыми рядами установлены коронирующие электроды. Каждый корони-

рующий электрод представляет собой полую трубу, имеющую в сечении форму эллипса. Длинная ось эллипса установлена перпендикулярно осадительным электродам, а короткая ось параллельно им. По направлению короткой оси эллипса с обеих сторон параллельно осадительным электродам с определенным шагом установлены лепестки. Лепестки выполнены в форме равнобедренного треугольника с расщепленной по биссектрисе вершиной между равными сторонами и прикрепленными основанием к трубе. Расщепленные части лепестка отогнуты в сторону осадительных электродов под прямым углом. Расстояние между отгибами расщепленных концов лепестков с разных сторон одной трубы равно расстоянию между отгибами расположенных на соседних трубах и направленных друг к другу лепестков. Между коронирующими электродами, на равном расстоянии от них, установлены конструктивные элементы, например, полые трубы.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата.

Возможность осуществления изобретения, охарактеризованного приведенной выше совокупностью признаков, а также возможность реализации назначения изобретения может быть подтверждена описанием возможной конструкции устройства, выполненной в соответствии с изобретением, сущность, которая поясняется графическими материалами, на которых изображено следующее.

На рисунке 3 изображена схема электрофильтра; на рисунке 4 – электрод коронирующий с элементами крепления в электрофильтре; на рисунке 5 – межэлектродный промежуток с графическим изображением потоков электрического ветра и силовых линий электростатического поля; на рисунке 6 – вариант выполнения электрофильтра.

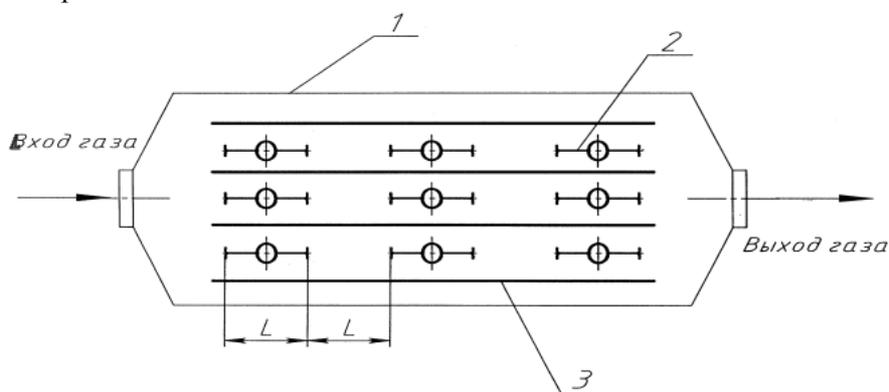


Рисунок 3

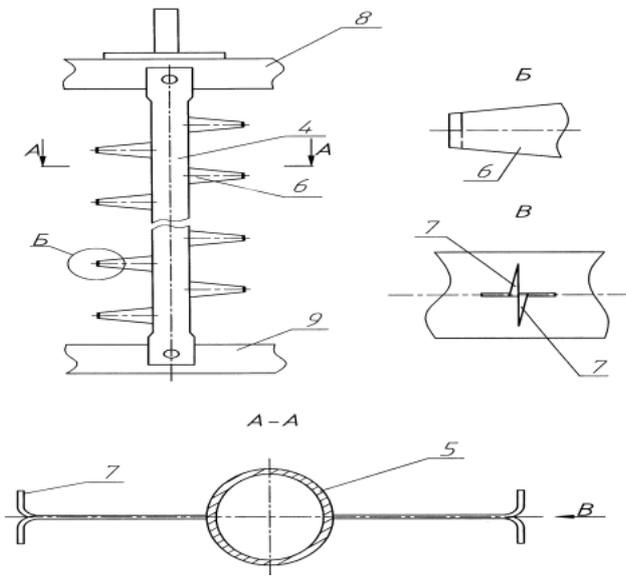


Рисунок 4

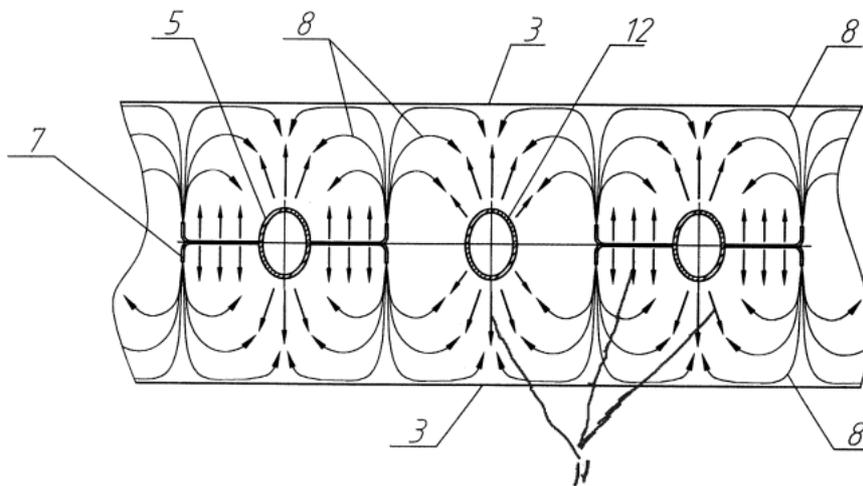


Рисунок 5

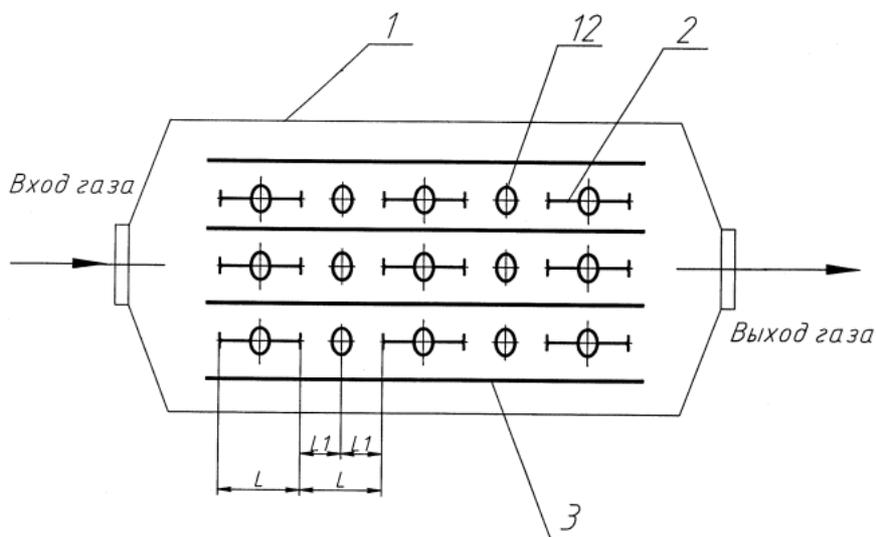


Рисунок 6

Предлагаемый электрофильтр включает в себя корпус 1, осадительные 2 и коронирующие 3 электроды, которые установлены в ряд между осадительными электродами, причем расстояние  $L$  между отгибами расщепленных концов лепестков с разных сторон одной трубы равно расстоянию между

отгибами расположенных на соседних трубах и направленных друг к другу лепестков.

Каждый коронирующий электрод представляет собой полую трубу 4, имеющую в сечении форму эллипса 5. Вдоль короткой оси эллипса установлены лепестки 6, имеющие форму равнобедренного треугольника с расщепленной по биссектрисе вершиной между равными сторонами треугольника и прикрепленными основанием к трубе. Расщепленные части 7 отогнуты в сторону осадительных электродов под прямым углом. В электрофильтре электроды устанавливаются с помощью элементов подвески 8 и фиксации в нижней части 9.

В межэлектродном промежутке под действием высокого напряжения возникает коронный разряд, создающий потоки электрического ветра 10 [7] и электростатическое поле с напряженностью, соответствующей силам векторной направленности 11, действующим на частицы. Между коронирующими электродами, на равном расстоянии от них, установлены полые трубы 12 (рисунок 6).

В отличие от прототипа в качестве элементов коронирования на коронирующем электроде установлены не стержни, а лепестки треугольной формы с расщепленной вершиной и отогнутыми расщепленными частями. Лепестки имеют малую толщину (значительно меньшую диаметра стержней прототипа) при сохранении жесткости за счет большого поперечного сечения.

Эллипсная форма трубы элемента и использование расщепленных лепестков в качестве элементов коронирования позволяет значительно повысить электростатическую составляющую напряженности электрического поля за счет участия в процессе плоскости каждого лепестка.

Это позволяет интенсифицировать процесс пылеосаждения, в том числе за счет того, что в межэлектродном промежутке (рисунок 3) часть потоков электрического ветра направлена в сторону осадительных электродов и совпадает с направлением воздействия электростатического поля, создавая зону интенсивного пылеосаждения. Другая часть потоков, в силу своей турбулентности, направлена от осадительных электродов, что увеличивает пылеунос и ухудшает пылеосаждение. С помощью развитой площади поверхности лепестков коронирующего электрода создается дополнительное электростатическое поле, воздействие которого направлено против потоков электрического ветра, которые перемещают заряженные частицы от осадительных электродов, что ослабляет или полностью нейтрализует их отрицательное влияние.

К тому же за счет того, что вершина каждого лепестка расщеплена на две части, каждая из которых отогнута в сторону осадительного электрода и имеет острый конец за счет расщепления и малой толщины лепестка, резко снижается напряжение зажигания коронного разряда.

Расстояние между отгибами расщепленных концов лепестков с разных сторон одной трубы равно расстоянию между отгибами расположенных на соседних трубах и направленных друг к другу лепестков, что способствует равномерному распределению тока коронного разряда в межэлектродном промежутке.

Установка дополнительных конструктивных элементов, например, труб, между коронирующими электродами позволяет выровнять напряженность электростатического поля в межэлектродном промежутке, расширить зону воздействия поля на заряженные частицы, противодействуя потокам электрического ветра, выносящим частицы из зоны осаждения, повышая эффективность пылеулавливания. Применение электрофильтров с использованием предлагаемого решения особенно актуально при высоких требованиях к эффективности очистки газов при улавливании мелкодисперсных пылей и пылей с высоким удельным электрическим сопротивлением, когда есть вероятность возникновения обратной короны.

Такая совокупность конструктивных решений в исполнении электрофильтра значительно повышает эффективность его работы, способствует максимальному использованию активной зоны электрофильтра в процессе пылеулавливания.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его реализации не требуется новых технологий [8].

## **Коронирующий электрод с дополнительными точками коронирования**

Известны элементы коронирующих электродов электрофильтров с фиксированными точками коронирования [9]. Наконечники этих коронирующих элементов представляют собой острия, с вершины которых при подаче высокого напряжения происходит коронный разряд. Общей отличительной особенностью этих коронирующих электродов является то, что все коронирующие наконечники имеют одинаковые параметры (высоту и радиус кривизны коронирующих наконечников), т.е. одну точку коронирования. Сказанное обуславливает одинаковый (квадратичный) характер вольтамперной характеристики.

Известен также коронирующий электрод (прототип) по патенту [10], в котором каждый коронирующий элемент имеет по два разрядных наконечника, отогнутых в разных направлениях. Недостатком аналогов и прототипа является то, что они имеют разрядные наконечники с одной коронирующей поверхностью одного типа и по этой причине создают вольтамперную характеристику квадратичного типа, что в целом ряде

случаев является недостатком. Например, при улавливании пылей имеющих малый размер частиц при высокой массовой концентрации дисперсной фазы. В этом случае ток от известных коронирующих элементов оказывается недостаточным. При этом частицы пыли не получают достаточного заряда, что ухудшает их осаждение и эффективность электрофильтра

Технической задачей заявленного изобретения и достигаемый при решении технический результат заключается в повышении эффективности работы электрофильтра путем использования элемента коронирующего электрода, с пониженным напряжением зажигания короны и обеспечивающего более высокий ток короны. Указанный технический результат достигается тем, что элемент коронирующего электрода электрофильтра содержит ленточный корпус, включающий центральную профилированную часть и плоские краевые секции. Для формирования равномерно расположенных по длине элемента фиксированных точек коронирования плоские краевые секции надрезаны по двум наклонным линиям из одной точки в разные стороны по острым углом к торцевой линии краевой секции с образованием трех наконечников. Наконечники, образованные между наклонными линиями и торцевой линией краевой секции корпуса отогнуты в стороны от плоскости краевой секции, а третий наконечник, расположенный между наклонными линиями, и имеющий также как и другие, треугольную форму остается в плоскости корпуса элемента и имеет угол между наклонными линиями больший, чем угол отогнутых наконечников, образованный наклонной линией и торцевой линией краевой секции.

Кроме того, элемент коронирующего электрода отличается тем, что концы наконечников могут быть выполнены с уступом или срезом по толщине наконечника с образованием конца в виде вершины четырехугольной призмы с тремя одинаковыми углами, равными углу при вершине треугольных наконечников. При этом угол, образованный между плоскостью среза (уступа) и плоскостью наконечника больше угла при вершине. Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности признаков, достаточной для получения требуемого технического результата.

Возможность осуществления изобретения, охарактеризованного выше приведенной совокупностью признаков, а также возможность реализации назначения изобретения может быть подтверждена описанием возможной конструкции устройства выполненной в соответствии с изобретением.

Сущность изобретения поясняется графическими материалами.

На рисунке 7 показан вид сверху предлагаемого коронирующего элемента; на рисунке 8 – вид сбоку этого же элемента; на рисунке 9 – вид А-А: поперечное сечение коронирующего элемента.

На рисунках 7, 8, 9:

Поз. 1 – профилированная центральная часть корпуса элемента;

Поз. 2 – коронирующие наконечники, отогнутые;

Поз. 3 – коронирующий наконечник в плоскости корпуса элемента с большим, чем у отогнутых, углом при вершине;

Поз. 4 – плоские краевые секции корпуса элемента;

Поз. 5 – торцевые линии (плоскости) плоских краевых секций.

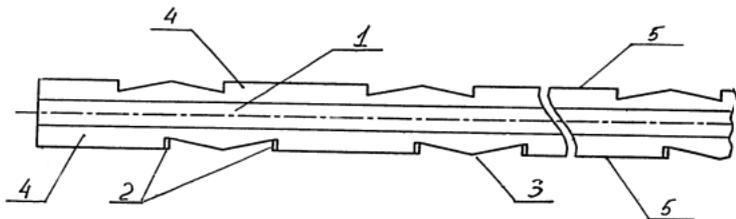


Рисунок 7

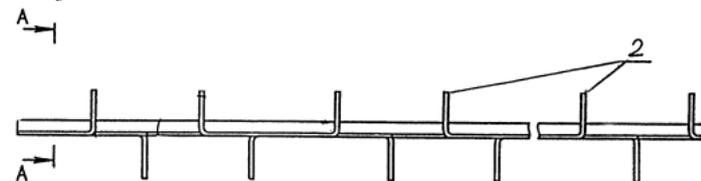


Рисунок 8

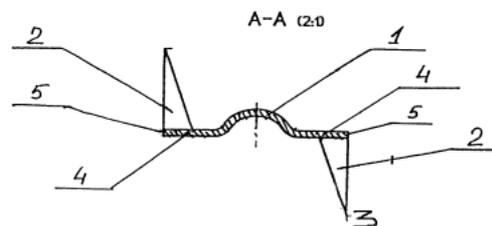


Рисунок 9

На рисунке 10 показан в увеличенном масштабе коронирующий наконечник коронирующего элемента.

На рисунке 10:  $\alpha$  – угол при вершине наконечника;  $\beta$  – угол между плоскостью среза и плоскостью наконечника.

Линия а-а на рисунке 10 изображает коронирующий наконечник (грань) коронирующего элемента прототипа. Эту грань, при увеличении, можно аппроксимировать полуцилиндром, радиус которого соответствует радиусу кривизны наконечника прототипа.

На рисунке 11 приведена вольтамперная характеристика 1 предлагаемого наконечника (рисунок 10), (рисунок 7, поз. 2).

На рисунке 11 приведена вольтамперная характеристика 2 среднего наконечника (рисунок 7, поз. 3), расположенного в плоскости корпуса элемента. На рисунке 11 приведена результирующая вольтамперная характеристика 3. Также на рисунке 11 приведена вольтамперная характеристика 4 известных коронирующих электродов. Эта характеристика приведена для сравнения, и она выражена кривой, имеющей квадратичный характер.

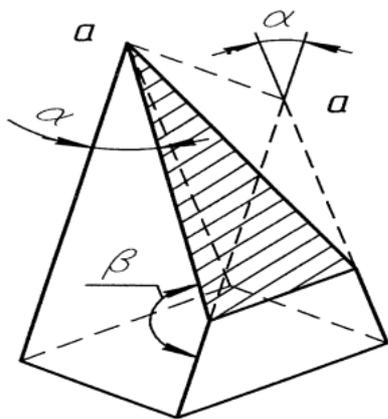


Рисунок 10

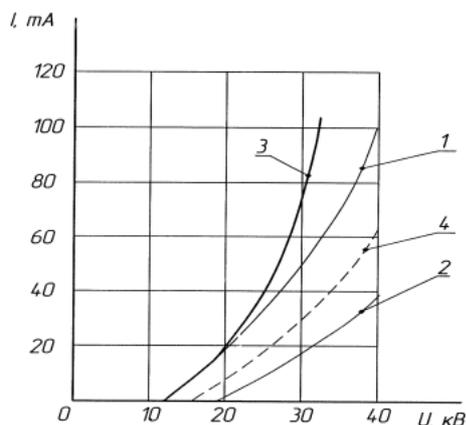


Рисунок 11

Функционирование предлагаемого коронирующего элемента происходит следующим образом. При подаче на электроды электрофильтра питания от источника высокого напряжения происходит первоначально зажигание короны на вершинах отогнутых коронирующих наконечников (рисунки 1,2,3; поз.2), выполненных согласно рисунку 10.

Как показали многочисленные эксперименты напряжение зажигания этих наконечников находится на уровне 12 кВ (рисунок 11, кривая 1) и менее. По мере повышения напряжения, приложенного к электрофильтру, при его величине 18...22кВ происходит зажигание короны на коронирующих наконечниках, расположенных в плоскости корпуса (рисунок 7, поз. 3; рисунок 11, кривая 2).

Начиная с напряжения выше 18 кВ, происходит сложение токов вольтамперных характеристик 1 и 2 с получением результирующей вольтамперной характеристики 3.

Из сравнения вольтамперных характеристик видно, что при одном и том же рабочем напряжении предлагаемый коронирующий элемент обеспечивает ток при напряжении выше 12 кВ, а при напряжении выше 22 кВ в 1,5...2 раза больше, чем ток от известных коронирующих элементов. К тому же предлагаемый элемент коронирующего электрода имеет острые концы коронирующих отогнутых наконечников, которые выполнены с уступом или срезом. Технический эффект от выполнения острого конца с уступом или срезом поясняется следующим:

Известно [11], что в случае треугольного наконечника коронирующая поверхность (рисунок 10, линия а-а) может быть аппроксимирована цилиндрическим проводником и напряженностью  $\epsilon_u$  выражается формулой:

$$\epsilon_u = \frac{K_1}{R_u}$$

В случае четырехгранной призмы коронирующая поверхность может быть аппроксимирована шаровой (или овальной, или сферической) поверхностью и напряженностью  $\epsilon_{ш}$  выражается формулой:

$$\epsilon_{ш} = \frac{K_1}{R_{ш}^2}$$

где  $K_1$  – постоянная величина.

$R_{ц}$ ,  $R_{ш}$  – радиусы кривизны коронирующей поверхности.

В нашем случае радиусы кривизны цилиндра и шара можно принять равными, т.к. углы при вершине треугольного наконечника и три угла четырехугольной призмы равны (четвертый угол в плоскости среза

гарантированно меньше остальных углов). В результате действия более высоких напряженностей на шаровой поверхности происходит более раннее зажигание короны, чем на цилиндрической, что способствует созданию более высокого тока короны и, следовательно, повышенной степени очистки газов электрофильтром. Следует отметить, что для обеспечения овалного конца уступа или срезы могут выполняться с обеих сторон поверхности наконечника. В этом случае сферический конец может располагаться в любом месте на грани а-а (рисунок 10), а углы между срезами и плоскостью наконечника могут быть различны, но в любом случае больше угла при вершине.

Выполненные уступы или срезы наряду с обеспечением более острого конца наконечника из-за того, что радиус кривизны уступа (угол между срезом и плоскостью наконечника) больше радиуса кривизны наконечника (угла при вершине), также положительно влияют на результирующую вольтамперную характеристику.

Таким образом, предлагаемый коронирующий элемент создает вольтамперную характеристику, состоящую из двух и более характеристик, что обеспечивает более пониженное напряжение зажигания короны и более высокие токи короны при одних и тех же напряжениях и, следовательно, более высокую степень очистки газов в электрофильтре.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специальной оснастки и новой технологии. Уступы могут быть получены в результате выполнения операции надрезки с помощью, например, механических ножниц: при этом кромка металла (торцевая часть корпуса элемента) вначале сминается, а затем происходит отрыв части металла от образовавшегося конца

Описанная конструкция устройства «Коронирующий электрод с дополнительными точками коронирования» не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [12].

## **Электрофильтр с верхним встряхиванием электродов высотой до 18 метров**

Широкое применение в отечественной пылегазоочистке нашли электрофильтры типа ЭГА, ЭГД, ЭГ, ЭГБМ и др. [1]. В них осадительные электроды подвешены на балках подвеса, которые в свою очередь устанавливаются на полках ригелей корпусов электрофильтров. Механизмы встряхивания осадительной системы расположены в нижней части корпуса в предбункерном пространстве. Отряхивание каждого из электродов осуществляется боковыми ударами молотков по балкам встряхивания на нижних концах элементов. Коронирующие электроды рамной конструкции с помощью кронштейнов крепятся к рамам подвеса, установленным на опорных и опорно-проходных изоляторах. На рамах подвеса монтируются валы с молотками. Каждый электрод отряхивается отдельным молотком. Число валов по высоте зависит от типоразмера и модификации электрофильтра.

Указанные фильтры имеют следующие недостатки:

- большие межполюсные пространства из-за установки рам подвеса коронирующей системы и механизмов встряхивания осадительных электродов;
- большая масса коронирующей системы, основную долю которой составляют рамы подвеса;
- недостаточный уровень ремонтпригодности механизмов встряхивания электродных систем;
- необходимость установки дополнительных полей для достижения требуемой эффективности пылеулавливания из-за нерационального использования межполюсного пространства, что приводит к увеличению габаритных размеров корпусов сухих электрофильтров;
- увеличение числа полей в электрофильтрах связано с увеличением числа составных частей, узлов и деталей механического и электротехнического оборудования, что снижает уровень надежности работы электрофильтра, и, особенно, ремонтпригодность;
- при встряхивании коронирующих электродов в ударном взаимодействии участвуют не только массы молотков и коронирующих электродов, но и массы рам подвеса, что существенно ухудшает динамические характеристики коронирующей системы электрофильтра;
- невозможность установки в этих аппаратах электродных систем большой высоты, в особенности, коронирующих электродов, из-за необходимости применения нескольких уровней встряхивания по высоте электрофильтра. Это существенно снижает надежность и ремонтпригодность электрофильтра.

Известна коронирующая система электрофильтра [13], в которой она включает в себя раму подвеса с верхним и нижним горизонтальными элементами и вертикальными элементами, коронирующие электроды закреплены в горизонтальных элементах рамы подвеса. Рама разделена по горизонтали на части, между которыми расположена балка встряхивания с наковальней, упором и ударным механизмом.

При этой системе также невозможна установка электродных систем большой высоты, в особенности,

коронирующих электродов, из-за необходимости применения нескольких уровней встряхивания по высоте электрофильтра. Это также существенно снижает надежность и ремонтпригодность электрофильтра. Необходимость установки дополнительных полей для достижения требуемой эффективности пылеулавливания из-за нерационального использования межполюсного пространства также приводит к увеличению габаритных размеров корпусов электрофильтров.

Наиболее близким к предлагаемому устройству по технической сущности, решаемой технической задаче и совокупности общих существенных признаков является устройство, раскрытое в [14] и принятое за прототип.

В этом электрофильтре с целью эффективного использования активной зоны механизмы встряхивания электродных систем находятся в верхней части корпусов аппаратов. Электрофильтр содержит осадительные и коронирующие электроды, образующие активную зону, и механизмы встряхивания, расположенные над активной зоной. Каждый коронирующий электрод включает в себя раму с вертикальными и горизонтальными стержнями, между которыми вертикально закреплены коронирующие элементы.

Недостатком этого электрофильтра является невозможность применения электродных систем большой высоты из-за недостаточной степени их очистки от пыли при верхнем расположении механизмов встряхивания. Удар молотка механизма встряхивания коронирующей системы производится по боковому стержню рамы, вследствие этого происходит значительное затухание ударного импульса по всей раме. Передача ударного импульса приходящего на электроды, зависит от длины стержней рамы, что также снижает эффективность встряхивания коронирующей электродной системы. При встряхивании коронирующих электродов одним молотком, в ударном взаимодействии участвует вся масса коронирующей системы. Из-за большего соотношения массы коронирующей системы и молотка существенно снижаются динамические характеристики, а, следовательно, эффективность встряхивания всех коронирующих электродов, что также не позволяет расширить активную зону электрофильтра.

Технической задачей заявленного изобретения и достигаемый при ее решении технический результат заключается в повышении уровня ускорений, возникающих при ударе на элементах электродных систем предлагаемого электрофильтра, и, следовательно, увеличении эффективности их встряхивания, с другой стороны, в максимальном использовании и увеличении активной зоны электрофильтра, уменьшении габаритов электрофильтра, повышении надежности и ремонтпригодности его работы.

Указанный технический результат достигается тем, что горизонтальный многополюсный электрофильтр содержит осадительные и коронирующие электроды, образующие активную зону, и механизмы встряхивания, расположенные над активной зоной. Каждый коронирующий электрод включает в себя раму с вертикальными и горизонтальными стержнями, между которыми вертикально закреплены коронирующие элементы. Каждый коронирующий электрод разделен по вертикали на две части, между которыми расположена соединительная решетка. Соединительная решетка представляет собой вертикально ориентированный стержень с горизонтально прикрепленными к нему отрезками трубы, охватывающими с зазором концы упомянутых горизонтальных стержней рамы для стыковки между собой упомянутых двух частей коронирующего электрода в одной плоскости. Одновременно отрезки трубы выполняют роль упоров при встряхивании упомянутых частей коронирующего электрода в вертикальном направлении.

Каждая из упомянутых частей коронирующего электрода подпружинена и снабжена вертикально расположенным стержнем встряхивания с наковальней и расположенным над ней ударным устройством.

Кроме того, в частных случаях реализации изобретения:

- упомянутый вертикальный стержень соединительной решетки может быть выполнен в виде трубы;
- вертикальные и горизонтальные стержни рамы могут быть выполнены в виде трубы;
- число горизонтальных стержней рамы в каждом из упомянутых частей электрода, между которыми закреплены коронирующие элементы, могут быть больше двух;
- снизу упомянутые две части коронирующего электрода могут быть соединены между собой посредством соединительной планки, с которой каждая из этих двух частей электрода соединена шарнирно.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата.

Возможность осуществления изобретения, охарактеризованного приведенной выше совокупностью признаков, а также возможность реализации назначения изобретения может быть подтверждена описанием возможной конструкции устройства, выполненной в соответствии с изобретением, сущность, которая поясняется графическими материалами, на которых изображено следующее:

На рисунке 12 изображен продольный разрез предлагаемого горизонтального многополюсного электрофильтра. На рисунке 13 показан вид А (соединение частей коронирующего электрода с помощью соединительной решетки).

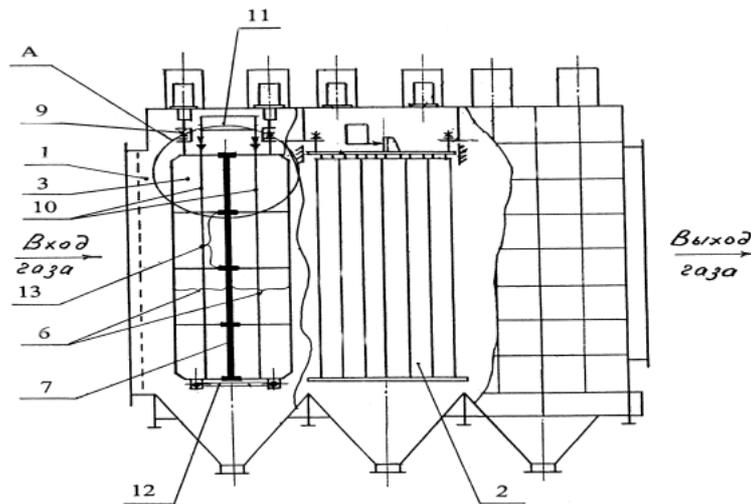


Рисунок 12

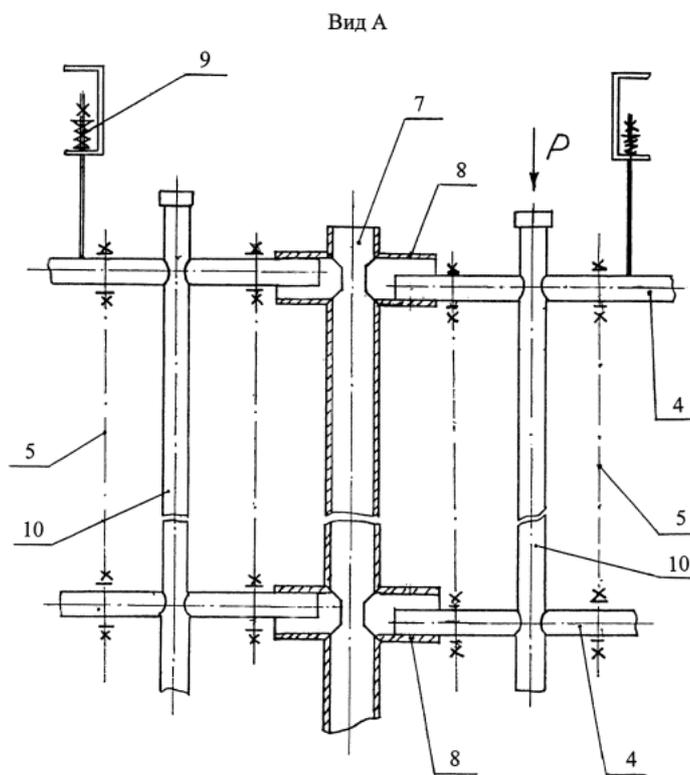


Рисунок 13

Горизонтальный многопольный электрофильтр состоит из корпуса 1, внутри которого параллельно движению газа расположены параллельно друг относительно друга осадительные электроды 2, между которыми расположены коронирующие электроды 3 образующие между собой активную зону. Все эти электроды расположены в несколько рядов и подвешены на изоляторах. Снизу, под электродами, расположены бункеры для осаждаемой пыли. Каждый коронирующий электрод 3 включает раму с вертикальными и горизонтальными стержнями 4 (рисунок 13), между которыми вертикально закреплены коронирующие элементы 5 (рисунок 13). Каждый коронирующий электрод 3 разделен по вертикали на две части 6, между которыми расположена соединительная решетка 7. Соединительная решетка 7 представляет собой вертикально ориентированный стержень с горизонтально прикрепленными к нему отрезками трубы 8 (рисунок 13), охватывающими с зазором концы упомянутых горизонтальных стержней 4 рамы для стыковки между собой упомянутых двух частей 6 коронирующего электрода 3 в одной плоскости. Одновременно отрезки трубы 8 выполняют роль упоров при встряхивании, частей 6 коронирующего электрода в вертикальном направлении. Каждая из частей 6 коронирующего электрода подпружинена посредством пружин 9 и установлена на опорном или опорно-проходном изоляторе и снабжена вертикально расположенным стержнем

встряхивания 10 с наковальней и расположенным над ней ударным устройством механизма встряхивания 11. Стержень встряхивания 10 прикреплен к горизонтальным стержням 4 в каждой из частей 6 коронирующего электрода 3 примерно посередине. Снизу упомянутые две части 6 коронирующего электрода могут быть соединены между собой посредством соединительной планки 12, с которой каждая из двух частей 6 электрода соединена шарнирно.

Соединительная решетка 7 своими горизонтально установленными отрезками трубы 8 свободно опирается на концы горизонтальных стержней 4 рамы обеих частей 6 коронирующего электрода 3 по всей его высоте.

Осадительный электрод 2 состоит из осадительных элементов, которые своими верхними концами жестко скреплены с балкой подвеса. Каждая балка подвеса шарнирно установлена на тросах и снабжена двумя упорами по одному упору с каждой стороны осадительного электрода. Встряхивание каждого осадительного электрода осуществляется одним ударным устройством.

Встряхивание коронирующих электродов 3 в предлагаемом горизонтальном многопольном электрофилт্রে происходит следующим образом.

При ударе ударным устройством механизма встряхивания 11 по одной из частей 6 коронирующего электрода, как показано на рисунке 2, часть ударной энергии преобразуется в колебания коронирующих элементов 5, жестко закрепленных в полурамах 13. Другая часть ударного импульса переходит в кинематическую энергию перемещения всей части 6 в направлении удара и происходит соударения концов горизонтальных стержней 4 с горизонтальными участками отрезков труб 8 соединительной решетки 7 по всей высоте коронирующего электрода 3. Вследствие этого, кинематическая энергия перемещения части 6 коронирующего электрода 3 и при её торможении преобразуется в дополнительную энергию колебаний коронирующих элементов 5 и происходит интенсивная очистка от пыли тех коронирующих элементов 5 электрофилтра, которые установлены в нижней части коронирующего электрода 3 – наиболее удаленной от точки удара в районе предбункерного пространства, а также крайних коронирующих элементов полурам 13 наиболее удаленных от соединительной решетки 7 в обе стороны от нее.

Такое конструктивное исполнение механизма встряхивания коронирующих электродов повышает уровень ускорений, возникающих при ударе на элементах электродов, что позволяет увеличить число полурам в рамках коронирующих электродов по высоте и ширине электрофилтра при его неизменных габаритах и, следовательно, максимально использовать и увеличить активную зону электрофилтра, повысить надежность и ремонтпригодность его работы за счет снижения числа полей.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специальной оснастки и новой технологии.

Описанная в данном примере и изображенная на рисунках 12 и 13 конструкция устройства не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [15].

## **Электрофилтр с уменьшенным расстоянием между полями, верхним встряхиванием коронирующих электродов и боковым встряхиванием осадительных электродов в напряженном состоянии**

Известен электрофилтр [1 (С. 4-7)], состоящий из корпуса, пластинчатых осадительных электродов, элементы которого подвешены к балке подвеса с закрепленной балкой встряхивания, и коронирующих электродов рамной конструкции. Встряхивание коронирующих электродов осуществляется молотковым механизмом.

К недостаткам этого филтра относится недостаточная эффективность встряхивания осадительных электродов из-за потери ударной энергии, которая расходуется на перемещение балки встряхивания с элементами в направлении удара в плоскости электрода.

Известна конструкция электрофилтра [1 (С. 11-12)], в которой для повышения эффекта ударного взаимодействия балка встряхивания эксцентрично подвешена по отношению к ударному молотку. Однако эта конструкция работоспособна лишь при свободной установке осадительных элементов в пазах балки встряхивания. К тому же после ударного взаимодействия свободно установленные осадительные элементы теряют гарантированный контакт с балкой встряхивания, что снижает надежность встряхивания.

Наиболее близким к предлагаемому устройству по технической сущности, решаемой технической задаче и совокупности общих существенных признаков является устройство, раскрытое в [16] и принятое за прототип.

Согласно ему электрофилтр содержит корпус, коронирующие электроды с коронирующими элементами и осадительные электроды, каждый из которых включает в себя осадительные элементы, подвешенные

к балке подвеса и прикрепленные к балке встряхивания, ударные механизмы встряхивания упомянутых электродов.

В этом электрофилтре осадительные элементы смещены от ударного механизма и за счет жесткости элементов гарантированно контактируют с балкой встряхивания. Однако при этом нарушается соосность осадительных элементов с коронирующими, что приводит к нарушению однородности электрического поля и, как следствие, к снижению степени очистки газов.

Технической задачей заявленного изобретения и достигаемый при ее решении технический результат заключается в повышении эффективности встряхивания осадительных электродов, в максимальном использовании и увеличении активной зоны электрофилтра, повышении надежности его работы.

Указанный технический результат достигается тем, что электрофилтр содержит корпус, коронирующие электроды с коронирующими элементами и осадительные электроды, каждый из которых включает в себя осадительные элементы, подвешенные к балке подвеса и прикрепленные к балке встряхивания снизу, ударные механизмы встряхивания упомянутых электродов. Осадительные элементы прикреплены к балке подвеса жестко. Ближний к ударному механизму балки подвеса конец балки подвеса приподнят по отношению к противоположному концу, а балка встряхивания осадительного электрода смещена в плоскости осадительного электрода от ударного механизма в направлении удара и зафиксирована фиксатором для принятия осадительными элементами положения, параллельное, или близкое к параллельному, коронирующим элементам.

Кроме того, в частных случаях реализации изобретения:

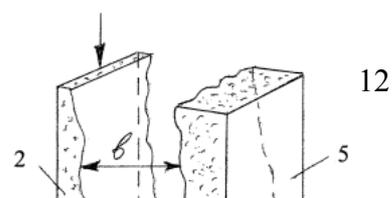
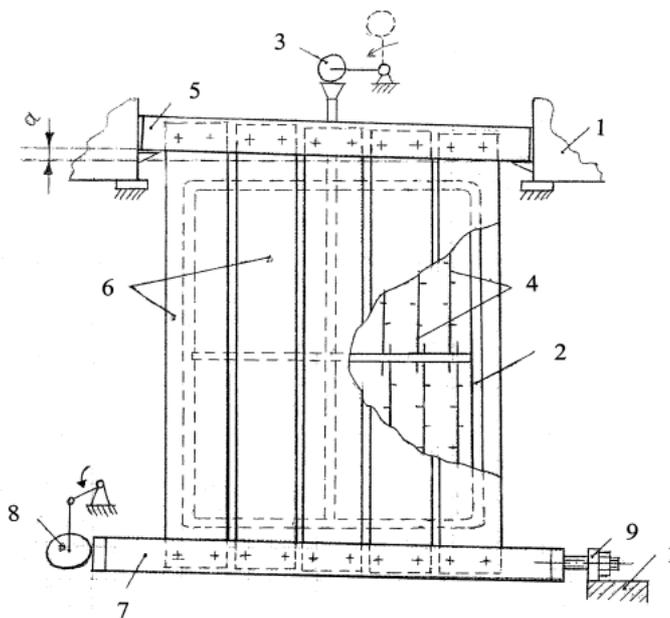
- ближний к ударному механизму балки подвеса конец балки подвеса приподнят посредством устройства подъема-опускания.

- ударный механизм встряхивания коронирующих электродов расположен сверху.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата.

Возможность осуществления изобретения, охарактеризованного приведенной выше совокупностью признаков, а также возможность реализации назначения изобретения может быть подтверждена описанием возможной конструкции устройства, выполненной в соответствии с изобретением, сущность, которая поясняется графическими материалами, на которых изображено следующее:

На рисунке 14 изображен продольный разрез предлагаемого электрофилтра. На рисунке 15 показана опора балки подвеса осадительного электрода со стороны ударного механизма и расположение на ней балки подвеса. На рисунке 16 показана опора балки подвеса осадительного электрода с противоположной стороны ударного механизма и расположение на ней балки подвеса. На рисунке 17 показано распределение пыли на электродах при взаимно противоположных ударных воздействиях (указаны стрелками) по электродам, обеспечивающее равномерный электрический режим по всей плоскости электродов.



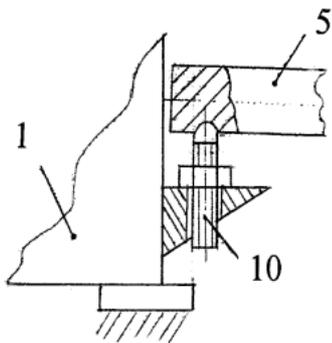


Рисунок 15

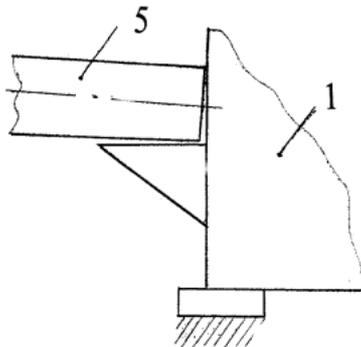


Рисунок 16

Рисунок 17

Предлагаемый электрофильтр включает в себя корпус 1, коронирующие электроды 2 с коронирующими элементами 4 и с ударным механизмом 3, расположенным сверху. Также электрофильтр содержит осадительные электроды. Конструкция осадительного электрода состоит из балки подвеса 5, жестко подвешенных к ней осадительных элементов 6 и прикрепленной к ним снизу балки встряхивания 7, а также включает в себя ударный (молотковый) механизм 8 и фиксатор 9 балки встряхивания 7. Балка подвеса 5 приподнята со стороны ударного механизма на величину «а». Опора балки подвеса 5 осадительного электрода со стороны ударного механизма 8 может быть регулируемой посредством устройства подъема-опускания 10.

Встряхивание осадительных электродов в предлагаемом электрофильтре происходит следующим образом. Обычно (например, в конструкции прототипа) осадительные элементы свободно подвешены, как правило, на болтах, к балке подвеса. В результате при ударном воздействии ударного механизма появляются перемещения плоскости электрода, как в направлении удара, так и возможны низкочастотные колебания осадительных элементов, и как следствие происходит потеря энергии ударного воздействия ударного механизма.

Для исключения этих потерь и повышения эффективности встряхивания, балку встряхивания 5 в предлагаемом электрофильтре совместно с жестко закрепленными с ней осадительными элементами 6 приподнимают на величину «а», что позволяет выбрать все зазоры. При дальнейшем подъеме осадительные элементы 6 будут терять соосность с коронирующими элементами 4, поэтому балка встряхивания 7 посредством фиксатора 9 смещается в сторону от ударного механизма в направлении удара в плоскости электрода до восстановления соосности, или параллельности, осадительных элементов 6 и коронирующих элементов 4 и фиксируется в этом положении. Система осадительных электродов при этом приобретает жесткую конструкцию и работает с повышенной эффективностью встряхивания и степени очистки. Осадительный электрод, в зависимости от величины подъема конца балки подвеса 5 «а» и в зависимости от нее смещения балки встряхивания 7 приобретает различную степень жесткости, а, следовательно, появляется возможность регулирования уровня встряхивания осадительных электродов.

Повышение уровня встряхиваемости электродов наряду с ужесточением конструкции происходит также из-за более полного ударного взаимодействия ударного механизма 8 и балки встряхивания 7.

На рисунке 15 показан вариант устройства подъема-опускания 10 балки подвеса 5, которое позволяет по мере необходимости, зависящей от вида пыли, достигать той или иной жесткости осадительных элементов 6 и тем самым гарантировать отряхиваемость различных видов пылей. Устройство подъема-опускания 10 может представлять собой обычную резьбовую пару с контргайкой.

Жесткость крепления каждого осадительного элемента 6 к балки подвеса 5 достигается, например, за счет наличия двух болтов крепления вместо одного, как в прототипе.

Такая конструкция осадительных электродов с системой отряхивания в сочетании с коронирующей системой отряхивания сверху позволяет достигать повышенной степени очистки электрофильтра. Предлагаемый электрофильтр за счет того, что встряхивание электродов осуществляется с противоположных направлений (коронирующих сверху, а осадительных снизу) и с высокой эффективностью обладает повышенным уровнем пробивных напряжений, а также вторичный унос пыли осуществляется более равномерно по сечению электрофильтра, что снижает отрицательные его последствия на степень очистки газов.

На рисунке 17 показано распределение пыли на электродах при взаимно противоположных ударных воздействиях (указаны стрелками) по электродам, обеспечивающее равномерный электрический режим по всей плоскости электродов. Расстояние «в» между пылевыми отложениями после удара сохраняется по высоте электродных систем, что обеспечивает устойчивый электрический режим.

Такое конструктивное исполнение электрофильтра повышает надежность и эффективность его работы.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специ-

альной оснастки и новой технологии.

Описанная в данном примере и изображенная в графических материалах конструкция устройства не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [17].

## **Электрофильтр с валом-изолятором, защищенным электростатическими полями от загрязнения пылью**

Известны электрофильтры типа ЭГА, ЭГД, ЭГБМ и др. [1]. В них пыль с коронирующих электродов удаляется с помощью механизмов встряхивания, установленных на рамах подвеса коронирующих электродов, расположенных сбоку от электродной системы в промежутке между полями. Привод механизмов встряхивания в таких электрофильтрах расположен на крышке электрофильтра. С помощью электродвигателя, редуктора через высоковольтный изолятор, соединительные узлы и тяги привод поднимает и сбрасывает молотки, которые встряхивают коронирующие электроды методом удара.

Указанные электрофильтры имеют недостаток – большой промежуток между полями по ходу газа для обеспечения необходимого разрядного промежутка между тягами соседних полей.

Известна конструкция электрофильтров с механизмами встряхивания коронирующих электродов, вынесенными из межполюсного промежутка в верхнюю часть электрофильтра, в пространство над электродами, например электрофильтры типа 4хFTA-4х37.5М-1 16-1 35 фирмы АВВ.

В этом случае межполюсный промежуток можно занимать электродами и, таким образом, эффективно использовать объем корпуса.

Недостаток этой конструкции – горизонтальное расположение вал-изолятора, приводящее к ускоренному запылению изолятора, что приводит к снижению пробивной прочности изолятора по поверхности и снижению надежности этого узла в целом.

Техническая задача заявленного изобретения и достигаемый при ее решении результат заключаются в повышении показателей надежности электрофильтра путем предотвращения запыления поверхности вал-изолятора, исключении или снижения вероятности пробоев по поверхности изолятора и уменьшении габаритов привода механизмов встряхивания коронирующих электродов.

Указанный технический результат достигается тем, что электрофильтр содержит электроды, корпус, механизм встряхивания коронирующих электродов с выходным валом, вал-изолятор, редуктор и электродвигатель.

Выходной вал механизма встряхивания снабжен параллельным плоскости корпуса диском с отогнутым в сторону корпуса краем. Диаметр диска больше диаметра проходного отверстия в корпусе, по центру которого проходит вал. Края отверстия и диска расположены концентрично.

Кроме того, в частных случаях реализации изобретения часть изолятора со стороны проходного отверстия закрыта сплошным металлическим стаканом в виде усеченного полого конуса, закрепленным соосно изолятору на его высоковольтном конце.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата.

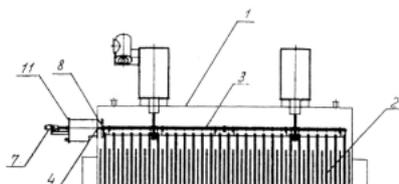
Возможность осуществления изобретения, охарактеризованного приведенной выше совокупностью признаков, а также возможность реализации назначения изобретения могут быть подвержены описанию возможной конструкции устройства, выполненной в соответствии с изобретением, сущность которого поясняется графическими материалами, на которых изображено следующее:

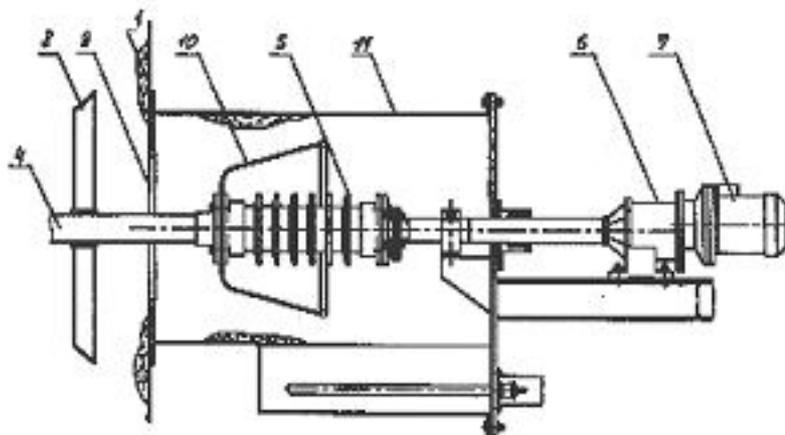
На фиг. 1 изображен поперечный разрез предлагаемого электрофильтра.

На фиг. 2 показан узел привода механизма встряхивания коронирующих электродов.

Электрофильтр включает в себя корпус 1, внутри которого расположены осадительные и коронирующие электроды 2, механизмы встряхивания коронирующих электродов 3 с выходным валом 4, вал-изолятор 5, редуктор 6, электродвигатель 7. На выходном валу 4 закреплен диск с отогнутым краем 8, расположенный напротив проходного отверстия 9, через которое вал 4 соединен с вал-изолятором 5. На конце вал-изолятора со стороны проходного отверстия закреплен конусообразный стакан 10. Конструкция вал-изолятора закрыта кожухом 11, закрепленным на корпусе 1 электрофильтра.

Механизм встряхивания коронирующих электродов в предлагаемом электрофильтре работает следующим образом. Крутящий момент от электродвигателя 7 через редуктор 6 и вал-изолятор 5 передается на молотковый вал механизма встряхивания 3, который, вращаясь, поднимает и сбрасывает молотки, которыми встряхиваются коронирующие электроды.





Фиг.2

Фиг. 1

При этом запыленный газ из внутренней части электрофильтра может поступать к вал-изолятору 5 через проходное отверстие 9. Поскольку механизм встряхивания 3 электрически соединен с коронирующими электродами, диск 8 находится под высоким напряжением, и между краями диска и корпусом 1 электрофильтра возникает коронный разряд, в электрическом поле которого заряжается и осаждается пыль, попадающая в пространство между диском и корпусом.

Для того чтобы обеспечить максимальный эффект осаждения пыли, диск 8, который вращается в процессе работы механизма встряхивания, должен быть установлен соосно проходному отверстию.

Если через проходное отверстие произойдет проникновение отдельных частиц, эти частицы, имея заряд, попадают в зону электростатического поля между стаканом 10 и кожухом 11.

Чем дальше в кожух попадают частицы, тем сильнее на них действует электростатическое поле, что обусловлено формой стакана и расположением его в кожухе.

При работе электрофильтра под разрежением в кожухе 11 напротив стакана 10 выполняются отверстия, через которые всасывается воздух и пыль создаваемым потоком, которые через проходное отверстие 9 заносятся назад внутрь корпуса. Это дополнительно снижает запыление вал-изолятора 5. Такое техническое решение позволяет защитить изолятор от загрязнения его поверхности пылью, уменьшить вероятность пробоя изолятора по поверхности, минимизировать длину пути утечки по поверхности изолятора и, следовательно, повысить надежность электрофильтра при минимальных габаритах привода.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специальной оснастки и новой технологии. Приведенная в данном описании и изображенная на фиг. 1 и 2 конструкция устройства не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [18].

## **Электрофильтр с верхним встряхиванием коронирующих электродов и дополнительным устройством встряхивания в виде коромысла в нижней части**

Изобретение относится к электрической очистке отходящих дымовых газов котельных агрегатов большой мощности, в первую очередь на тепловых электростанциях в условиях ограниченных размеров котельных ячеек.

Известны электрофильтры типа ЭГД [1]. Эти электрофильтры – одно- или двухсекционные двухъярусные аппараты прямоугольной формы, включают в себя три, четыре и пять электрических полей, установленных в каждом ярусе последовательно по ходу газа. Активная зона в каждом ярусе электрофильтров состоит из осадительных электродов (плоских полотен, набранных из пластинчатых элементов специального профиля) и коронирующих электродов (трубчатых рам, в которых натянута коронирующие элементы). В каждом ярусе осадительные электроды подвешены на балках подвеса, которые, в свою очередь, устанавливаются на полках ригелей корпусов электрофильтров. Механизмы встряхивания осадительных

электродов верхнего яруса расположены на половине высоты корпуса электрофильтра, а механизмы встряхивания осадительных электродов нижнего яруса – в предбункерном пространстве. Отряхивание каждого из электродов обоих ярусов осуществляется боковыми ударами молотков по балкам встряхивания на нижних концах элементов.

Коронирующие электроды рамной конструкции с помощью кронштейнов крепятся к рамам подвеса, установленным в каждом ярусе на опорных и опорнопроходных изоляторах. На рамах подвеса монтируются валы с молотками. Каждый электрод в каждом ярусе отряхивается отдельным молотком. Число валов по высоте зависит от типоразмера и модификации электрофильтра.

Указанные фильтры имеют следующие недостатки:

- в каждом ярусе электрофильтра большие межполюсные пространства из-за установки рам подвеса коронирующей системы и механизмов встряхивания осадительных электродов;
- большая масса коронирующей системы, устанавливаемой на изоляторах в каждом ярусе, основную долю которой составляют рамы подвеса; большое число изоляторов, агрегатов питания и других элементов электротехнического оборудования;
- недостаточный уровень ремонтпригодности внутреннего механического и электротехнического оборудования в каждом ярусе электрофильтра;
- при встряхивании коронирующих электродов в ударном взаимодействии участвуют не только массы молотков и коронирующих электродов, но и массы рам подвеса, что существенно ухудшает динамические характеристики коронирующих систем каждого яруса электрофильтра;
- невозможность установки в этих аппаратах электродных систем большой высоты, в особенности коронирующих электродов, из-за недостаточной, в первую очередь, степени отряхиваемости этих электродов и необходимости применения нескольких уровней встряхивания по высоте электрофильтра. Увеличение высоты электродных систем в этом электрофильтре достигается путем установки двух ярусов электродов. Это приводит к увеличению габаритов корпуса электрофильтра, массы внутреннего механического и электротехнического оборудования и снижению надежности и ремонтпригодности электрофильтра;
- необходимость установки дополнительных полей в ярусах электрофильтров для достижения требуемой эффективности пылеулавливания из-за нерационального использования межполюсного пространства, что приводит также к увеличению габаритных размеров корпусов этих электрофильтров;
- увеличение числа полей в электрофильтрах связано с увеличением числа составных частей, узлов и деталей механического и электротехнического оборудования, что снижает уровень надежности работы электрофильтра и особенно его ремонтпригодность.

Наиболее близким к предлагаемому устройству по технической сущности решаемой технической задаче и совокупности общих существенных признаков является устройство, раскрытое в патенте №221093 от 10 сентября 2001 г., В 03 С 3/40, принятое за прототип.

В этом электрофильтре с целью использования активной зоны механизмы встряхивания электродных систем находятся в верхней части корпусов аппаратов. Горизонтальный многополюсный электрофильтр содержит осадительные и коронирующие электроды, образующие активную зону, и механизмы встряхивания, расположенные над активной зоной. Каждый коронирующий электрод включает раму вертикальными и горизонтальными стержнями, между которыми вертикально закреплены коронирующие элементы. Каждый коронирующий электрод разделен по вертикали на две части, между которыми расположена соединительная решетка. Соединительная решетка представляет собой вертикально ориентированный стержень с горизонтально прикрепленными к нему обрезками трубы, охватывающими с зазором концы упомянутых горизонтальных стержней рамы для стыковки между собой упомянутых двух частей коронирующего электрода в одной плоскости. Одновременно отрезки трубы выполняют роль упоров при встряхивании упомянутых частей коронирующего электрода в вертикальном направлении. Каждая из упомянутых частей коронирующего электрода подпружинена и снабжена вертикально расположенным стержнем встряхивания с наковальней и расположенным над ней ударным устройством.

Кроме того, в частных случаях реализации изобретения:

- упомянутый вертикальный стержень соединительной решетки может быть выполнен в виде трубы;
- вертикальные и горизонтальные стержни рамы могут быть выполнены в виде трубы;
- число горизонтальных стержней рамы в каждой из упомянутых частей электрода, между которыми закреплены коронирующие элементы, может быть больше двух;
- снизу упомянутые две части коронирующего электрода могут быть соединены между собой посредством соединительной планки, с которой каждая из этих двух частей электрода соединена шарнирно.

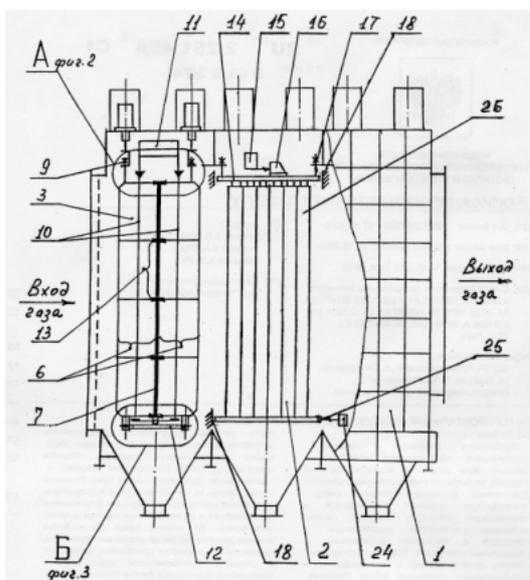
Осадительный электрод состоит из осадительных элементов, которые своими верхними концами жестко скреплены с балкой подвеса. Каждая балка подвеса шарнирно установлена на тягах и снабжена упорами по одному упору с каждой стороны осадительного электрода.

Недостатком этого электрофильтра является невозможность применения электродных систем большой

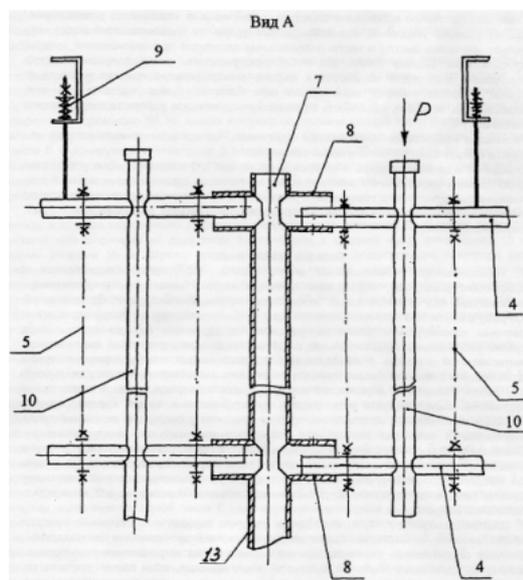
высоты при соотношении высоты электродов к их ширине более чем в 5-8 раз в зависимости от числа осадительных элементов в электроде. Применение электродов большой высоты при верхнем расположении механизмов встряхивания приводит к снижению степени очистки электродов от пыли. При встряхивании электрода любого типа одним молотком в ударном взаимодействии участвует вся масса электрода большой высоты. Из-за большого соотношения массы любой электродной системы и молотка существенно снижаются динамические характеристики, а следовательно, эффективность отряхивания электродов, что не позволяет расширить активную зону электрофильтра за счет увеличения высоты электрода.

Технической задачей заявленного изобретения и достигаемый при ее решении технический результат заключаются в повышении уровня ускорений, возникающих при ударе на элементах электродных систем предлагаемого электрофильтра, и, следовательно, увеличении эффективности их отряхивания, с другой стороны, в максимальном использовании и увеличении активной зоны электрофильтра, уменьшении габаритов электрофильтра, повышении надежности и ремонтпригодности его работы.

Указанный технический результат достигается тем, что горизонтальный многопольный электрофильтр содержит осадительные и коронирующие электроды большой высоты, образующие активную зону, механизмы встряхивания коронирующих электродов, расположенные над активной зоной, и механизмы встряхивания осадительных электродов, расположенные над активной зоной и в нижней части электрофильтра. Каждый коронирующий электрод включает раму с вертикальными и горизонтальными стержнями, между которыми вертикально закреплены коронирующие элементы. Каждый коронирующий электрод разделен по вертикали на две части, между которыми расположена соединительная решетка, в нижней части которой прикреплено дополнительное устройство для поочередного встряхивания обеих частей коронирующего электрода. Решетка представляет собой вертикально ориентированный стержень с горизонтально прикрепленными к нему отрезками трубы, охватывающими с зазором концы упомянутых горизонтальных стержней рамы для стыковки между собой упомянутых двух частей коронирующего электрода в одной плоскости. Одновременно отрезки трубы выполняют роль упоров при встряхивании частей коронирующего электрода в вертикальном направлении. Каждая из упомянутых частей электрода подпружинена и снабжена вертикально расположенным стержнем встряхивания с наковальней и расположенным над ней ударным устройством. На нижнем конце вертикально ориентированного стержня соединительной решетки шарнирно закреплено коромысло, на каждом конце которого установлены наковальни для соударения с упомянутыми вертикальными стержнями рамы и поочередного встряхивания обеих частей коронирующего электрода в вертикальном направлении.



Фиг. 1



Фиг. 2

Каждый осадительный электрод включает нижнюю и верхнюю балки встряхивания, между которыми вертикально закреплены осадительные элементы. Верхняя балка установлена шарнирно на двух тягах, снабжена в средней части наковальней и двумя упорами по одному упору с каждой стороны осадительного электрода. Нижняя балка встряхивания снабжена с одной стороны упором, а с другой – наковальней.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата.

Возможность осуществления изобретения, охарактеризованного приведенной выше совокупностью признаков, а также возможность реализации назначения изобретения может быть подтверждена описанием возможной конструкции устройства, выполненной в соответствии с изобретением, сущность которого поясняется графическими материалами, на которых изображено следующее:

На фиг. 1 изображен продольный разрез продольного горизонтального многопольного электрофильтра.

На фиг. 2 показан вид А (соединение частей коронирующего электрода с помощью соединительной решетки).

На фиг. 3 показан вид Б (дополнительное устройство для поочередного встряхивания обеих частей коронирующего электрода).

Горизонтальный многопольный электрофильтр включает корпус 1, внутри которого параллельно движению газа расположены параллельно друг относительно друга осадительные электроды 2, между которыми расположены коронирующие электроды 3, образующие между собой активную зону. Все эти электроды расположены в несколько рядов и подвешены на изоляторах. Снизу, под электродами, расположены бункеры для осаждаемой пыли.

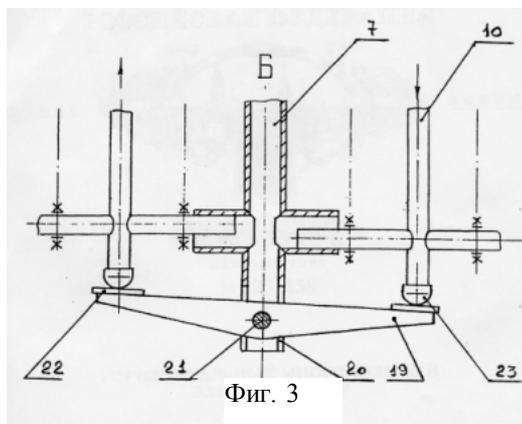
Каждый коронирующий электрод 3 включает раму с вертикальными и горизонтальными стержнями 4 (фиг. 2), между которыми вертикально закреплены коронирующие элементы 5 (фиг. 2). Каждый коронирующий электрод 3 разделен по вертикали на две части 6, между которыми расположена соединительная решетка 7. Соединительная решетка 7 представляет собой вертикально ориентированный стержень с горизонтально прикрепленными к нему отрезками трубы 8 (фиг. 2), охватывающими с зазором концы упомянутых горизонтальных стержней 4 рамы для стыковки между собой упомянутых двух частей 6 коронирующего электрода 3 в одной плоскости. Одновременно отрезки трубы 8 выполняют роль упоров при встряхивании частей 6 коронирующего электрода в вертикальном направлении. Каждая из частей 6 коронирующего электрода подпружинена посредством пружин 9 и установлена на опорном или опорно-проходном изоляторе и снабжена вертикально расположенным стержнем встряхивания 10 с наковальней и с расположенным над ней ударным устройством механизма встряхивания 11. Стержень встряхивания 10 прикреплен к горизонтальным стержням 4 в каждой из частей 6 коронирующего электрода 3 примерно посередине. Снизу упомянутые две части 6 коронирующего электрода могут быть соединены между собой посредством соединительной планки 12, с которой каждая из двух частей 6 электрода соединена шарнирно.

Соединительная решетка 7 своими горизонтально установленными отрезками трубы 8 свободно опирается на концы горизонтальных стержней 4 рамы обеих частей 6 коронирующего электрода 3 по всей его высоте. На нижнем конце вертикально ориентированного стержня соединительной решетки 7 (фиг. 3) с помощью шарнира 21 закреплено коромысло 19, на концах которого со стороны каждой части 6 коронирующего электрода установлены наковальни 22. На нижнем конце стержня встряхивания 10 каждой 7 части 6 коронирующего электрода 3 напротив наковален 22 коромысла 19 закреплены бойки 23. Для свободного поворота коромысла 19 в плоскости коронирующего электрода на шарнире 21 на нижнем конце вертикально ориентированного стержня соединительной решетки 7 предусмотрены продольные пазы 20.

Каждый осадительный электрод 2 включает нижнюю и верхнюю балки встряхивания, между которыми вертикально закреплены осадительные элементы 26. Верхняя балка 14 установлена шарнирно на двух тягах 17, снабжена в средней части наковальней 16 и двумя упорами 18 по одному упору с каждой стороны осадительного электрода (по авторскому свидетельству 472690). Встряхивание каждого осадительного электрода по наковальне 16 верхней балки 14 осуществляется одним ударным устройством механизма встряхивания 15. Нижняя балка встряхивания снабжена с одной стороны упором 18 (фиг. 1), а с другой – наковальней 25, по которой осуществляется встряхивание осадительного электрода ударным устройством механизма встряхивания 24.

Встряхивание коронирующих электродов 3 в предлагаемом горизонтальном многопольном электрофильтре происходит следующим образом.

При ударе ударным устройством механизма встряхивания 11 по одной из частей 6 коронирующего электрода, как показано на фиг. 2, часть ударной энергии преобразуется в колебания коронирующих элементов 5, жестко закрепленных в полурамах 13. Другая часть ударного импульса переходит в кинематическую энергию перемещения всей части 6 в направлении удара и происходит соударение концов горизонтальных стержней 4 с горизонтальными участками отрезков труб 8 соединительной решетки 7 по всей высоте коронирующего электрода 3. Одновременно происходит соударение бойков 23 стержней встряхивания 10 перемещающейся и неподвижной частей 6 коронирующего электрода 3 с наковальнями 22 коромысла 19, как показано на фиг. 3. Вследствие этого кинематическая



энергия переходит в кинематическую энергию перемещения всей части 6 в направлении удара и происходит соударение концов горизонтальных стержней 4 с горизонтальными участками отрезков труб 8 соединительной решетки 7 по всей высоте коронирующего электрода 3. Одновременно происходит соударение бойков 23 стержней встряхивания 10 перемещающейся и неподвижной частей 6 коронирующего электрода 3 с наковальнями 22 коромысла 19, как показано на фиг. 3. Вследствие этого кинематическая

энергия перемещения одной части 6 коронирующего электрода 3 и при ее торможении преобразуется в дополнительную энергию колебаний коронирующих элементов 5 перемещающейся и неподвижной частей 6 коронирующего электрода 3. Таким образом, происходит интенсивная очистка от пыли тех коронирующих элементов 5, которые установлены в нижней части коронирующего электрода 3 – наиболее удаленной от точки удара в районе предбункерного пространства, а также крайних коронирующих элементов полурам 13, наиболее удаленных от соединительной решетки 7 в обе стороны от нее.

Аналогичным способом производится встряхивание осадительных электродов предлагаемого горизонтального многопольного электрофильтра. При ударе ударным устройством механизма встряхивания 15 по наковальне 16 часть ударной энергии преобразуется в колебания осадительных элементов 26, жестко связанных с верхней балкой встряхивания 14, другая часть ударного импульса переходит в кинематическую энергию перемещения верхней балки встряхивания 14 с осадительными элементами 26 в направлении удара и происходят возвратно-поступательные соударения верхней балки встряхивания 14 с упорами 18. Вследствие этого кинематическая энергия перемещения верхней балки встряхивания и при ее торможении преобразуется в колебания крайних, наиболее удаленных от точки удара осадительных элементов осадительного электрода 2. Встряхивание нижней части осадительного электрода в предбункерном пространстве осуществляется ударным устройством механизма встряхивания 24 по наковальне 25 и соударениями нижней балки встряхивания с нижним упором 18.

Такое конструктивное исполнение электродных систем и их механизмов встряхивания повышает уровень ускорений, возникающих при ударе на элементах электродов, что позволяет увеличить высоту и число осадительных элементов при соотношении высоты электродов к их ширине более чем в 5-8 раз, увеличить число полурам в рамках коронирующих электродов по высоте и ширине электрофильтра при его неизменных габаритах и, следовательно, максимально использовать и увеличить активную зону электрофильтра, повысить надежность и ремонтпригодность его работы за счет снижения числа полей.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специальной оснастки и новой технологии.

Описанная в данном примере и изображенная на фиг. 1, 2 и 3 конструкция устройства «Горизонтальный многопольный электрофильтр» не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [19].

## **Электрофильтр с частотным преобразователем для регулирования частоты и периодичностью встряхивания электродов**

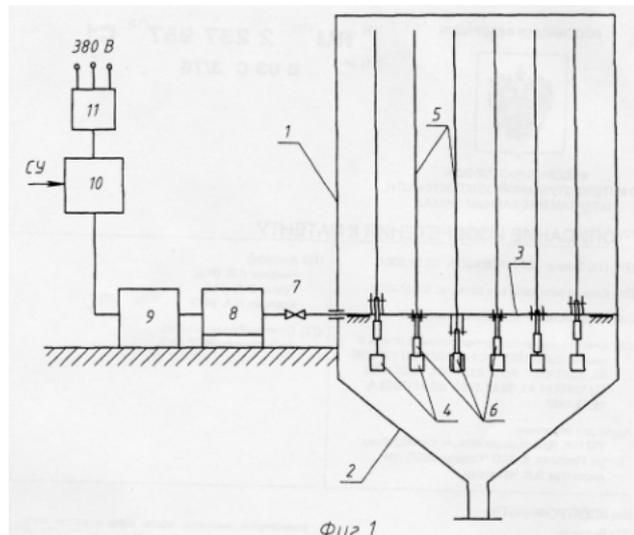
Известен электрофильтр, включающий корпус, электроды с наковальнями, вал встряхивания с молотками, редуктор, электродвигатель с устройством включения в сеть [20. С. 289].

Известный аппарат обладает недостаточной эффективностью, т.к. регулировка степени очистки осуществляется лишь включением электродвигателя на определенные интервалы встряхивания. При этом устройство включения электродвигателя связано с сигналом управления [20. С. 294].

Наиболее близким по техническому решению является электрофильтр по авторскому свидетельству № 311662 [21], включающий корпус, электроды с наковальнями, вал встряхивания с молотками, вариатор, электродвигатель с устройством для включения в сеть. В данной конструкции аппарата повышение степени очистки достигается управлением частоты вращения встряхивающего вала с помощью вариатора.

К недостаткам известного решения относятся сложность управления вариатором и инерционность регулирования степени очистки электрофильтра, приводящие к недостаточной эффективности аппарата. Степень очистки резко снижается в период встряхивания, и поэтому требуется максимально сократить этот период. Технической задачей заявляемого изобретения и достигаемый при решении технический результат заключается в повышении степени очистки электрофильтров путем регулирования скорости вращения электродвигателя частотным преобразователем или другим устройством управления скоростью вращения, при обеспечении оптимальных технических параметров сборочных единиц и деталей встряхивающего механизма. Указанный технический результат достигается тем, что электрофильтр включает в себя корпус с бункером, электроды с наковальнями, по которым посредством вала встряхивания и молотков на нем производятся удары для удаления с электродов слоя накопленной пыли. На валу встряхивания молотки равномерно смещены относительно друг друга как вдоль вала, так и вокруг него. При этом смещение вдоль вала находится в диапазоне 200÷500 мм, а масса молотков составляет 3÷10 кг; рычаг молотка имеет длину 195÷800 мм, рычаг вала имеет длину 40÷200 мм, а диаметр вала находится в диапазоне 30÷100 мм. Вал встряхивания приводится во вращение электродвигателем с редуктором через соединительное устройство.

Сигнал управления подается на частотный преобразователь с диапазонами регулирования скорости вращения электродвигателя от  $1 \div 5$  до  $1 \div 100$ . Под диапазонами регулирования имеется в виду снижение синхронной скорости вращения  $n_0$  электродвигателя до 5-ти раз  $\left(\frac{n_0}{1} \div \frac{n_0}{5}\right)$  и до 100 раз  $\left(\frac{n_0}{1} \div \frac{n_0}{100}\right)$ . При этом редуктор имеет передаточное число в диапазоне  $200 \div 600$ ; электродвигатель имеет синхронную скорость вращения в диапазоне  $750 \div 1500$  об/мин и мощность в диапазоне  $50 \div 250$  Вт.



Фиг. 1

Сущность изобретения поясняется графическими материалами, на которых изображено:

- на фиг. 1 показана схема предлагаемого электрофильтра;

- на фиг. 2 показана схема вала встряхивания, его поперечное сечение с молотком.

На фиг. 1: поз. 1 – корпус; поз. 2 – бункер; поз. 3 – электроды; поз. 4 – наковальни электродов; поз. 5 – вал встряхивания; поз. 6 – молотки; поз. 7 – соединительное устройство; поз. 8 – редуктор; поз. 9 – электродвигатель; поз. 10 – частотный преобразователь; поз. 11 – устройство включения;

На фиг. 2: поз. 12 – рычаг молотка; поз. 13 – рычаг вала.

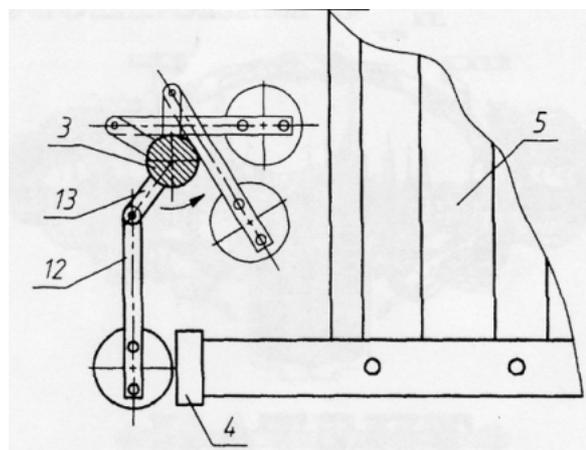
Предложенный электрофильтр работает следующим образом.

Устройством включения 11 электродвигатель 9 подключается к сети. Сигнал управления СУ через частотный преобразователь 10 задает требуемую скорость вращения электродвигателя (например, минимальную). При этом сигнал управления сформирован таким образом, чтобы электродвигатель 9 плавно начал вращаться, и без удара были бы выбраны все зазоры в редукторе 8, соединительном устройстве 7 и т.д.

За это время крутящий момент электродвигателя достигает плавно максимального значения и вращает вал встряхивания 3, который обычно засыпан пылью и его момент трогания выше, чем рабочий момент.

После трогания вала встряхивания с места сигнал управления задает требуемую скорость вращения электродвигателя и соответственно через редуктор задается требуемая скорость вращения вала встряхивания и соответственно требуемая частота ударов молотков 6 по наковальням 4. Энергия от ударов молотков по наковальням передается на электроды бис них стряхивается в бункер 2 пыль, осевшая в поле коронного разряда электрофильтра. Чем выше входная запыленность в электрофильтр и чем лучше улавливается пыль, тем быстрее накапливается она на электродах.

Существует оптимальная масса пыли на электроде, при достижении которой электрод надо встряхнуть и очистить от пыли, чтобы обеспечить максимальную степень очистки электрофильтром. Так как газораспределение на входе в электрофильтр стараются обеспечить равномерным, оптимальная масса пыли накапливается на всех электродах, связанных в секциях одним валом встряхивания, одновременно. В этот момент сигнал управления через частотный преобразователь увеличивает скорость вращения вала встряхивания до максимального значения. Молотки быстро поворачиваются вместе с валом и ударяют по наковальням, и вся секция быстро встряхивается. Встряхнуть необходимо как можно быстрее, т.к. в момент встряхивания степень очистки электрофильтра падает.



Фиг. 2.

Пыль, отряхнутая с электродов, падает в бункер 2 и может перегрузить его и корпус 1, а также снизить степень очистки за счет пыления из бункера. Поэтому время встряхивания электродов не должно быть меньше величины, за которую пыль выводится из бункера, и он не переполнится.

Когда оптимальная масса пыли на электродах будет большая (а она зависит от свойств пылевой среды, поступающей в электрофильтр), может потребоваться разбиение встряхивания секции электрофильтра на части и осуществлять быстро поворот вала встряхивания на часть оборота.

В других случаях пыль отряхивается с электродов плохо и можно ее отряхнуть за два и более ударов молотка о каждый электрод. Тогда вал встряхивания делает несколько оборотов, встряхивая каждый электрод несколько раз. Таким образом, сигналом управления через частотный преобразователь, электродвигатель

тель, редуктор, вал встряхивания и молотки можно гибко управлять массой пыли на электродах и обеспечивать максимальную степень очистки электрофильтром.

Экспериментально установлено, что если диапазон регулирования частотного преобразователя менее 1-5, изменения скорости вращения электродвигателя и соответственно частоты встряхивания при минимальной и максимальной скоростях недостаточно, чтобы достичь оптимальной массы пыли на электродах. Если диапазон регулирования более 1-100, то появляется нереализуемый запас по диапазону частоты встряхивания электродов, а схема преобразователя усложняется.

Если редуктор брать с передаточным числом менее 200, то электродвигатель требуется повышенной мощности и массы; если брать с передаточным числом более 600, то увеличивается масса редуктора, снижается его коэффициент полезного действия и нельзя достичь скорости вращения молоткового вала, нужной для быстрого встряхивания больших секций электродов.

Электродвигатель с синхронной скоростью вращения более 1500 об/мин требует большого диапазона регулирования преобразователя и имеет недостаточный крутящий момент. При синхронной скорости вращения электродвигателя менее 750 об/мин возрастает его масса и мощность и соответственно цена.

При вышеперечисленных параметрах уменьшение мощности электродвигателя менее 50 Вт ведет к работе с перегрузкой, перегреву и снижению срока службы. Электродвигатель с мощностью более 250 Вт недогружен, имеет завышенную массу и работает с низким КПД и  $\cos \varphi$ .

Для обеспечения равномерного отряхивания электродов при одинаковой скорости нарастания слоя частиц на каждом электроде до оптимальной величины молотки на валу смещены относительно друг друга равномерно как вдоль, так и вокруг него. При этом молотки вдоль вала имеют смещение в диапазоне 200÷500 мм. При расстоянии менее 200 мм происходит передача части энергии от удара молотка о наковальню соседним электродам, что приводит к нарушению оптимального слоя пыли на этих электродах. К тому же близкое расположение электродов вызывает вторичный унос пыли с соседних электродов из-за воздействия части падающих конгломератов пыли на слой соседних электродов.

При расстоянии более 500 мм между молотками оптимальный слой пыли будет нарастать быстрее, что потребует более частого соударения молотков по наковальням и, как следствие, к преждевременному их разрушению, а также других частей электрофильтра.

Что касается смещения молотков вокруг вала, то угол смещения зависит от высоты электрода и определяется временем падения пыли с наивысшей точки осадительного электрода.

Экспериментально установлено, что для электродов высотой от 7,5 метров до 18 метров необходима масса молотка от 3 до 10 килограммов. Масса менее 3 кг создает недостаточно ударной энергии, а масса более 10 кг приводит к преждевременным разрушениям наковален и других частей электрофильтра. К тому же, с увеличением массы молотка большая часть ударной энергии тратится на создание пластической деформации в зоне удара, а не на упругую деформацию, посредством которой ударная энергия поступает к частям электрода. Энергия удара молотка о наковальню, наряду с массой молотка, зависит от длины рычагов молотка 12 и вала 13.

Рычаги молотка имеют длину 195÷800 мм. Нижний предел характеризует минимальную скорость соударения, а верхний предел – максимальную, приводящую к преждевременным разрушениям при ударах. К тому же, с увеличением рычага возрастает момент на валу, а, следовательно, и нагрузка на электродвигатель. Рычаги вала встряхивания имеют длину 40–200 мм, а диаметр вала находится в диапазоне 30–100 мм. Данные диапазоны размеров находятся в зависимости от длины рычагов молотков и обусловлены критерием минимальности момента на валу встряхивания при прокручивании вала.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специальной оснастки и новой технологии [22].

## **Комбинированный пылеулавливающий аппарат электрофильтр – рукавный фильтр**

Изобретение относится к области очистки газа от пыли и может быть использовано в энергетике, черной и цветной металлургии, цементной и в других отраслях промышленности.

Известны электрофильтры, которые широко применяются для очистки газа от пыли [23. С. 197-234]. Их преимуществом является большая концентрация пыли в очищаемом газе – выше  $50 \text{ г/м}^3$ , а недостатком – неудовлетворительная очистка газа от высокодисперсной и высокоомной пыли, т.е. пыли с высоким удельным электрическим сопротивлением. Остаточная концентрация пыли в очищенном газе составляет десятки и более  $\text{мг/м}^3$ , что не всегда удовлетворяет современным требованиям.

Для очистки газа от пыли используют также тканевые фильтры [7. С. 169-193]. Их недостатком является ограниченная концентрация пыли в очищаемом газе – от единиц до  $50 \text{ г/м}^3$ . При этом необходима очень частая регенерация рукавов, что резко снижает их срок службы. Чем ниже входная концентрация пыли в

рукавный фильтр, тем реже регенерация и тем больше срок службы рукавов и надежность работы рукавного фильтра. Преимуществом тканевых фильтров является эффективная очистка газа от высокодисперсной и высокоомной пыли. При этом остаточная концентрация пыли в очищенном газе может составлять единицы  $\text{мг/м}^3$ . Задача предлагаемого технического решения – разработка пылеулавливающего аппарата, обеспечивающего максимальную степень очистки газа независимо от концентрации пыли в очищаемом газе, от дисперсности и от удельного электрического сопротивления пыли с большим ресурсом между ремонтами.

Поставленная задача решается предлагаемым пылеулавливающим аппаратом, отличительные особенности которого состоят в том, что последовательно за электрофильтром установлен тканевый фильтр с соотношением активных объемов фильтра к электрофильтру  $0,1-0,9$ , а электрофильтр и фильтр расположены в одном или в разных корпусах.

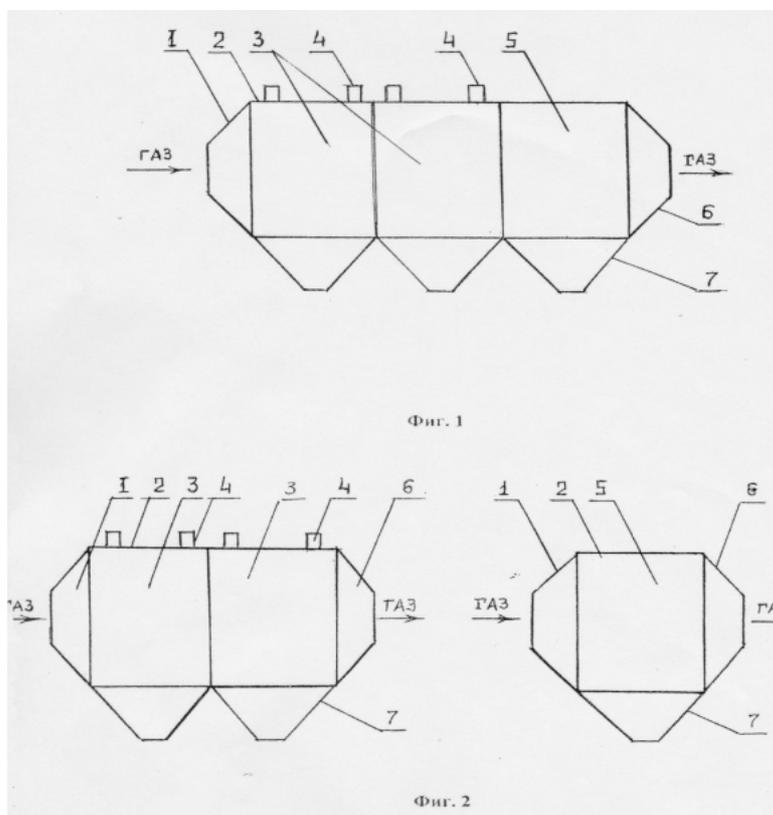
На фиг. 1 приведен пылеулавливающий аппарат в одном корпусе, а на фиг. 2 – в двух корпусах. Здесь газ входит в диффузор 1, очищается сначала в электрофильтре 3, состоящем, например, из двух полей, а затем в тканевом фильтре 5 и выходит из конфузора 6. Высокое напряжение в электрофильтр подается через изоляторы 4, а уловленная пыль поступает в бункера 7. Корпус 2 является единым для всего аппарата на фиг. 1 и отдельным для электрофильтра и тканевого фильтра на фиг. 2.

Активным объемом электрофильтра является объем аппарата, который занимает электродная система, а в тканевом фильтре – объем аппарата, занимаемый фильтрационными элементами.

Соотношение активных объемов фильтра к электрофильтру  $0,1-0,9$  создает нормальные эксплуатационные условия для фильтра даже при максимальной концентрации пыли на входе электрофильтра –  $100 \text{ г/м}^3$  и ресурсной работы рукавов до 5-6 лет и более. При соотношении активных объемов фильтра к электрофильтру менее  $0,1$  газовая нагрузка на фильтрующие элементы становится недопустимо большой, что ведет к увеличению гидравлического сопротивления фильтроэлементов и прекращению процесса фильтрации. Это требует увеличения интенсивности регенерации и ведет к разрыву рукавов.

При соотношении активных объемов фильтра и электрофильтра более  $0,9$  концентрация пыли на входе в фильтр возрастает. Это приводит к увеличению частоты регенерации фильтроэлементов и снижению срока службы рукавов и увеличению выбросов пыли из пылеулавливающего аппарата.

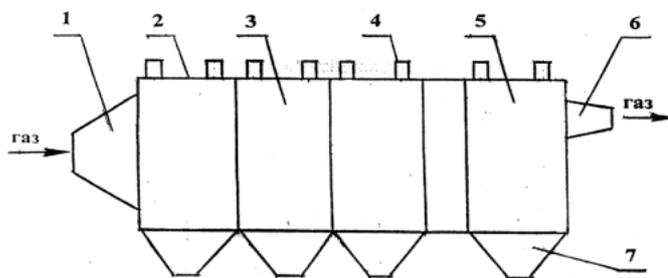
Применение предложенного пылеулавливающего аппарата обеспечивает максимальную степень очистки газа независимо от свойств пыли и обеспечивает требуемый межремонтный цикл [24].



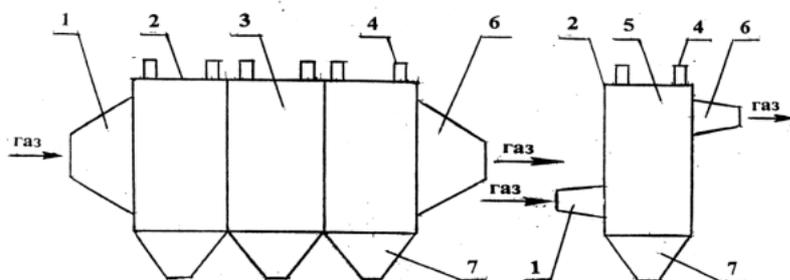
**Комбинированный пылеулавливающий аппарат,  
 позволяющий очистить выбросы ТЭС, сжигающие экибастузские угли,**

## дешевле, чем электрофильтр, до выходной запыленности менее $30 \text{ мг/м}^3$

Изобретение относится к области очистки газа от пыли и может быть использовано в энергетике, черной и цветной металлургии, цементной промышленности и в других отраслях промышленности. Известны сухие горизонтальные электрофильтры, которые широко используются для очистки газа от пыли [25, стр. 197-216]. Их преимуществом является большая концентрация пыли в очищаемом газе – до  $50 \text{ г/м}^3$  и выше, а недостатком относительно высокая концентрация пыли на выходе аппарата: десятки и более  $\text{мг/м}^3$ , что не всегда удовлетворяет современным требованиям.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Основной причиной недостаточной эффективности работы таких электрофильтров является наличие неактивных зон внутри аппарата, через которые проходит неочищенный газ. Неактивные зоны находятся в верхней и нижней частях аппарата, а также между корпусом и крайними осадительными электродами. Здесь отсутствует электрическое поле, в котором очищается газ. Неактивные зоны обычно перекрывают газоотражательными устройствами, однако это полностью не предотвращает перегоки неочищенного газа.

Для тонкой очистки газа от высокодисперсной пыли или жидкости используют сухие или мокрые вертикальные трубчатые электрофильтры, в которых отсутствуют неактивные зоны и газ может очищаться до остаточной концентрации единицы  $\text{мг/м}^3$  [25, стр.218-221]. Недостатком таких аппаратов является небольшая массовая концентрация пыли в очищаемом газе.

Задача предлагаемого технического решения - разработка сухого комбинированного пылеулавливающего аппарата, обеспечивающего максимальную степень очистки газа независимо от концентрации пыли в очищаемом газе, от электрического сопротивления пыли и от дисперсного состава пыли.

Поставленная задача решается предлагаемым сухим комбинированным пылеулавливающим аппаратом, отличительные особенности которого состоят в том, что последовательно за пластинчатым горизонтальным электрофильтром установлен вертикальный сухой трубчатый электрофильтр с соотношением активных объемов вертикального к горизонтальному электрофильтру  $0,1-0,9$ . Активным объемом электрофильтра является объем, занимаемый электродной системой.

Соотношение активных объемов электрофильтров  $0,1-0,9$  создает нормальные условия эксплуатации для вертикального трубчатого электрофильтра: концентрацию пыли в газе на входе аппарата на уровне нескольких  $\text{г/м}^3$ . Конкретное соотношение объемов электрофильтров выбирается в зависимости от концентрации пыли в очищаемом газе, чтобы обеспечить необходимую остаточную концентрацию пыли в очищенном газе, например, не более  $20 \text{ мг/м}^3$ . Минимальное соотношение активных объемов электрофильтров  $0,1$  может использоваться при большой концентрации пыли в очищаемом газе, например до  $100 \text{ г/м}^3$ . Максимальное соотношение активных объемов электрофильтров  $0,9$  может иметь место при небольшой концентрации пыли в очищаемом газе, например, на уровне нескольких  $\text{г/м}^3$ .

На фиг.1 приведен комбинированный пылеулавливающий аппарат в одном корпусе, а на фиг.2 - в двух корпусах. Здесь газ входит в диффузор 1, очищается сначала в горизонтальном пластинчатом электро-

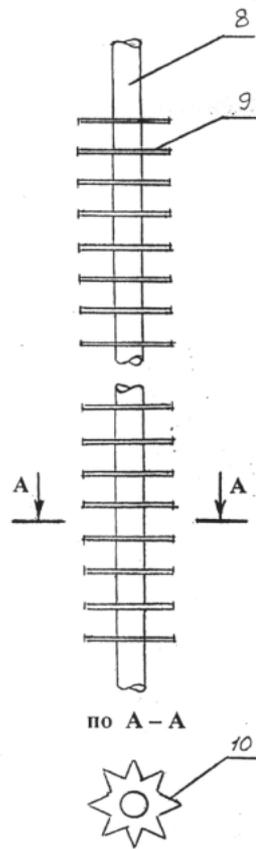
фильтре 3, состоящем, например, из трех полей, а затем в вертикальном трубчатом электрофильтре 5 и выходит из конфузора 6. Высокое напряжение в электрофильтры подается через изоляторы 4, а уловленная пыль поступает в бункера 7. Корпус 2 является единым для всего аппарата на фиг.1 и отдельным для каждого электрофильтра на фиг.2.

Очистка электродов в обоих электрофильтрах может осуществляться механическим путем, например традиционным ударно-молотковым встряхиванием электродов. Для исключения повторного уноса пыли встряхивание электродов может происходить при отключенной секции аппарата от газа. В вертикальном трубчатом электрофильтре может использоваться дополнительная очистка электродов путем их периодической промывки жидкостью, особенно при улавливании высокоомной пыли с удельным электрическим сопротивлением более  $10^8$  Ом-м, когда в электрофильтре возникает обратная корона, снижающая степень очистки газа. При этом вертикальный трубчатый электрофильтр разделен на ряд секций, каждая из которых отключается от газа при периодической промывке электродов.

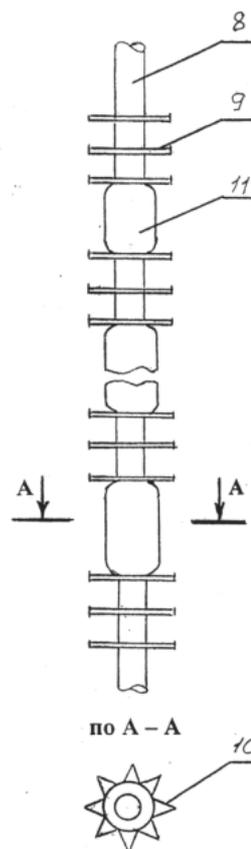
Для достижения максимальной степени очистки газа в вертикальном трубчатом электрофильтре могут использоваться интенсивные коронирующие электроды игольчатого типа, создающие равномерное распределение токов короны по поверхности трубчатых осадительных электродов. Такой коронирующий электрод приведен на фиг.3. Он состоит из основания 8, на котором укреплены диски 9 с иглами 10.

При улавливании высокоомной пыли, приводящей к обратной короне, могут использоваться комбинированные коронирующие электроды, состоящие из чередующихся зон игольчатых электродов и трубчатых электродов. В последних отсутствует ток короны и не может возникать обратная корона. Такой электрод представлен на фиг.4, где на основании 8 укреплены диски 9 с иглами 10 и трубки 11.

Применение комбинированного аппарата обеспечивает максимальную степень очистки газа независимо от концентрации пыли в очищаемом газе, от электрического сопротивления пыли и ее дисперсного состава, так как тонкая очистка газа осуществляется в вертикальном трубчатом электрофильтре [26].



Фиг. 3.



Фиг. 4.

**Электрофильтр, обеспечивающий выбросы меньше  $20 \text{ мг/м}^3$**

Изобретение относится к области электрических методов улавливания аэрозолей. Известен вертикальный электрофильтр, например электрофильтр типа УВ, в котором очищенный газ подается снизу группы коронирующих и осадительных электродов (активной зоны), а выходит сверху уже очищенным.

Недостаток такого электрофильтра – ограниченное время пребывания очищаемого газа между коронирующими и осадительными электродами в активной зоне и, соответственно, недостаточная степень очистки. Для устранения этого недостатка применяют горизонтальные пластинчатые электрофильтры, например горизонтальные аппараты типа УГ, ЭГА, УГТ, где время пребывания очищаемого газа ограничено только длиной электрофильтра и может быть существенно больше, чем у вертикального фильтра, и, соответственно, степень очистки более высокая.

Чтобы снизить влияние снижения рабочих напряжений, например, по причине зарастания пылью, более интенсивного в начале электрофильтра, коронирующие и осадительные электроды по длине электрофильтра объединяют в группы и под каждой группой электродов в корпусе электрофильтра выполняют бункер. Вверху коронирующие и осадительные электроды в горизонтальном электрофильтре подвешиваются к корпусу, при этом между ними и корпусом возникает промежуток без поля коронного разряда. Образуются неактивные зоны - органический недостаток группы электродов, когда газ проходит горизонтально. Через верх групп электродов и ниже их, через бункер, через неактивные зоны, всегда имеет место проскок частиц. Принимаются различные меры снижения проскока частиц через неактивные зоны, но это приводит к увеличению металлоемкости горизонтального электрофильтра, а устранить полностью явление проскока частиц через неактивные зоны не удается, так как при любой конструкции перегородок при горизонтальном ходе газа всегда должен оставаться промежуток, исключающий электрический пробой частей, находящихся под высоким (до 80 кВ и выше) напряжением на заземленные части корпуса аппарата. Поэтому в горизонтальном электрофильтре получение выходной запыленности ниже 100-50 мг/м<sup>3</sup> является проблематичным.

1. Для устранения имеющихся недостатков аналога и прототипа - ограничений длины активной зоны и исключения явлений проскока частиц через неактивные зоны электрофильтра - осадительные и коронирующие электроды объединены в группы, имеющие в первых по ходу газа группах электродов горизонтальное движение газа, а в последней группе - вертикальное, при этом выход газа перенесен на верх последней группы электродов. Кроме того, отношение поверхности осаждения  $S_1$  (м<sup>2</sup>) активной зоны электрофильтра, где газ идет горизонтально, к количеству поступающего в эту зону газа  $Q_1$  (м<sup>3</sup>/с) составляет  $115 > S_1/Q_1 > 76$ , а отношение поверхности осаждения  $S_2$  (м<sup>2</sup>) активной зоны электрофильтра, где газ идет вертикально, к количеству поступающего в эту зону газа  $Q_2$  (м<sup>3</sup>/с) составляет  $76 > S_2/Q_2 > 38$ .

2. По п.1 формулы изобретения электрофильтр отличается тем, что последних групп, где газ идет вертикально, несколько. Это позволяет оптимизировать режимы отряхивания электродов и их питание.

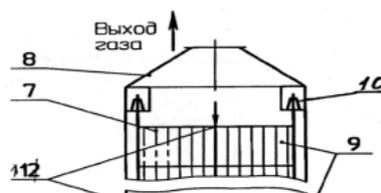
3. По п.1 электрофильтр отличается тем, что в каждой группе, где газ идет вертикально, коронирующие и осадительные электроды встряхиваются со стороны выхода очищенного газа. Это позволяет снизить износ механизмов встряхивания, способствует лучшему распределению отряхивающих ускорений.

4. Электрофильтр по п.1 отличается тем, что уловленная на электродах пыль со всех последних групп, где газ идет вертикально, отряхивается в один бункер. Такое расположение последних групп позволяет снизить расход металла.

5. Электрофильтр по п.1 отличается тем, что коронирующие элементы во всех группах электродов расположены поперек хода газа. При таком расположении газ всегда проходит через поле короны, при прохождении газа в самой активной зоне наличие неактивных зон исключается.

6. Электрофильтр по п.1, отличающийся тем, что в последних группах, где очищаемый газ идет вертикально, осадительные электроды и корпус образуют каналы, имеющие общую поверхность для осаждения уловленных частиц, и коронирующие электроды расположены на равном расстоянии от осадительного электрода и внутренней поверхности корпуса электрофильтра так, что создают коронный разряд и в сторону части поверхности канала, образованной корпусом.

7. Электрофильтр по п.6, отличающийся тем, что часть поверхности канала, образованная осадительными электродами и корпусом, имеет форму половины цилиндра с осью, по которой расположены коронирующие участки поверхности коронирующего электрода. Такое расположение коронирующих электродов относительно корпуса полностью исключает возможность существования неактивных зон и, таким образом, исключает проскок частиц пыли.



- Сущность изобретения поясняется чертежами (фиг.1, фиг.2). Фиг.1. Общий вид электрофилтра
- 1 - корпус электрофилтра 2 - устройство входа очищаемого газа
  - 3 - коронирующие электроды с вертикально расположенными элементами, образующие группы, где газ идет горизонтально
  - 4 - осадительные электроды, где газ идет горизонтально
  - 5 - группы, где очищаемый газ идет горизонтально
  - 6 - осадительные электроды, группы, где газ идет вертикально
  - 7 - коронирующие электроды с горизонтально расположенными элементами, образующие группы, где газ идет вертикально
  - 8 - устройство выхода очищенного газа
  - 9 - группы, где очищаемый газ идет вертикально
  - 10 - изоляторная коробка
  - 11 - механизмы встряхивания коронирующих и осадительных электродов
  - 12 - корпус электрофилтра, где газ идет вертикально
  - 13 - бункеры
- Фиг.2. Разрез сечения корпуса, где газ идет вертикально
- 14 - внутренняя плоская часть корпуса, где происходит осаждение пыли в поле коронного разряда
  - 15 - часть корпуса, имеющая форму половины цилиндра.

Корпус электрофилтра (1), (9) представляет собой несущие конструкции прямоугольной формы, закрытые металлическими листами. Снизу корпус электрофилтров снабжен бункерами (13) для сбора уловленной пыли. Электрофилтр снабжен устройствами входа и выхода газа (2), (8). Осадительные электроды (4) и коронирующие электроды (3) расположены в каждой группе (5) и образуют активные зоны, где газ проходит горизонтально, а элементы коронирующих электродов расположены вертикально.

Осадительные электроды (6) и коронирующие (7) образуют в каждой группе (9) активную зону, где газ проходит вертикально, и элементы коронирующих электродов расположены горизонтально. Стенки корпуса (12) электрофилтра, где газ идет вертикально (фиг.2), выполнены плоскими (14) и в форме полуцилиндра (15). Уловленная в электрофилтре пыль после ее отряхивания поступает в бункеры (13).

Корпус электрофилтра, где газ идет вертикально, может быть расположен над последней группой, где газ идет горизонтально. При реконструкции электрофилтров может также частично располагаться и над конфузуром (выходным устройством), где газ идет горизонтально.

Функционирование электрофилтра осуществляется следующим образом: очищаемый газ поступает в корпус (1) электрофилтра, где газ идет горизонтально, через устройство входа газа (2). Далее газ поступает в активную зону, состоящую из коронирующих (3) и осадительных (4) электродов, и проходит горизонтально через группы

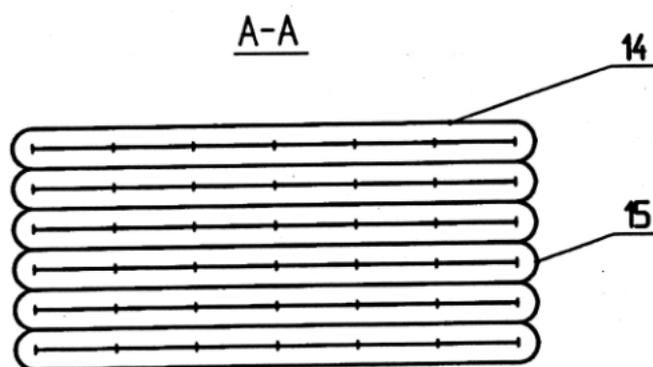
Из последней части группы (5) газ поступает в одну или несколько групп (9), где проходит вертикально. Активная зона групп электродов (9) образована осадительными (6) и коронирующими (7) электродами. Очищенный от пыли газ выходит через устройство выхода очищенного газа (8). Электроды группы (9) расположены в корпусе (12), стенки которого (Фиг.2, вид А-А) имеют плоскую форму (14) и форму полуци-

линдра (15). Уловленная во всех группах пыль периодически удаляется с помощью механизмов встряхивания с электродов и под действием своего веса падает в бункеры (13), откуда удаляется устройствами для транспортировки пыли. При горизонтальном движении газа через группы электродов он очищается до уровня, когда влияние проскока частиц через неактивные зоны становится существенным. Например, количество частиц, прошедших через активные зоны, на выходе из очередной группы электродов становится равным количеству частиц, прошедших через неактивные зоны. Последняя группа электродов, где газ идет горизонтально, устанавливается у задней стенки корпуса, а верх корпуса над ней открыт, и очищаемый газ поворачивает вверх. Длина электродов этой группы по ходу газов выполняется необходимой для обеспечения времени пребывания частиц в активной зоне этой группы, чтобы суммарное количество частиц (через активные и неактивные зоны), поступившее в эту последнюю группу, снизилось до требуемой величины.

В зоне последней группы электродов, которая расположена выше предыдущих, уже нет неактивных зон, так как осадительные электроды и корпус образуют прямоугольные каналы, где вся поверхность используется для осаждения частиц, и коронирующие электроды создают коронный разряд, как в сторону осадительных электродов, так и в сторону поверхности корпуса, смежного с осадительными электродами, чтобы повысить эффективность осаждения частиц в зонах, где осадительные электроды подходят к корпусу. В связи с тем, что при прямоугольной конфигурации межэлектродного промежутка в углах электрическое поле ослаблено, и эффективность осаждения частиц снижена, часть поверхности канала, образованного корпусом между осадительными электродами, выполнена в форме половины цилиндра, по оси которого установлен коронирующий элемент. В этом случае полуактивные зоны исключаются, и все частицы проходят только через активную зону электрофильтра.

Если требуется достичь выходной запыленности менее  $50 \text{ мг/м}^3$ , а частицы в электрофильтре улавливаются достаточно трудно, и длина активной зоны (высота) той части электрофильтра, где газ идет вертикально, требуется 12-15 метров, последнюю группу разделяют на электрически изолированные части по длине. Этим достигается лучшее отряхивание пыли и снижение проскоков пыли через активные зоны при встряхивании. Уловленные частицы при встряхивании электродов электрофильтра, где газ идет вертикально, проходят через активные зоны в один общий бункер, другая часть их осаждается, но ниже, и при следующем встряхивании электродов попадает в этот бункер.

Коронирующие электроды в каналах группы (9), образованных осадительными электродами и корпусом электрофильтра (12), расположены поперек хода газа, т.е. горизонтально, чтобы уменьшить влияние полуактивных зон, которые имеют место между коронирующими электродами. Если коронирующие электроды расположить вертикально, то полуактивные зоны тоже будут расположены вертикально, и через них, как через каналы, будут проскакивать частицы. Когда коронирующие электроды расположены поперек хода газа, активные и полуактивные зоны чередуются, и на пути частиц всегда есть зоны с максимальным осаждающим воздействием в поле коронного разряда.



Фиг. 2

Для удобства обслуживания и снижения запыления изоляторов механизмов встряхивания электродов в группе, где очищаемый газ идет вертикально, производится со стороны выхода очищенного газа. Это повышает надежность электрофильтра.

Для реализации предлагаемого изобретения не требуется новых технологий. Изготовление узлов и монтаж электрофильтра могут быть осуществлены с помощью известных средств [27].

## Электрофильтр с электрически равнопрочным межэлектродным промежутком

Изобретение относится к аппаратам, предназначенным для удаления из газов твердых и жидких частиц с помощью электричества. Известные электрофильтры (аналог) [28, стр.118–121, стр. 58] имеют конструкции, в которых реализован принцип электрической равнопрочности разрядного промежутка. Это обеспечивается тем, что расстояния между коронирующими и осадительными электродами как по высоте, так и подлине полей, принимаются одинаковыми. Прототипом предлагаемого электрофильтра является, например, электрофильтр УГТ-1-30-3 [29, стр.290], где коронирующие элементы «натянуты вертикальными рядами в плоскостях, расположенных точно посередине между пластинами осадительных электродов...»

Сильно действующим фактором, влияющим на степень очистки газов в электрофильтре, является величина децентровки электродов. На практике достигаемая величина напряженности в значительной мере зависит от точности центровки коронирующих электродов, нарушение которой влечет за собой снижение пробивного напряжения и, как следствие этого, - уменьшение напряженности поля, скорости дрейфа и, в конечном итоге, степени очистки газов [30, стр.192, 193]. Все сказанное относится к электрофильтрам, имеющим одинаковую температуру по высоте электродов.

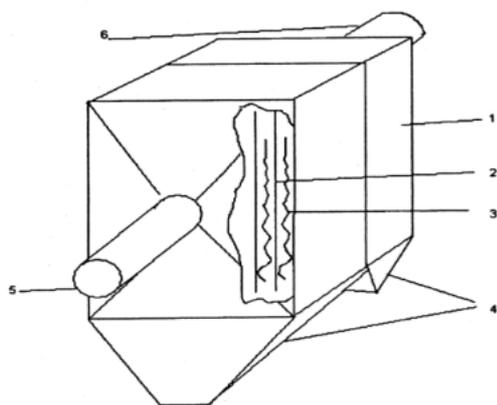
Однако на практике в электрофильтрах, работающих при температурах, отличающихся от температуры окружающей среды, имеет место существенная разница температур в верхней и нижней частях электрофильтра. Эта разница температур тем больше, чем выше электродная система, и имеет наибольшее значение при высоте электродов 12 и 18 м. Как показали экспериментальные измерения, разница температур в верхней и нижней частях электрофильтра может достигать 50...100°C и более.

Известным фактором является снижение пробивного напряжения промежутка при увеличении температуры. Известно, что пробивное напряжение электрофильтра обратно пропорционально абсолютной температуре газов. Таким образом, известные электрофильтры (аналоги и прототипы), имеющие одинаковые расстояния между коронирующими и осадительными электродами имеют общий недостаток. Эти электрофильтры работают при значительно заниженном пробивном напряжении. В этих электрофильтрах рабочее напряжение определяется величиной пробивного напряжения в верхней части электродной системы, где температура имеет более высокое значение, что приводит к снижению степени очистки газов.

Задача предлагаемого изобретения – устранение этого недостатка и обеспечение электрически равнопрочного промежутка в разрядном промежутке электрофильтра при наличии разницы температур в верхней и нижней частях электрофильтра. Данная техническая задача решается таким образом, что величина разрядного промежутка выполнена переменной по высоте, причем в верхней части электрофильтра разрядный промежуток выполнен больше, чем в нижней.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата. Возможность осуществления изобретения, охарактеризованного вышеприведенной совокупностью признаков, а также возможность реализации назначения изобретения может быть подтверждена описанием варианта возможной конструкции устройства, выполненной в соответствии с изобретением.

Функционирование электрофильтра осуществляется следующим образом: очищаемый газ через устройство подвода газа поступает в корпус электрофильтра и далее проходит через разрядные промежутки между коронирующими и осадительными электродами. Уловленная из газа пыль осажается на электродах и после отряхивания падает в бункеры. Очищенный газ выходит из электрофильтра через устройство отвода газа.



Фиг. 1

поз.1 - корпус электрофильтра;

Разрядный промежуток в предлагаемом электрофильтре выполнен электрически равномерным по всей высоте, т.е. электрический пробой промежутка равновероятен по всей высоте благодаря измененному расстоянию между коронирующими и осадительными электродами. По причине отсутствия участков, где электрический пробой происходит при более низком напряжении, рабочее напряжение в электрофильтре поддерживается на более высоком уровне, что обеспечивает требуемый технический результат – повышенную степень очистки газа. Сущность изобретения поясняется чертежами, на которых изображено:

На фиг.1 показан общий вид электрофильтра, где

- поз.2 - осадительный электрод;
- поз.3 - коронирующий электрод;
- поз.4 - бункера;
- поз. 5, 6 - устройства подвода и отвода газа.

На фиг.2 показаны примеры разрядного равнопрочного промежутка при неизменной температуре и при перепаде температур в верхней и нижней части электрофильтра, равном 50°C.

На фиг.3 показан один из возможных примеров реализации этого изобретения.

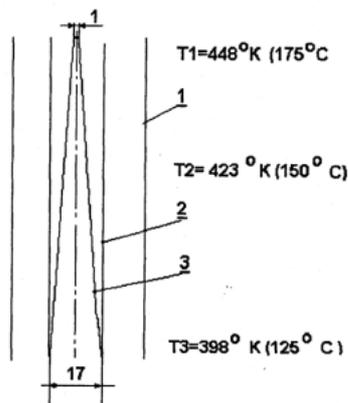
На фиг.2, 3:

Поз.1 - Осадительный электрод.

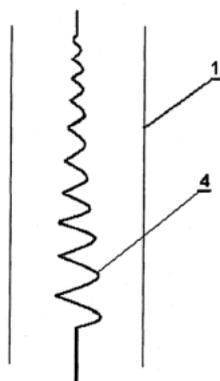
Поз.2 - Разрядный промежуток, обладающий электрической равнопрочностью при одинаковой температуре по высоте электрофильтра.

Поз.3 - Разрядный промежуток, обладающий одинаковой электрической прочностью по 20 высоте при перепадах температуры 50°C.

Поз.4 - Коронирующий элемент, обеспечивающий равную электрическую прочность по высоте при различной температуре.



ФИГ. 2



ФИГ. 3

Обоснование величины разрядного равнопрочного промежутка на фиг.2 может быть выполнено следующим образом. Известно [2, стр.58], что величина пробивного напряжения зависит от температуры следующим образом.

$$\frac{U_{np.m1}}{U_{np.m2}} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1)$$

где  $U_{np.m1}$  - величина пробивного напряжения при температуре  $T_1$ , кВ;

$U_{np.m2}$  - то же, при температуре  $T_2$ , кВ;

$T_1, T_2$  - температура К.

Пусть все межэлектродное пространство имеет одинаковую температуру, т.е.  $T_1=T_2$ . Тогда  $U_{np.1} = U_{np.2}$  и этом рабочее напряжение составляет, например, 45 кВ.

Допустим теперь, что в верхней части разрядного промежутка температура составляет 448 К.

Тогда, в соответствии с формулой (1), при температуре в нижней части промежутка 398 К имеем:

$$\frac{45}{T_2} = \frac{448}{398}; \quad U_{пр.мл} = 40 \text{ кВ.}$$

Напряженность в электрофилт্রে составляет в среднем 3 кВ/см, тогда пробивной промежуток  $H_{пр.в}$  в верхней части электрофилт্রে составит:

$$H_{пр.в} = \frac{40_{\text{кВ/см}}}{3} = 133 \text{ мм}$$

И в нижней:

$$H_{пр.н} = 45/3 = 150 \text{ мм}$$

$$150 - 133 = 17 \text{ мм.}$$

Таким образом, перепад температур в верхней и нижней частях электрофилт্রে, равный 50° С, эквивалентен расцентровке 17 мм.

Автоматическое устройство, поддерживая напряжение в электрофилт্রে на уровне пробивного напряжения, в его наиболее слабой точке, составит 40 кВ – по верхней части электрофилт্রে.

Для обеспечения одинаковой напряженности во всем разрядном промежутке по высоте электрофилт্রে величина промежутка должна уменьшаться по мере увеличения температуры. Реализация этого изобретения возможна с помощью применения коронирующего элемента, имеющего коническую форму, при которой разрядный промежуток будет электрически равнопрочным, а напряженность поля во всем промежутке одинакова и максимальна. Таким образом, при разнице температур в верхней и нижней частях электрофилт্রে, равной 50°С, и разрядном промежутке, выполненном в соответствии с поз.2 на Фиг.2, рабочее напряжение составит 40 кВ, а при коническом коронирующем элементе (Фиг.3) и разрядном промежутке поз.3 на Фиг.2 рабочее напряжение составит 45 кВ. Как показывают расчеты, при этом происходит повышение степени очистки газов электрофилт্রে в 1,7 раз. Естественно, что при более высокой разнице температур увеличение рабочего напряжения и степени очистки газов будут иметь большее значение.

Данная конструкция (коническая пружина) не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в формулу изобретения [31].

## ИСТОЧНИКИ И ПРИМЕЧАНИЯ

1. Газоочистное оборудование. М., Цинтихимнефтемаш, 1988. С. 4–7.
2. SU 908406, ВОЗС 3/40, 28.02.82.
3. SU 1810113, ВОЗС 3/41, 23.04.9.
4. Чекалов Л.В., Гузаев В.А. Свидетельство на полезную модель от 21.11.2001 по заявке № 2001131195.
5. SU 908406, ВОЗС 3/40, 28.02.82.
6. USA 4521229. ВОЗС 3/41, 04.06.85.
7. Левитов В.И., Решидов И.К., Ткаченко В.М. и др. Дымовые электрофилт্রে. М., Энергия, 1980. С.29–30.
8. Чекалов Л.В., Посунько В.А. Заявка на изобретение № 2003101045.
9. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофилт্রে. М., Химия, 1967. С. 55, 117, 118.
10. Электрод для коронного разряда. Великобритания, заявка 1575404. Публикация 24.09.1980, № 4774.
11. Круг К.А. Основы электротехники. М.-Л., 1936. С. 86–89.
12. Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Курицын Н.А., Санаев Ю.И. Заявка на изобретение № 2002134826.
13. SU 1380781 А1, 15.03.88, ВОЗС 3/40.
14. US 5344481 А, 06.09.1994, ВОЗС 3/76
15. Чекалов Л.В., Завьялов А.И., Курицын Н.А., Торопов В.Н. Заявка на изобретение № 2001124729.
16. US 1717235 А1, 07.03.1992, ВОЗС 3/74.
17. Чекалов Л.В., Гузаев В.А. Заявка на изобретение № 2001124729.
18. Чекалов Л.В., Морозов Ю.М., Курицын Н.А. Патент на изобретение № 2254930.
19. Чекалов Л.В., Курицын Н.А., Завьялов А.И. Патент на изобретение № 2251458.
20. Дымовые электрофилт্রে /В.И.Левитов, И.К.Решидов, В.М.Ткаченко и др. Под ред. В.И.Левитова. М., Энергия, 1980.
21. А.С. №311662 (СССР). Способ управления работой механизмов встряхивания /Н.Г.Залогин, Л.П.Яновский и др. «Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки». 1971, № 25.
22. Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Курицын Н.А. Патент на изобретение № 257957.
23. Справочник по пыле- и золоулавливанию, М., Энергоиздат, 1983.
24. Чекалов Л. В., Ткаченко В.М., Громов Ю. И. Патент на изобретение № 2248837.

25. Справочник по пыле- и золоулавливанию» под ред. А.А.Русанова. М., Энергоатомиздат, 1983.
26. Ткаченко В.М., Архипов Н.А., Чекалов Л.В., Курицын Н.А., Ткаченко О.В. Патент на изобретение № 2288782.
27. Чекалов Л.В., Курицын Н.А., Санаев Ю.И. Патент на изобретение № 2312710.
28. Ужов В.Н. Очистка газов электрофильтрами. М., Химия, 1967.
29. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Пылеулавливание в цветной металлургии (третье издание) М., Металлургия, 1977.
30. Экотехника. Под ред. Чекалова Л.В. Ярославль, «Русь», 2004.
31. Санаев Ю.И. Чекалов Л.В. Патент на изобретение № 2312711.

## 2. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ

### Рукавные фильтры с длиной рукавов до 9 метров

Из источников научно-технической и патентной информации известно большое количество разнообразных конструкций фильтров, применяемых для очистки газов от твердых примесей, в которых очистка воздуха или газа ведется за счет оседания частиц на внешней поверхности рукавов с вводом загрязненного газа снаружи рукавов, который проходя внутри рукавов, при выходе из них очищается.

Так, из [1] известен рукавный фильтр ФРИР-7000 для очистки газа, содержащий корпус, газоход неочищенного газа, камеру предварительного отделения, направляющую пластину, бункер сбора пыли, межрукавное пространство, рукава фильтровальные, надетые на проволоочные каркасы, отсечные клапаны, газоход «чистого» газа, продувочные клапаны, раздаточный коллектор сжатого воздуха по рукавам во время односторонней импульсной продувки.

Такая компоновка рукавного фильтра исключает использование фильтровальных рукавов большей длины из-за наличия односторонней импульсной продувки рукавов, требует значительной монтажной высоты над фильтром для установки в корпусе фильтра неразборных каркасов с надетыми на них рукавами. Указанные недостатки не позволяют увеличить площадь фильтрования аппарата за счет увеличения высоты (длины) рукавов с целью сокращения занимаемой производственной площади фильтром и развитие конструкции аппарата в сторону его увеличения по высоте.

Наиболее близким к заявляемому решению по технической сущности и по количеству общих существенных признаков является рукавный фильтр, описанный в [2]. Он содержит корпус, соединенный снизу с бункером и разделенный рукавной плитой на камеры чистого и грязного газа. Также содержит расположенные рядами вертикальные фильтрующие рукава, закрепленные открытыми концами в отверстиях упомянутой рукавной плиты, систему импульсной регенерации рукавов, включающую продувочные трубы, установленные сверху над фильтрующими рукавами в камере чистого газа и обращенные своими соплами в фильтрующие рукава со стороны открытых концов фильтрующих рукавов, коллектор подводящего газохода, направляющий грязный газ к камере грязного газа.

Такая компоновка рукавного фильтра также исключает использование фильтровальных рукавов большей длины из-за наличия односторонней импульсной продувки рукавов, требует значительной монтажной высоты над фильтром для установки в корпусе фильтра неразборных каркасов с надетыми на них рукавами. Указанные недостатки не позволяют увеличить площадь фильтрования аппарата за счет увеличения высоты (длины) рукавов с целью сокращения занимаемой производственной площади фильтром и развитие конструкции аппарата в сторону его увеличения по высоте. Кроме того, входящий грязный газ изнашивает в первую очередь фильтровальные рукава, расположенные в первом ряду, относительно входящего потока грязного газа, т.к. крупные частицы в первую очередь бомбардируют именно первый ряд рукавов.

Техническая задача и достигаемый при её решении технический результат заключаются в повышении интенсивности и эффективности процесса газоочистки, увеличении надежности рукавного фильтра и срока его службы, уменьшении металлоемкости фильтра, повышении удобства эксплуатации и монтажа фильтра. Указанный технический результат достигается тем, что:

– рукавный фильтр содержит корпус, соединенный снизу с бункером. Рукавной плитой корпус разделен на камеры чистого газа в верхней его части и грязного газа в нижней его части. Корпус также содержит расположенные рядами вертикально ориентированные фильтрующие рукава, закрепленные открытыми концами в отверстиях упомянутой рукавной плиты. Рукавный фильтр также содержит систему импульсной регенерации рукавов, включающую продувочные трубы, установленные сверху над фильтрующими рукавами в камере чистого газа и обращенные своими соплами в фильтрующие рукава со стороны открытых концов фильтрующих рукавов. К корпусу прикреплен коллектор подводящего газохода, направляющий

грязный газ к камере грязного газа. Перед каждым фильтрующим рукавом первого ряда, по отношению к входящему грязному газовому потоку, внутри корпуса фильтра вертикально расположена металлическая полоса по всей высоте коллектора подводящего газохода в месте входа его в корпус фильтра, ширина которой равна диаметру этого рукава. Кроме того, система импульсной регенерации снабжена дополнительными продувочными трубами, установленными в камере грязного газа и обращенными своими соплами в фильтрующие рукава снизу вверх, навстречу соплам продувочных труб, установленным сверху, для одновременной продувки фильтрующих рукавов с двух сторон навстречу друг другу. При этом сопла дополнительных продувочных труб установлены в прикрепленных к дополнительным продувочным трубам стаканах, предназначенных для крепления нижних концов фильтрующих рукавов.

В частном случае, металлическая полоса, для жесткости, в поперечном сечении может быть выполнена в форме ломаной линии или дуги окружности.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата. На продувочных трубах нижнего яруса имеются стаканы, на которых крепятся нижние части фильтрующих рукавов, а в самом стакане фиксируется нижняя часть каркаса, вставленного в рукав.

Каждый стакан, связанный с продувочной трубой, имеет сопло -отверстие для подачи импульса сжатого воздуха во внутрь рукава от системы регенерации нижнего яруса.

Импульсы сжатого воздуха в рукава одного и того же ряда подаются встречно и одновременно по заданной программе. Для повышения эффективности регенерации каждая секция камеры чистого газа снабжена отключающим управляемым клапаном для отключения секции на время регенерации рукавов.

Очищенный газ, пройдя фильтрующие рукава, поступает в соответствующую камеру чистого газа, расположенную сверху и далее через систему индивидуальных отключающих заслонок поступает в коллектор чистого газа на выход фильтра. Прохождение чистого газа в рукавах в одну сторону позволяет значительно упростить конструкцию фильтра с увеличенной длиной рукавов и сократить металлоемкость фильтра.

Каждый фильтровальный рукав, для удобства монтажа и демонтажа, оснащен жестким разъемным каркасом с длиной составных частей, например, 2,5 м. Общая длина каркаса может набираться из расчета заданной длины рукава из указанных составных частей, что позволяет увеличивать длину рукавов, развивать площадь фильтрования за счёт высоты аппарата, увеличивать его производительность и сократить монтажную высоту над фильтром, например, до двух метров при монтаже рукавов любой длины (высоты).

Разъемное устройство составных частей каркасов обеспечивает минимальные затраты времени на соединения частей каркаса, обеспечивает жесткость по всей длине каркаса и удобство монтажа через камеру чистого газа фильтра. На рисунке 18 представлен предлагаемый рукавный фильтр (вид спереди). На рисунке 19 представлен предлагаемый рукавный фильтр (вид сбоку).

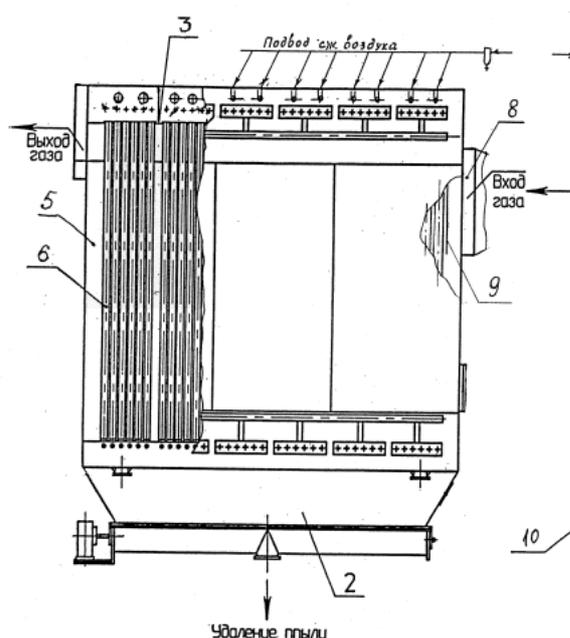


Рисунок 18

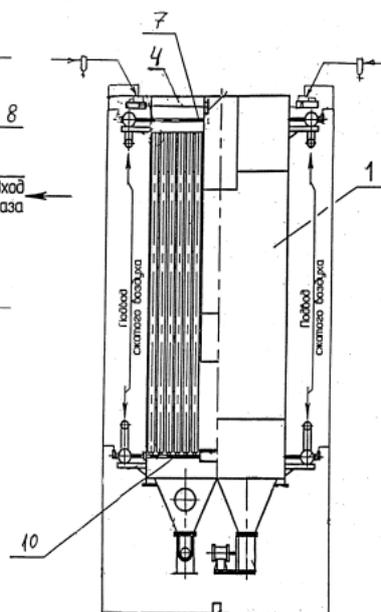


Рисунок 19

Рукавный фильтр содержит корпус 1, соединенный снизу с бункером 2, или с бункерами. Рукавной плитой 3 корпус разделен на камеру 4 чистого газа в верхней его части и камеру 5 грязного газа. Корпус 1

также содержит расположенные рядами вертикально ориентированные фильтрующие рукава 6, закрепленные открытыми концами в отверстиях упомянутой рукавной плиты 3. Рукавный фильтр также содержит систему импульсной регенерации рукавов, включающую продувочные трубы 7 (верхнего яруса), установленные сверху над фильтрующими рукавами 6 в камере 4 чистого газа и обращенные своими соплами в фильтрующие рукава 6 со стороны открытых концов фильтрующих рукавов 6. К корпусу 1 прикреплен коллектор 8 подводящего газохода, направляющий грязный газ к камере 5 грязного газа. Перед каждым фильтрующим рукавом 6 первого ряда, по отношению к входящему грязному газовому потоку, внутри корпуса 1 фильтра вертикально расположена металлическая полоса 9 по всей высоте коллектора 8 подводящего газохода в месте входа его в корпус 1 фильтра, ширина которой равна диаметру этого рукава 6. Кроме того, система импульсной регенерации снабжена дополнительными продувочными трубами 10 (нижнего яруса), установленными в камере 5 грязного газа и обращенными своими соплами в фильтрующие рукава 6 снизу вверх, навстречу соплам продувочных труб 7, установленным сверху, для одновременной продувки фильтрующих рукавов 6 с двух сторон навстречу друг другу. Сопла дополнительных продувочных труб 10 (нижнего яруса) установлены в прикрепленных к дополнительным продувочным трубам 10 стаканах, предназначенных для крепления нижних концов фильтрующих рукавов 6. Рукавный фильтр работает следующим образом.

Запыленный поток из коллектора 8 грязного газа поступает в камеру 5 грязного газа в межрукавное пространство всего фильтра огибая металлические полосы 9, расположенные перед фильтрующими рукавами 6 первого ряда. Из камеры 5 грязного газа поток грязного (запыленного) газа проходит через фильтрующие рукава 6 снаружи во внутрь, причем нижние торцы рукавов 6 закрыты (стаканами с установленными в них соплами дополнительных продувочных труб 7), а верхние открыты. Таким образом, запыленный газ очищается от пыли и далее через верхние открытые отверстия рукавов 6 поступает в камеру 4 чистого газа. Затем через открытые отсечные клапаны очищенный газ поступает в коллектор чистого (очищенного) газа и далее через вентилятор и трубу (на рисунке не показана) выходит наружу.

Частицы пыли оседают на наружной поверхности рукавов 6. Периодически, по мере накопления пыли на поверхности рукавов 6, производится их регенерация (очистка).

Для этого, вначале, камеру чистого газа одной из секций рукавного фильтра, в которой предстоит регенерация рукавов 6, изолируют от коллектора чистого газа посредством отсечного клапана. Далее через интервал времени (после закрытия отсечного клапана), в течение которого происходит «успокоение» газового потока, автоматически одновременно отключаются (открываются) мембранные клапаны с электроприводами узла регенерации верхнего и нижнего ярусов продувки и сжатый воздух из одновременной продувки фильтрующих рукавов 6 с двух сторон навстречу друг другу. Сопла дополнительных продувочных труб 10 (нижнего яруса) установлены в прикрепленных к дополнительным продувочным трубам 10 стаканах, предназначенных для крепления нижних концов фильтрующих рукавов 6. Для исключения забивания сопел нижнего яруса они расположены приподнятыми над дном стаканов.

Пыль, встряхнутая с фильтровальных рукавов 6, оседает в бункере 2 и выводится через пылевыгрузные отверстия наружу. По завершении регенерации фильтрующих рукавов 6 в одной из секций отсечной клапан этой секции открывается, вновь соединяет камеру 4 чистого (очищенного) газа с коллектором очищенного газа и процесс фильтрации запыленного газа продолжается.

Составные части каркасов между собой соединяются с помощью пружинной скобы в процессе монтажа элементов каркаса по мере их загрузки во внутрь рукава через камеру чистого газа.

Наличие разъемных составных частей каркасов, двухсторонней импульсной продувки с отключением секций и применение большой длины рукавов с выходом очищенного газа в открытую верхнюю часть рукавов позволяет увеличить значительно площадь фильтрования фильтров при увеличении высоты фильтров, тем самым уменьшить занимаемую площадь производственных помещений, увеличить производительность фильтров, сократить монтажную высоту над фильтром до двух метров при монтаже фильтровальных рукавов и каркасов, снизить металлоемкость и обеспечить удобство монтажа и эксплуатации.

Наличие в фильтре перед фильтровальными рукавами первого ряда, относительно к входящему грязному газовому потоку, металлических пластин исключает абразивный износ первого ряда фильтровальных рукавов скоростным пылегазовым потоком, входящим в фильтр через коллектор подводящего газохода запыленного газа а также обеспечивает равномерное распределение поступающего грязного газа по рукавам на очистку. Благодаря этому повышается интенсивность и эффективность процесса газоочистки, увеличивается надежность рукавного фильтра и срок его службы.

Описанная в данном примере и изображенная в графических материалах конструкция рукавного фильтра не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [3].

## Крепление рукава в рукавной плите

Недостаток конструкции фильтровального рукава, который в верхней части закрепляется на каркасе с помощью кронштейна, подвижного стержня и пружинного амортизатора [4], заключается в том, что требуется обеспечить плотное соединение в двух местах: в месте крепления рукава на каркасе и в месте установки каркаса на рукавной плите фильтра, причем в условиях пылегазовой среды такое крепление становится очень сложным и практически неразборным.

Наиболее близким к предлагаемому устройству по технической сущности, решаемой технической задаче и совокупности общих существенных признаков является устройство для крепления фильтровальных элементов [5], принятое за прототип. Эта конструкция устройства для крепления рукава включает в себя металлическое прижимное кольцо и профильный фиксирующий элемент в верхней части рукава, обшитые материалом рукава и составляющие с ним единое целое.

Недостаток этой конструкции в том, что в зависимости от толщины материала, которая может быть различной для разных партий и видов материалов, необходимо изготавливать прижимные кольца различного наружного диаметра и неточность подбора приводит к вырыванию рукавов из отверстий плиты. Прижимное кольцо с фиксирующим элементом сложно в изготовлении.

Технической задачей и достигаемый при ее решении технический результат заключается в повышении надежности и герметичности крепления рукавов фильтра, упрощение их монтажа и демонтажа. Указанный технический результат достигается тем, что устройство для крепления рукава, содержит прикрепленный к верхнему открытому концу фильтроматериала рукава оголовок (концевая часть рукава), расположенный в отверстии рукавной плиты рукавного фильтра. Упомянутый оголовок включает в себя металлическое прижимное кольцо, а также два упорных жгута, охваченных фильтроматериалом оголовка, и расположенных по разные стороны от рукавной плиты, с образованием паза для этой плиты. Между упомянутыми прижимным кольцом и двумя упорными жгутами расположена компенсирующая прокладка, охватывающая также прижимное кольцо по всей его поверхности, а упомянутый фильтроматериал оголовка охватывает наряду со жгутами прижимное кольцо с компенсирующей прокладкой, и прикреплен к упомянутому верхнему концу фильтроматериала рукава своими направленными вниз краями.

Кроме того, в частных случаях реализации этого решения:

- упорные жгуты выполнены диаметром 8-10 мм и располагаются на расстоянии 5-10 мм друг от друга;
- толщина материала компенсирующей прокладки и наружный диаметр прижимного кольца выбираются из условия выдерживания оголовком вырывающей нагрузки не менее 80 кг при установке оголовка в отверстии рукавной плиты рукавного фильтра, когда плита находится между упорными жгутами;
- упомянутые края фильтроматериала оголовка прикреплены к упомянутому верхнему концу фильтроматериала рукава посредством швов из ниток.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата. Возможность осуществления технического решения, охарактеризованного приведенной выше совокупностью признаков, а также возможность реализации его назначения может быть подтверждена описанием возможной конструкции устройства, выполненной в соответствии с описанием, сущность которого поясняется графическими материалами.

На рисунке 20 изображено предлагаемое устройство для крепления рукава. На рисунке 21 изображен вид А устройства для

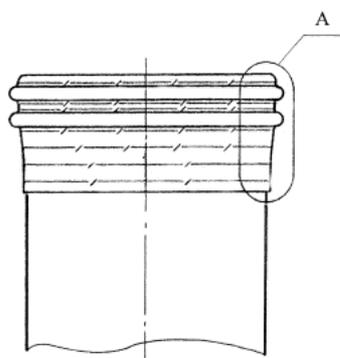


Рисунок 20

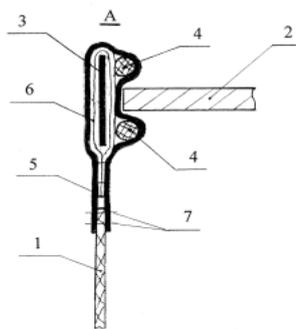


Рисунок 21

Устройство для крепления рукава представляет собой следующее:

Прикрепленный к верхнему открытому концу фильтроматериала 1 рукава оголовок, расположенный в отверстии рукавной плиты 2 рукавного фильтра. Оголовок включает в себя металлическое прижимное

кольцо 3, а также два упорных жгута 4, охваченных фильтроматериалом 5 оголовка, и расположенных по разные стороны от рукавной плиты 2, с образованием паза для этой плиты. Между упомянутыми прижимным кольцом 3 и двумя упорными жгутами 4 расположена компенсирующая прокладка 6, охватывающая также прижимное кольцо 3 по всей его поверхности, а упомянутый фильтроматериал 5 оголовка охватывает наряду со жгутами 4 прижимное кольцо 3 с компенсирующей прокладкой 6, и прикреплен к упомянутому верхнему концу фильтроматериала 1 рукава своими направленными вниз краями посредством швов 7 из ниток. Оголовок изготавливают отдельно от рукава. Металлическое прижимное кольцо, диаметр которого меньше диаметра отверстия плиты рукавного фильтра, располагается так, чтобы упорные жгуты были равноудалены от краев кольца. Диаметры жгутов, расстояние между ними, диаметр прижимного кольца и толщина компенсирующей прокладки выбираются в зависимости от диаметра отверстия рукавной плиты таким образом, чтобы обеспечить надежную и плотную фиксацию оголовка в отверстии рукавной плиты.

Настоящее решение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специальной оснастки и новой технологии. Описанная в данном примере и изображенная в графических материалах конструкция устройства для крепления рукава не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [6].

## Переламывающийся рукав

Фильтрующий рукав для рукавного фильтра включает в себя секционный составной каркас, каждая секция которого содержит торцевые кольца и расположенную между ними и прикрепленную к ним центральную часть. При этом одно из торцевых колец снабжено, по меньшей мере, двумя диаметрально противоположными отогнутыми наружу вдоль оси секции выштамповками с выполненными в них отверстиями. Пружинная скоба с заостренными отогнутыми концами заходит этими концами в отверстия выштамповок. Размеры торцевых колец тарельчатой формы определяются таким образом, чтобы диаметр окружности, образованной наружными поверхностями отогнутых выштамповок меньше или равен диаметру отверстия торцевого кольца соседней части каркаса, а центр отверстия в отогнутой выштамповке отстоит от плоскости торцевого кольца на величину, равную сумме толщины материала смежного торцевого кольца и половины диаметра проволоки пружинной скобы. Одно из торцевых колец фильтрующего рукава для рукавного фильтра может быть снабжено четырьмя попарно противоположными отогнутыми вдоль своей оси выштамповками для обеспечения упрощения стыковки без поворотов секций каркаса на большие углы относительно друг друга. Изобретение обеспечивает высокую надежность в работе, упрощение монтажа и обслуживания.

Известно выполнение фильтрующих рукавов со сборными каркасами [7]. Однако такое выполнение каркасов не обеспечивает простой сборки и обслуживания рукавных фильтров. Наиболее близким к предлагаемому устройству по технической сущности, решаемой технической задаче и совокупности общих существенных признаков является рукавный фильтр для очистки газов, содержащий корпус, фильтровальные рукава, каркасы которых состоят из составных частей, торцевые части каждой из них снабжены фиксирующими устройствами и выполнены с равным количеством чередующихся сквозных просечек с отгибами [8], выбранный в качестве ближайшего аналога. Однако в данном фильтре стыковка составных частей каркаса производится путем помещения в просечки одного кольца отгибов другого с последующим поворотом составных частей каркаса относительно друг друга на некоторый угол. Расстыковка производится путем нажатия на стопор и разворота составных частей относительно друг друга в направлении, обратном сборке.

Такая конструкция имеет серьезный недостаток: при эксплуатации рукавных фильтров часть пыли «проскакивает» через фильтровальный материал рукавов и, попадая в зазоры узла стыковки каркасов, препятствует повороту составных частей каркасов относительно друг друга, что на практике приводит к невозможности произвести расстыковку каркасов, а, следовательно, и замену вышедших из строя рукавов. Кроме того, в процессе эксплуатации рукавного фильтра при прохождении газового потока через рукава и особенно при их регенерации происходит раскачка каркасов рукавов, вследствие чего отгибы на кольцах деформируются и нарушается жесткость соединения составных частей. Сама сборка достаточно сложна.

Технической задачей, на решение которой направлено изобретение, является повышение надежности в работе фильтра и упрощение монтажа и обслуживания рукавного фильтра. Поставленная цель достигается тем, что фильтрующий рукав для рукавного фильтра включает в себя средство для крепления рукавов к рукавной плите и обтянутый фильтрующей тканью секционный составной каркас, каждая секция которого выполнена в виде двух торцевых колец и расположенной между ними и прикрепленной к ним центральной части, при этом одно из торцевых колец снабжено, по меньшей мере, двумя диаметрально противоположными отогнутыми наружу вдоль оси секции выштамповками с выполненными в них отверстиями, каждая секция каркаса рукава снабжена пружинной скобой с заостренными отогнутыми концами для захода в отверстия выштамповок, причем диаметр окружности, образованной наружными поверхностями отогнутых

выштамповок меньше или равен диаметру отверстия торцевого кольца соседней секции каркаса, а центр отверстия в отогнутой выштамповке отстоит от плоскости торцевого кольца на величину, равную сумме толщины материала торцевого кольца соседней секции каркаса и половины диаметра проволоки пружинной скобы. Одно из торцевых колец каждой секции каркаса фильтрующего рукава для рукавного фильтра может быть снабжено четырьмя попарно противоположными отогнутыми вдоль своей оси выштамповками, центральная часть секции каркаса рукава может быть выполнена в виде проволочного каркаса, а торцевые кольца могут быть выполнены тарельчатой формы.

На рисунке 22 изображен каркас фильтрующего рукава рукавного фильтра. Фильтрующий рукав для рукавного фильтра включает в себя секционный составной каркас, обтянутый фильтрующей тканью, и средство 1 для крепления рукавов к рукавной плите. Каждая секция 2 каркаса рукава состоит из торцевых колец 3 и 4, которые в приведенной схеме выполняются тарельчатой формы, и расположенной между ними и прикрепленной к ним центральной части 5.

Центральная часть 5 каркаса рукава может быть выполнена в виде проволочного каркаса. При этом одно из торцевых колец снабжено, по меньшей мере, двумя диаметрально противоположными отогнутыми наружу вдоль оси секции выштамповками (или ушками) 6 с выполненными в них отверстиями 7. Пружинная скоба 8 с заостренными отогнутыми концами 9 заходит этими концами в отверстия 7 выштамповок (ушек) 6. Размеры торцевых колец 3 и 4 определяются таким образом, чтобы диаметр окружности, образованной наружными поверхностями отогнутых выштамповок 6 был меньше или равен диаметру отверстия торцевого кольца 4 соседней части каркаса, а центр отверстия 7 в отогнутой выштамповке 6 отстоит от плоскости торцевого кольца 3 на величину, равную сумме толщины материала смежного торцевого кольца 4 (кольца без выштамповок (ушек)) и половины диаметра проволоки пружинной скобы 8.

Таким образом, достигается установка одного кольца в другом с плотным прилеганием и фиксацией. Одно из торцевых колец 3 каждой секции каркаса фильтрующего рукава для рукавного фильтра может быть снабжено четырьмя попарно противоположными отогнутыми вдоль своей оси выштамповками 6 для обеспечения упрощения стыковки без поворотов секций 2 каркаса на большие углы относительно друг друга. Стыковка составных частей каркаса производится путем помещения отогнутых выштамповок 6 кольца одной секции 2 каркаса в отверстие кольца смежной секции 2 каркаса с последующей их фиксацией относительно друг друга путем ввода в отверстия 7 выштамповок 6 заостренных отогнутых концов 9 пружинной скобы 8. При этом торцевые кольца 3 и 4 смежных секций 2 каркасов плотно соединяются между собой. Пружинная скоба 8 исключает возможность самопроизвольной расстыковки составных секций 2 каркаса. Расстыковка каркаса производится путем сжатия пружинной скобы 8. При этом заостренные отогнутые концы 9 пружинной скобы 8 выходят из отверстий 7 выштамповок 6.

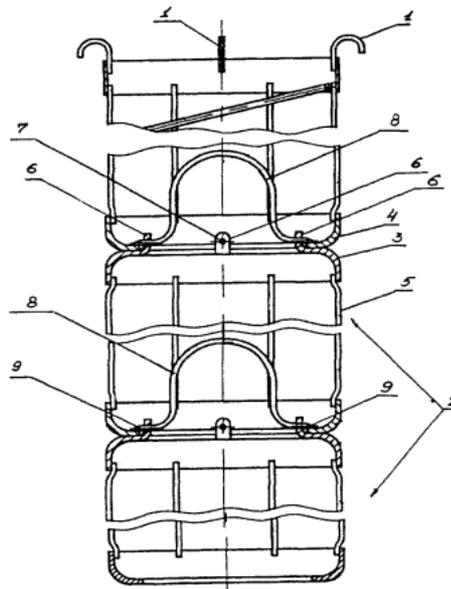


Рисунок 22

Выполнение фильтра согласно изобретению [9] обеспечивает его надежность и ремонтпригодность.

### Рукавный фильтр с входом газа поперек рукавов

Известно большое количество разнообразных конструкций фильтров, применяемых для очистки от твердых примесей, в которых очистка воздуха или газа ведется за счет оседания частиц на внешней по-

верхности рукавов с вводом загрязненного газа снаружи рукавов и проходя внутри рукавов, при выходе из которых газ очищается.

Так, из патента [10] известен рукавный фильтр для очистки газа, содержащий корпус с фильтровальными рукавами, камеры очищенного и запыленного газа, коллектор подвода запыленного газа, расположенный снизу в бункере, коллектор отвода чистого газа, расположенный сверху и систему регенерации фильтрующих рукавов.

Такая компоновка рукавного фильтра приводит к увеличению вертикальных габаритов фильтра. Кроме того, наличие подводящего газохода, расположенного по всей длине бункера и имеющего продольные выпускные верхнюю и нижнюю щели, не обеспечивает равномерного распределения пылегазового потока как по сечению, так и по его длине. Вследствие неравномерности распределения скоростей в подводящем газоходу, как показывает практика эксплуатации подобных устройств, внутри газохода появляются значительные отложения пыли. Эти отложения забивают нижнюю продольную щель и весь поток газа направляется через верхнюю щель, т.е. вывод пыли в бункер через нижнюю щель практически содержит корпус, с расположенными в нем симметрично фильтрующими секциями, между которыми в нижней части горизонтально проходит коллектор запыленного газа а в верхней части – коллектор очищенного газа. Каждая из фильтрующих секций включает в себя камеру запыленного газа с набором вертикально ориентированных фильтрующих рукавов с расположенной сверху камерой очищенного газа, а снизу – бункером для сбора пыли, сообщающимся с упомянутым коллектором запыленного газа через расположенный между ними щелевой проход. Кроме того, имеется система регенерации фильтрующих рукавов. При этом боковые перегородки между упомянутым коллектором запыленного газа и камерами запыленного газа выполнены перфорированными для поступления в последние части запыленного газа минуя бункер. Соотношение проходного сечения отверстий (перфораций) в стенках коллектора запыленного газа и сечения щелевого прохода в бункер в каждой фильтрующей секции составляет приблизительно 1:1. Система регенерации фильтрующих рукавов включает в себя, по меньшей мере, один ресивер сжатого воздуха, соединенный хотя бы через один мембранный клапан с электроприводом с продувочными трубами, содержащими сопла, каждое из которых направлено в открытую торцевую часть фильтровального рукава со стороны коллектора очищенного газа. Каждая фильтрующая секция снабжена пневмоприводом, кинематически связанным с отсечной поворотной заслонкой, для изоляции камеры очищенного газа от коллектора очищенного газа во время регенерации фильтрующих рукавов. Проходные сечения системы регенерации выполнены в следующих соотношениях:

$$\frac{\sum F_{c.}}{F_{np.тр.}} = 0,8 \quad \frac{\sum F_{c.}}{F_{м.кл.}} = 0,55 \div 0,8$$

где  $\sum F_{c.}$  – суммарная площадь сечений проходных отверстий сопел продувочной трубы;  
 $F_{np.тр.}$  – площадь сечения продувочной трубы;

$F_{м.кл.}$  – площадь сечения проходного отверстия мембранного клапана.

Кроме того, в частных случаях реализации заявленного рукавного фильтра:

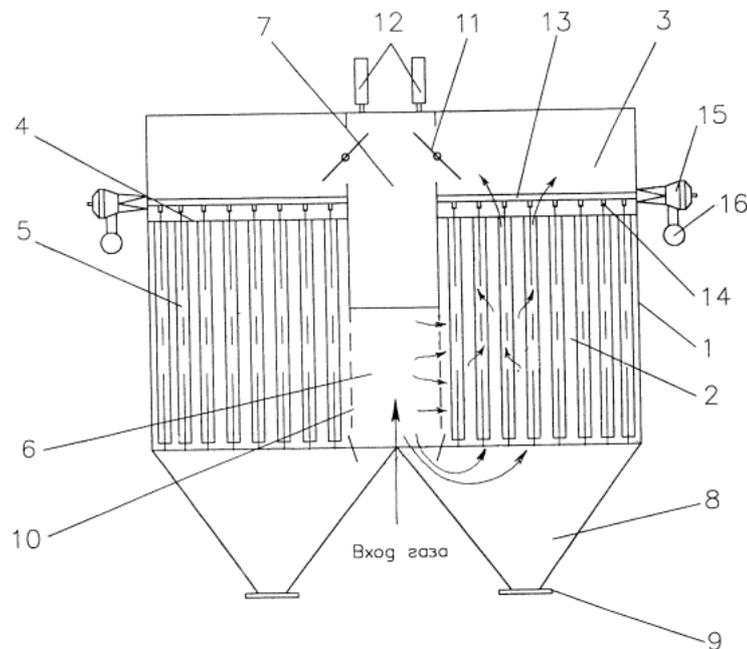
- для уменьшения габаритов фильтра, при сохранении поверхности фильтрования, в поперечном сечении фильтрующие рукава расположены в шахматном порядке;
- фильтрующие секции расположены в два ряда, в каждом из которых – до десяти секций;
- мембранный клапан выполнен с проходным отверстием, диаметр которого равен 150 мм;

Указанные признаки являются существенными, и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата.

Данное конструктивное решение обеспечивает разделение поступающего в фильтр загрязненного газа на две составляющие: половина потока через отверстия перфорированных боковых стенок коллектора поступает непосредственно в камеру загрязненного газа, минуя бункер фильтра. При этом перфорированные стенки коллектора играют роль распределительных решеток и обеспечивают равномерное распределение пылегазового потока по высоте рукавов. Вторая половина потока через щелевые проходы в нижней стенке коллектора поступает в бункер и далее на фильтровальные рукава. При этом за счет снижения скорости газового потока в бункерной части фильтра исключается унос пыли из бункера и, одновременно, происходит более эффективное осаждение пыли из поступающего в бункер пылегазового потока.

Указанные соотношения проходных сечений системы регенерации повышают интенсивность и эффективность очистки рукавных фильтров и соответственно – очистки запыленного газа.

На рисунке 23 представлен предлагаемый рукавный фильтр.



**Рисунок 23**

Рукавный фильтр состоит из корпуса 1, в котором расположены симметрично фильтрующие секции.

Каждая секция имеет камеру 2 запыленного газа и камеру 3 очищенного газа, которые разделены рукавной плитой 4 с отверстиями. К отверстиям рукавной плиты 4 присоединены фильтровальные рукава 5. Фильтровальный рукав 5 представляет собой составной проволочный каркас, обтянутый фильтровальным материалом. Снизу камеры 2 запыленного газа расположен бункер 8 с пылевыгрузным отверстием 9.

В корпусе 1 фильтра между рядами секций расположены в нижней части – коллектор 6 запыленного газа и в верхней части – коллектор 7 очищенного газа, разделенные горизонтальной перегородкой. Между коллектором 6 запыленного газа и бункерами 8 имеется щелевой проход для поступления из коллектора 6 запыленного газа в бункеры 8 и далее в камеры 2 запыленного газа, а точнее его части. Боковые перегородки 10 между коллектором 6 запыленного газа и камерами 2 запыленного газа выполнены перфорированными для поступления в последние другой части запыленного газа, минуя бункер.

Между коллектором 7 очищенного газа и камерами 3 очищенного газа расположены двухпозиционные отсечные поворотные заслонки 11 с пневмоприводами 12, расположенными снаружи корпуса 1.

В камерах 3 очищенного газа расположены продувочные трубы 13 с соплами 14. Продувочные трубы 13 через мембранные клапаны с электроприводом 15 соединены с ресиверами 16 сжатого воздуха.

Рукавный фильтр работает следующим образом. Запыленный поток из коллектора 6 запыленного газа через боковые перфорированные перегородки 10 и щелевые проходы в бункеры поступает в камеры 2 запыленного газа примерно в равном соотношении. При этом, за счет разделения потока, скорость газа в бункерах 8 снижается примерно в два раза по сравнению с известным фильтром, вследствие чего исключается унос из бункера уже осевшей пыли.

За счет равномерного распределения потока при помощи перфорированной перегородки 10 происходит равномерное распределение запыленного газа по высоте рукавов 5, что приводит к повышению эффективности использования площади поверхности фильтрования.

Из камеры 2 запыленного газа поток запыленного газа проходит через фильтровальные рукава 5, снаружи во внутрь, причем нижние торцы рукавов закрыты а верхние – открыты. Таким образом запыленный газ очищается от пыли, и далее через верхние открытые отверстия рукавов поступает в камеру 3 очищенного газа. Затем через открытые отсечные поворотные заслонки 11 очищенный газ поступает в коллектор 7 очищенного газа и далее через вентилятор и трубу выходит наружу.

Частицы пыли оседают на наружной поверхности рукавов 5. Периодически, по мере накопления пыли на поверхности рукавов 5, производится их регенерация (очистка).

Для этого вначале камеру 3 чистого газа, одной из секций, рукавам 5 которой предстоит регенерация, изолируют от коллектора 7 очищенного газа посредством отсечной поворотной заслонки 11. Далее через интервал времени (после закрытия отсечной поворотной заслонки 11), в течение которого происходит «успокоение» газового потока, автоматически включается (открывается) мембранный клапан с электроприводом 15 и сжатый воздух из ресивера 16 «мгновенно» через сопла 14 продувочных труб 13 поступает через отверстия в рукавной плите 4 в рукава 5. При этом происходит резкая деформация (надувание) фильтровального материала рукавов 5 с одновременной его продувкой потоком воздуха в направлении, обратном

потоку газа во время фильтрации. Происходит как бы встряхивание фильтровального материала рукавов 5.

Пыль, встряхнутая с фильтровальных рукавов 5, оседает в бункере 8 и выводится через пылевыгрузное отверстие 9 наружу. По завершении регенерации фильтровальных рукавов 5 в одной из секций, отсечная поворотная заслонка 11 этой секции открывается, вновь соединяя камеру 3 очищенного газа с коллектором 7 очищенного газа и процесс фильтрации запыленного газа продолжается.

Наличие перфорированных стенок в коллекторе грязного газа в сочетании с щелевыми проходами в бункер фильтра позволяет снизить скорость потока загрязненного газа в бункер и тем самым уменьшается вероятность подхвата осажденной пыли из бункера, тем самым увеличивая эффективность фильтрования загрязненного воздуха. Кроме того, за счет наличия перфорированных стенок запыленный газ более равномерно распределяется по фильтровальным рукавам, благодаря чему сокращается время на регенерацию фильтровальных рукавов и следовательно повышается интенсивность газоочистки и надежность рукавного фильтра.

За счет шахматного расположения рукавов уменьшаются габариты рукавного фильтра. Управление регенерацией фильтровальных рукавов осуществляется посредством блока управления.

Такая регенерация фильтровальных рукавов проводится последовательно в каждой секции фильтра через интервал времени, заданный таймером или датчиком перепада давлений на фильтровальных рукавах.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специальной оснастки и новой технологии.

Описанная в данном примере и изображенная на рисунке 23 конструкция рукавного фильтра не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [11].

## **Ряд рукавных фильтров с отключением секций на регенерацию и смену рукавов площадью фильтрации до 16 тыс. м<sup>2</sup> в одном аппарате**

Новые рукавные фильтры типа ФРМИ разработаны с учетом накопленного опыта по эксплуатации отечественных и зарубежных рукавных фильтров и предъявляемых современных требований к их эксплуатации в первую очередь в отраслях теплоэнергетики, цветной и черной металлургии.

Фильтры типа ФРМИ представляют собой набор модулей, которые формируют типоразмерный ряд фильтров с площадью фильтрования от 800 до 16000 м<sup>2</sup>, с расчетной производительностью по очищаемому газу от 70000 до 1380000 м<sup>3</sup>/ч. Пример компоновки фильтров типа ФРМИ представлен на рисунках 20, 21.

Способ регенерации рукавов – импульсная односторонняя продувка сжатым воздухом давлением 0,3÷0,6 МПа, с отключением секций на время регенерации.

Каждый модуль в процессе эксплуатации фильтра может быть отключен от газового потока по входу и выходу газа, что позволяет производить обслуживание и ремонт, не останавливая работу всего фильтра. Данное обстоятельство крайне важно при использовании фильтров в непрерывных технологических процессах.

Конструкция фильтров разработана с учетом повышения надежности узлов регенерации и совершенствования системы управления фильтрами. В этом плане достигнуто сокращение числа исполнительных устройств системы регенерации на единицу площади фильтрования по отношению к серийным фильтрам типа ФРИ-630; 800; 12350; 1600 [1] в 22 раза.

Заменена система управления регенерацией типа СУ-24, обеспечивающая циклический режим регенерации с изменением только паузы между импульсами, на микропроцессорный контроллер типа Elex-2200 с возможностью выхода на АСУТП и изменения алгоритма работы путем перепрограммирования системы управления с учетом условий эксплуатации фильтров.

Важной конструктивной особенностью новых фильтров в отличие от серийных фильтров является возможность установки фильтров вне зданий с использованием шатрового исполнения верхней части фильтров, являющейся их неотъемлемой составной частью. При этом, необходимым условием для надежной эксплуатации фильтров является теплоизоляция корпуса и бункеров фильтра, которая должна быть предусмотрена проектом установки.

Конструкция корпуса и основных узлов защищены патентами [12, 13, 14]. Новые решения позволяют исключить влияние скоростных напоров газовых потоков внутри фильтра на износ рукавов и снизить гидравлические потери на фильтры на 20 %.

Рабочая температура фильтров ограничивается рабочей температурой применяемого фильтроматериала, но не более 220°С. Сравнительные данные показателей качества рукавных фильтров различных фирм, применяемых в проектах установки газоочистки, представлены в [15, 16, 17].

Выбор аппаратов осуществляет ЗАО «Кондор-Эко», привязку – ОАО «Гипрогазоочистка».

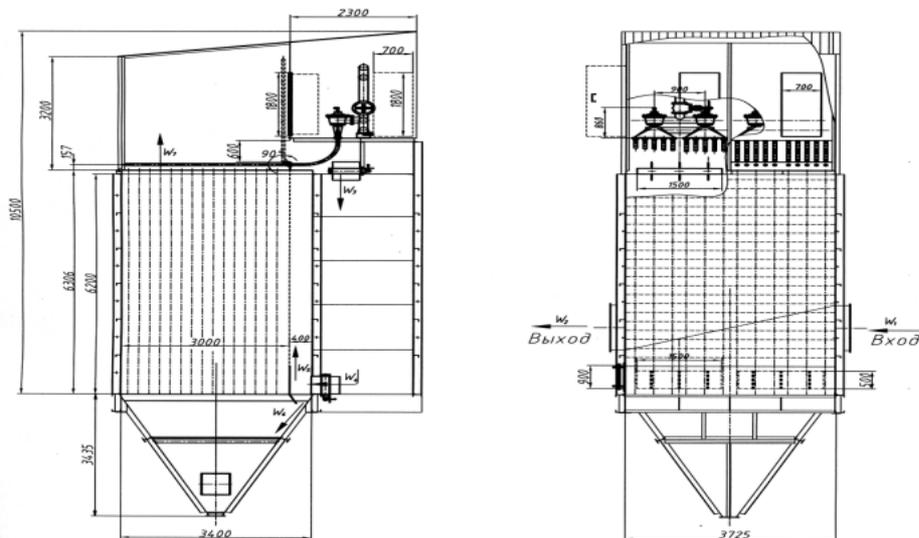


Рисунок 24. Базовый модуль (800 м<sup>2</sup>)

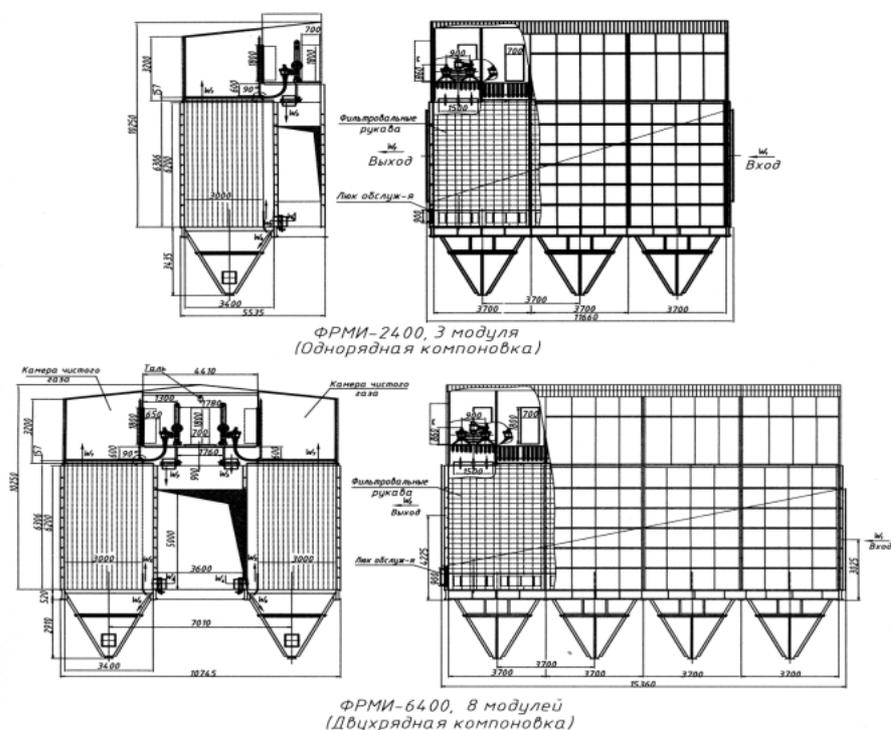


Рис. 25. Примеры однорядной и двухрядной компоновок.

## Рукавный фильтр с фиксированием каркаса рукава в верхней и нижней частях аппарата

Рукавный фильтр относится к устройствам для очистки газов от твердых частиц методом фильтрации и может быть использован для улавливания пыли в черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов, химической, пищевой и других отраслях.

Наиболее близким к предлагаемому устройству по технической сущности, решаемой технической задаче и совокупности общих существенных признаков является рукавный фильтр (RU № 986464) и фильтрующий рукав для рукавного фильтра (RU № 2179878), выбранные в качестве ближайших аналогов, включающие средство для крепления рукава к рукавной плите и обтянутый фильтрующей тканью секционный составной каркас, каждая секция которого выполнена в виде двух торцовых колец, одно из которых снабжено двумя диаметрально противоположными отогнутыми наружу вдоль оси секции выштамповками с выполненными в них отверстиями, каждая секция каркаса рукава снабжена пружинной скобой с заостренными отогнутыми концами для захода в отверстия выштамповок.

Известно выполнение фильтрующих рукавов со сборными каркасами (SU № 986464).

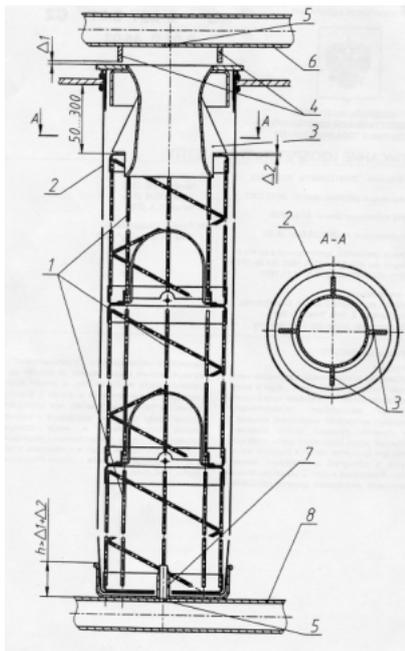
Однако такое выполнение каркасов не обеспечивает простой сборки и снижения трудоемкости замены рукавов длиной, например, более 5 метров с одновременным повышением эффективности регенерации рукавов и надежности работы фильтра.

Такая конструкция имеет серьезный недостаток: при эксплуатации рукавных фильтров с длиной рукавов более пяти метров верхняя часть каркаса опирается упорами к рукавной плите и за счет собственного веса центруется вдоль оси рукава без жесткой фиксации нижней части, что приводит во время фильтрации и регенерации к раскачке и соударению смежных рукавов в фильтре и преждевременному выходу из строя, снижению надежности работы фильтра, кроме того, при увеличении длины рукава регенерация его ухудшается ввиду слабого эжектирующего эффекта при входе в отверстия рукава струи сжатого воздуха от сопла раздающей трубы, а также затрудняется перемонтаж рукавов из-за невозможности освобождения рукава из отверстия рукавной плиты при наличии опирающейся длинной части секции каркаса на плиту и ее сцепления с рукавом в процессе эксплуатации фильтра.

Технической задачей, на решение которой направлено изобретение, является повышение эффективности регенерации рукавов длиной более пяти метров, повышение надежности в работе фильтра, упрощение замены рукавов и обслуживания рукавного фильтра.

Поставленная цель достигается тем, что рукавный фильтр включает раздающие трубы с соплами, средство для крепления рукавов к рукавной плите, диффузор и обтянутый фильтрующей тканью секционный составной каркас, верхняя секция которого не доходит до рукавной плиты на 50-300 мм, а нижний конец последней секции с рукавом вставлен в стакан с высотой стенки, на 10-100 мм большей, чем суммарные зазоры между выступами диффузора с верхней частью первой секции и между фланцем диффузора и упорами, прикрепленными к раздающей трубе.

На дне стакана в центре установлено сопло с острой кромкой с целью подачи встречного импульса сжатого воздуха снизу в рукав для повышения эффективности регенерации рукава длиной более пяти метров. Вместо диффузора сверху рукава может быть установлена укороченная секция длиной 100+400 мм, позволяющая при перемонтаже рукавов так же, как и диффузор с выступами, освобождать рукав от плиты, вынимая их из рукава, и демонтировать его вместе с секциями каркаса из фильтра.



Диффузор с выступами или укороченная секция в процессе монтажа обеспечивают жесткую фиксацию всех секций каркаса по высоте за счет прижатия каркаса выступами, расположенными на диффузоре, и упорами на раздающей трубе.

На чертеже изображен каркас с фильтрующим рукавом рукавного фильтра. Фильтрующий рукав для рукавного фильтра включает секционированный составной каркас 1, обтянутый тканью 2, диффузор с фланцем и выступами 3, раздающую трубу 6 с соплами 5 и упорами 4, стакан с соплом 7, имеющий острую кромку, закрепленный в центре стакана и соединенный с нижней раздающей трубой 8 и соплом 5. Высота стенки стакана  $h$  должна быть больше, чем суммарные зазоры между упорами и выступами  $\Delta 1 + \Delta 2$ , прижимающими каркас. Диффузор с выступами выполнен совместно с фланцем, который своей плоскостью прижимает рукав к плите за счет упоров 4, закрепленных на раздающей трубе, а выступы 3 на диффузоре обеспечивают жесткую фиксацию по вертикали всего каркаса по высоте фильтровального рукава, исключая соударение смежных рукавов друг о друга.

Размер между выступами на диффузоре и нижней плоскостью фланца диффузора определяется таким образом, чтобы при вынужденном вытаскивании диффузора можно было отсоединить рукав от плиты, не вынимая оставшиеся составные части каркаса из рукава, с последующим изъятием из фильтра рукава и составных частей каркаса.

Перемонтаж рукавов осуществляется в следующей последовательности: демонтируется раздающая труба с упорами, вынимается диффузор из рукава, разъединяется рукав с плитой, вместе с составными частями каркаса рукав вынимается из фильтра, освобождая его по мере выхода из плиты от каркаса и, разъединяя части каркаса, соединенные скобами, удаляют рукав.

Монтаж чистых рукавов осуществляется в следующей последовательности: опускается рукав в отверстие плиты, закрепляется относительно плиты средствами крепления (вшитое пружинное кольцо), сверху в рукав опускаются составные секции каркаса, соединенные пружинными скобами, при установке последней секции каркаса рукав и каркас фиксируют свое положение в стакане за счет стенок стакана и острой кромки сопла нижней раздающей трубы проходящего через отверстия нижнего кольца каркаса и рукава. После фиксации рукава с каркасом устанавливается диффузор, который своими выступами за счет усилия монтажника осадит каркас вниз до упора в дно стакана, уплотнив при этом место соединения рукава с соплом.

Для обеспечения герметичности и исключения перемещения каркаса в процессе эксплуатации вдоль его оси последний прижимается упорами раздающей трубы через плоскость фланца диффузора путем закрепления раздающей трубы в фильтре.

Выполнение фильтра согласно изобретению обеспечивает эффективность регенерации рукавов длиной более пяти метров, упрощенный ремонт без нахождения монтажника в камере запыленного газа фильтра, высокую надежность и ремонтпригодность [18].

### **Фильтр с увеличенной площадью фильтрования за счет образования поверхности фильтроэлемента в виде четырехугольных сот**

Изобретение относится к очистке газов от пыли. Известны фильтры типа ФРИ, ФКИ, ФРО и другие [19. С. 137]. В них пыль фильтруется через плоский фильтроматериал, натянутый на проволочные каркасы. Площадь фильтрации определяет производительность фильтра и равна площади фильтроматериала, натянутого на проволочные каркасы. Чем больше площадь фильтрации, тем больше фильтроэлементов, тем больше корпус и больше габариты и масса фильтра.

Для увеличения производительности применяют твердый плоский фильтроматериал, на нем выштамповывают выпуклости, тем самым увеличивают площадь фильтрации и производительность каждого фильтроэлемента и, соответственно, всего фильтра (ЕР 0199528 А2 опубликовано 29.10.86, приоритет 15.04.85 GB 8509618). Недостаток – увеличение площади фильтрации ограничено жесткостью материала и способностью сохранять выпуклости. Кроме того, такой жесткий фильтроэлемент для восстановления нужно вынимать и очищать от уловленной пыли, что ограничивает область применения аппарата. Формируется тонкий слой, который плохо абсорбирует вредные газообразные составляющие в очищаемом газе.

Техническая задача заявленного изобретения – увеличение производительности фильтра, снижение металлоемкости, упрощение обслуживания и увеличение максимальной производительности единичного фильтра, создание лучших условий для абсорбирования вредных газообразных составляющих в очищаемом газе. Указанный технический результат достигается тем, что фильтр содержит корпус, вход газа, выход очищенного газа и уловленного продукта и фильтрующие элементы.

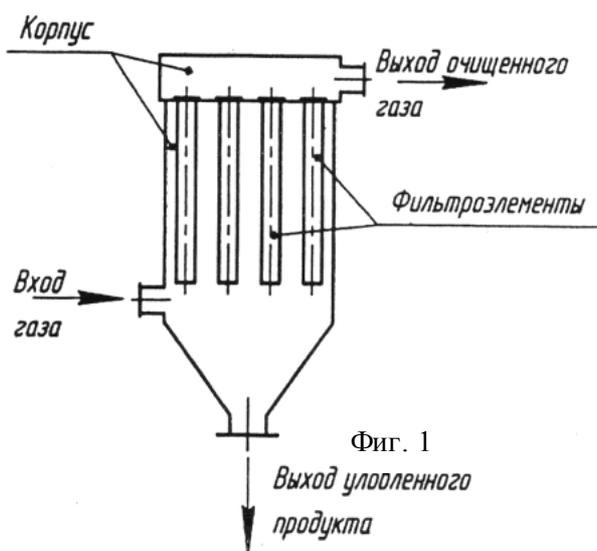
На фильтрующие элементы установлен плоский фильтроматериал, собранный в поверхностные четырехугольные соты, при этом он установлен в фильтрующие элементы стенками сот навстречу потоку газа (в данном случае фиг.1 наружу фильтрующего элемента). Кроме того, соотношение высоты стенок к расстоянию между параллельными стенками изменяется от 1/1 до 1/10 при высоте стенок до 40 мм.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата. Возможность осуществления изобретения, охарактеризованного приведенной выше совокупностью признаков, а также возможность реализации назначения изобретения может быть подтверждена описанием

возможной конструкции устройства, выполненной в соответствии с изобретением, сущность которого поясняется графическими материалами, на которых изображено следующее. На фиг. 1 изображена схема фильтра. На фиг. 2 изображен фильтрующий элемент с установленным на нем фильтровальным материалом.

На виде А приведены расположение и форма сот. В сечении Б-Б показана поверхность фильтрации и видно ее увеличение. Поток газа проходит через стенки и дно сот и по всей поверхности происходит нарастание уловленного продукта. С увеличением толщины слоя он отслаивается от стенок сот и потоком газа прижимается ко дну сот. В соте, особенно при сыпучих материалах (как глинозем), удобно формировать более толстый слой, чтобы при фильтрации через него абсорбировать более эффективно газообразные вредные вещества, например, фтористые соединения при электролизе алюминия. Изменением состава дисперсной фазы на входе газа в фильтр подбирается максимальный эффект абсорбции

вредных газообразных составляющих из очищаемого газа, а толстый слой в соте обеспечивает хорошую абсорбцию вредных газообразных составляющих из очищаемого газа. Увеличенная площадь фильтрации увеличивает производительность фильтра пропорционально увеличению площади фильтрации, что позволяет применить корпус меньших размеров и снизить металлоемкость фильтра.



Для очистки фильтроматериала от уловленного продукта очищенный газ, например, направляют в обратном направлении. При продувке им в обратном направлении фильтроматериала уловленный продукт со стенок и со дна сот стряхивается вниз и выводится через выход уловленного продукта, фиг.1.

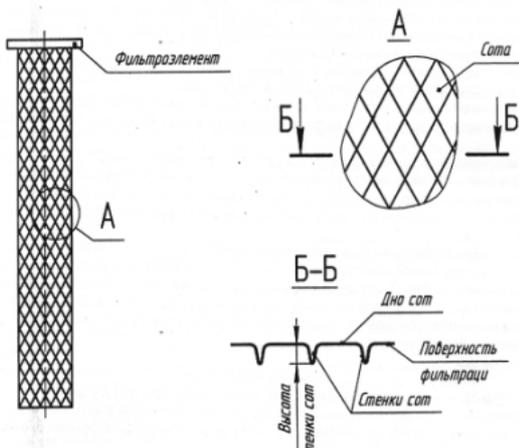
Можно в фильтрующие элементы подать импульсы сжатого воздуха от специальных устройств (на фиг.1 не показаны). Фильтроматериал, установленный на фильтрующие элементы (фиг.1), встряхнется этим импульсом и освободится от слоя уловленного продукта, который упадет вниз и также удалится через выход уловленного продукта.

Смена фильтрующих элементов очень редкая, только при износе и прорыве фильтроматериала, и поэтому фильтр проще обслуживать.

Увеличение площади фильтрации и, соответственно, производительности в два раза и более позволяет в тех же корпусах фильтров очищать в два и более раза больший объем газа.

Увеличение отношения высоты стенок к расстоянию между стенками более 1/1 приводит к забиванию сот уловленным продуктом, а уменьшение менее 1/10 существенно снижает эффект увеличения толщины слоя и улучшения абсорбции вредных газообразных составляющих из-за самообрушения слоя, который уже не удерживается стенками сот в полной мере.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специальной оснастки и новой технологии. Приведенная в данном описании и изображенная на фиг. 1 и фиг. 2 конструкция устройства «Фильтр» не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт



Фиг.2

ЧИЗ. 4

формулы изобретения [20].

## Фильтрующий элемент с увеличенной площадью фильтрации за счет гофр, скрепленных перпендикулярно линиям сгиба

Изобретение относится к технике фильтрации жидкостей и газов, преимущественно газов.

Известны такие фильтрующие элементы как фильтровальные рукава, включающие устройство крепления в корпусе фильтра, каркас и фильтровальный мешок из гибкого плоского фильтровального материала [19]. Основным недостатком этих элементов является ограниченная площадь фильтрации через площадь сечения фильтруемого потока.

Наиболее близким фильтрующим элементом являются гофрированные фильтрующие элементы (катриджи), включающие устройство крепления в корпусе фильтра и гофрированный жесткий фильтрующий материал («Гофрированные фильтрующие элементы «PulsPleat», проспект фирмы «ВНА», США, 2002), увеличивающие площадь фильтрации через площадь сечения фильтруемого потока. Основным недостатком гофрированных фильтрующих элементов является невозможность использования гибкого фильтрующего материала (тканого и нетканого), необходимого для импульсной очистки фильтрующего элемента (гибкий материал не «держит» форму гофр). Вызывают затруднения очистка гофрированного фильтрующего элемента и обратной продувкой.

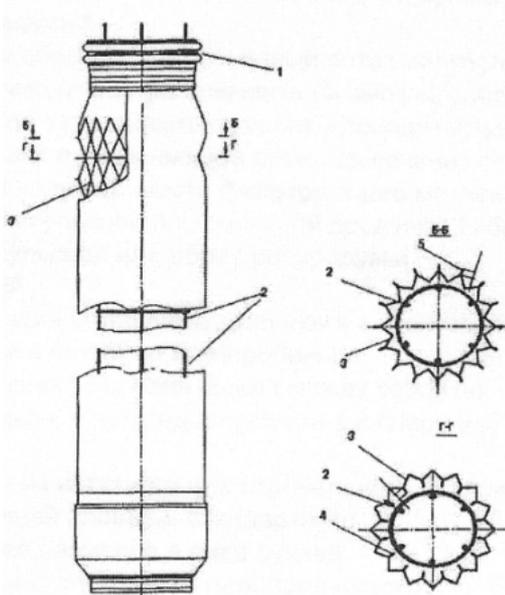
Указанные недостатки устраняются путем скрепления гофр между собой по линиям, перпендикулярным линиям сгиба гофр, поочередно изнутри и снаружи на глубину гофр от 0,1 до 0,9 высоты гофр. При длине линии крепления, меньшей 0,1 высоты гофр, отсутствует эффект увеличения площади фильтрации через площадь сечения фильтруемого потока. При длине линии крепления, большей 0,9 высоты гофр, практически невозможно очистить материал обратной продувкой. Эти линии крепления могут иметь регулярное или нерегулярное расположение.

Фильтрующий элемент (см. чертеж) включает устройство крепления в корпусе фильтра 1, проволочный каркас 2 и гофрированный гибкий фильтрующий материал 3. Гофры фильтрующего материала скреплены между собой по линиям 4, 5, перпендикулярным линиям сгиба гофр, поочередно изнутри 4 и снаружи 5.

Фильтрующий элемент работает следующим образом. Загрязненный поток жидкости или газа поступает снаружи через фильтрующий элемент внутрь элемента (возможна работа элемента и в обратном направлении потока). При этом он фильтруется, проходя через фильтрующий материал с площадью, значительно

превышающей площадь сечения потока. При накоплении критического слоя загрязнений на поверхности фильтрующего материала фильтрующий элемент регенерируется путем импульсной или обратной продувки. Гибкий фильтрующий материал под воздействием импульсной или обратной продувки деформируется и легко отдает слой загрязнений.

Изготовлен фильтрующий элемент, включающий устройство крепления в корпусе фильтра 1, проволочный каркас 2 и гофрированное нетканое иглопробивное фильтровальное полотно 3. Гофры фильтровального полотна сшили между собой по линиям 4, 5, перпендикулярным линиям сгиба гофр, поочередно изнутри 4 и снаружи 5 на глубину гофр от 0,25 высоты гофр.



В результате получен фильтрующий элемент из нетканого фильтровального материала с площадью фильтрации, в два раза превышающей площадь стандартного цилиндрического фильтрующего элемента тех же размеров в виде рукава.

Проведены сравнительные испытания работы стандартного цилиндрического фильтрующего элемента в виде рукава из нетканого иглопробивного фильтровального полотна и предлагаемого фильтрующего элемента.

Испытания показали, что предлагаемый фильтрующий элемент выдерживает в два раза больше циклов регенерации до предельной запыленности, чем стандартный цилиндрический фильтрующий элемент в виде рукава. Кроме того, испытания показали, что остаточное сопротивление у предлагаемого фильтрующего элемента растет значительно медленнее, чем у стандартного цилиндрического фильтрующего элемента в виде рукава.

Испытания показали эффективность регенерации фильтровального элемента импульсной продувкой [21].

### **Рукавный фильтр с одновременным встряхиванием нескольких рядов рукавов**

Изобретение относится к области очистки газов от твердых примесей и может быть использовано в различных технологических процессах металлургического, химического, пищевого, строительного и других производств.

Из источников научно-технической и патентной информации известно большое количество разнообразных конструкций фильтров, применяемых для очистки газов от твердых примесей, в которых очистка газов или воздуха ведется за счет оседания частиц на внешней поверхности рукавов с вводом загрязненного газа снаружи рукавов, который, проходя внутри рукавов, при выходе из них очищается.

Так, из патента RU 2144415, 20.01.2000, В 01 D 46/02 известен рукавный фильтр для очистки газа, содержащий корпус с расположенными в нем симметрично фильтрующими секциями, между которыми в нижней части горизонтально проходит коллектор запыленного газа, а в верхней части – коллектор очищенного газа. Каждая из фильтрующих секций включает в себя камеру запыленного газа с набором вертикально ориентированных фильтрующих рукавов с расположенной сверху камерой очищенного газа, а снизу – бункером для сбора пыли, сообщаемым с упомянутым коллектором запыленного газа через расположенный между ними щелевой проход. Имеется также система регенерации фильтрующих рукавов.

Такая компоновка рукавного фильтра в случае применения для очистки газов от твердых примесей с высокими адгезионными свойствами, с низкой насыпной плотностью работает неудовлетворительно. Большое количество клапанов снижает надежность. Кроме того, наличие в известном фильтре в одной секции значительного числа пневмоклапанов, каждый из которых соединен с одной раздающей трубой, приводит к усложнению конструкции фильтра и снижению надежности работы узлов регенерации и управления ими, а расположение мембранных клапанов с электроприводом вне корпуса снаружи не позволяет устанавливать фильтры вне зданий.

Наиболее близким к заявляемому решению по технической сущности и по количеству общих существенных признаков является «Рукавный фильтр» по патенту RU 2179879, 26.04.2001, В 01 D 46/02, содержащий корпус с расположенными в нем симметрично фильтрующими секциями, между которыми в нижней части горизонтально проходит коллектор запыленного газа. Каждая из фильтрующих секций включает в себя камеру запыленного газа с набором вертикально ориентированных фильтрующих рукавов с каркаса-

ми, с расположенными сверху камерой очищенного газа, а снизу – бункером для сбора пыли, сообщаемым с упомянутым коллектором запыленного газа через щелевой проход, систему регенерации фильтрующих рукавов, включающую в себя, по меньшей мере, один ресивер сжатого воздуха, соединенный, по меньшей мере, через один мембранный клапан с электроприводом с раздающими трубами, содержащими сопла, каждое из которых направлено в открытую торцовую часть фильтрующего рукава со стороны коллектора очищенного газа, а каждая фильтрующая секция снабжена пневмоприводом, кинематически связанным с отсечной поворотной заслонкой для изоляции камеры очищенного газа во время регенерации фильтрующих рукавов,

Такой фильтр имеет существенные недостатки. Повышенный расход сжатого воздуха, недостаточный срок службы рукавов и трудно определить, какой клапан надо ремонтировать. При эксплуатации фильтра для очистки газов от твердых примесей, имеющих специфические свойства, положительно влияющие на отделение слоя пыли, накопленного на рукавах, в процессе фильтрации необходимо изменение расхода сжатого воздуха, подаваемого на регенерацию рукавов, в целях снижения эксплуатационных затрат по сжато-му воздуху и увеличения срока службы рукавов. Кроме того, конструкция фильтра не позволяет размещение фильтра вне зданий по причине климатического воздействия на узлы системы регенерации, расположенные вне корпуса фильтра, а также исполнение камер чистого газа и корпуса фильтра для условий размещения фильтра вне зданий.

Техническая задача и достигаемый при ее решении технический результат заключаются в повышении интенсивности и эффективности процесса газоочистки, а также увеличении надежности рукавного фильтра и конструктивного обеспечения для условий размещения фильтра вне зданий. Указанный технический результат достигается тем, что рукавный фильтр содержит корпус с расположенными в нем фильтрующими секциями, между которыми в нижней части горизонтально проходит коллектор запыленного газа, а в верхней части – коллектор очищенного газа. Каждая из фильтрующих секций включает в себя камеру запыленного газа с набором вертикально ориентированных фильтрующих рукавов, с расположенной сверху камерой очищенного газа, а снизу – бункером для сбора пыли, сообщаемым с упомянутым коллектором запыленного газа через расположенный между ними щелевой проход и устройству для отключения входа запыленного газа. Кроме того, имеется система регенерации фильтрующих рукавов, размещенная внутри шатрового укрытия, включающая в себя, по меньшей мере, один ресивер, подключенный в каждой камере очищенного газа к двум мембранным клапанам с электроприводом через устройство, изменяющее гидравлическое сопротивление соединяющего участка. При этом к каждому мембранному клапану с электроприводом подсоединено несколько раздающих труб, содержащих сопла, каждое из которых направлено в открытую торцовую часть фильтрующего рукава со стороны коллектора очищенного газа. Каждая фильтрующая секция на входе и выходе газа снабжена отсечными поворотными заслонками, кинематически связанными с пневмоприводами для изоляции камер запыленного и очищенного газа от коллекторов очищенного и запыленного газа во время регенерации фильтрующих рукавов в отключенной секции.

Кроме того, в частных случаях реализации заявленного рукавного фильтра:

- для уменьшения габаритов фильтра количество сопел в смежных раздающих трубах, подсоединенных к одному мембранному клапану с электроприводом, различно, но одинаково через одну раздающую трубу, что должно соответствовать шахматному расположению рукавов на рукавной плите;

- камера очищенного газа совмещена с укрытием фильтра, и крыша фильтра является верхом камеры очищенного газа, при этом каркасы в рукавах выполнены разъемными для уменьшения высоты камеры очищенного газа, для доступа во внутрь камеры предусмотрена дверь;

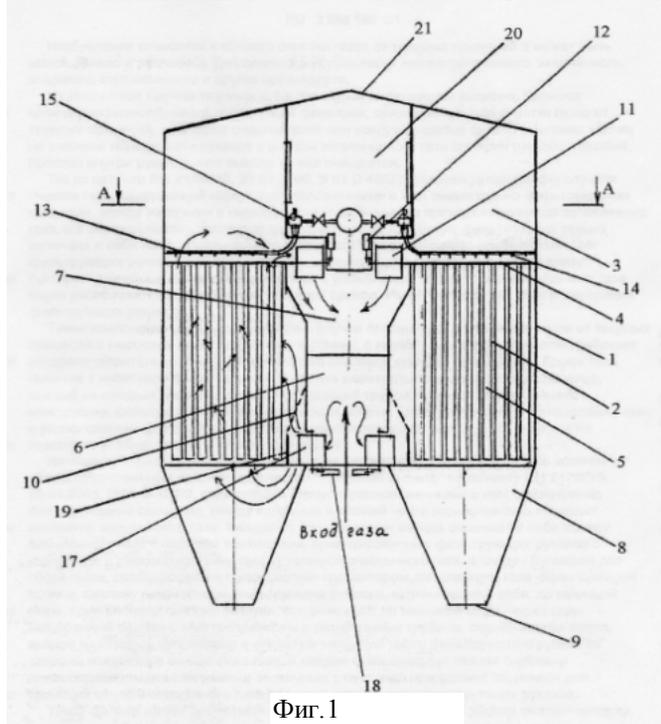
- боковые стенки коллекторов запыленного и очищенного газа являются элементами корпуса фильтра, причем коллектор очищенного газа расположен над коллектором запыленного газа и его боковые стенки доходят до крыши укрытия, при этом верхняя часть коллектора очищенного газа отделена от всего коллектора герметичным полом, а в полученной камере расположены ресивер, мембранные клапаны с электроприводами, устройства для изменения гидравлического сопротивления участка, соединяющего ресивер с мембранными клапанами, конфузоры и пневмоприводы поворотных заслонок, тем самым обеспечивая условия размещения фильтра вне зданий;

- для повышения интенсивности и эффективности процесса газоочистки отсечные поворотные заслонки на входе и выходе газа в фильтрующие секции, на время регенерации рукавов в секции, закрываются и открываются одновременно.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата. На фиг. 1 представлен предлагаемый рукавный фильтр; на фиг. 2 – вид А-А.

Рукавный фильтр состоит из корпуса 1, в котором расположены симметрично фильтрующие секции. Каждая секция имеет камеру 2 запыленного газа и камеру 3 очищенного газа, которые разделены рукавной плитой 4 с отверстиями. К отверстиям рукавной плиты 4 присоединены фильтрующие рукава 5. Фильтрующий рукав 5 представляет собой составной проволочный каркас, обтянутый фильтровальным матери-

лом. Снизу камеры 2 запыленного газа расположен бункер 8 с пылевывозным отверстием 9.



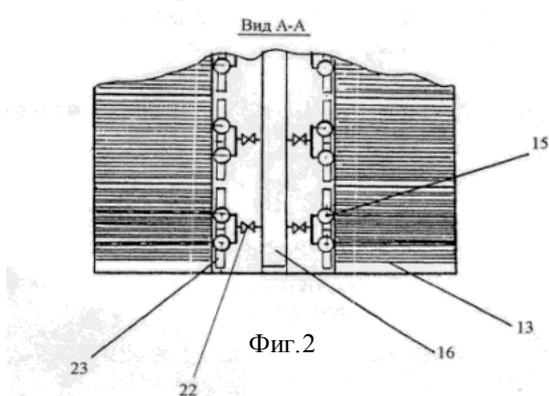
Фиг. 1

В корпусе 1 фильтра между рядами секций расположены в нижней части коллектор 6 запыленного газа и в верхней части – коллектор 7 очищенного газа, разделенный горизонтальной перегородкой. Между коллектором 6 запыленного газа и бункерами 8 имеется отсечная поворотная заслонка 17, снабженная пневмоприводом 18, щелевой проход для поступления из коллектора 6 запыленного газа в бункеры 8 и далее в камеры 2 запыленного газа, а точнее его части. При этом запыленный газ встречает на своем пути отражатель 19 и перфорированную наклонную решетку 10, разделяясь на два равных потока – вверх на рукава и в бункер через щелевой проход. Между коллектором 7 очищенного газа и камерами 3 очищенного газа расположены двухпозиционные отсечные поворотные заслонки 11 с пневмоприводами 12, расположенными над полом коллектора очищенного газа 7 в камере 20, образованной между продольными стенками камер очищенного газа и крышей 21 укрытия фильтра. В камерах 3 очищенного газа расположены раздающие трубы 13 с соплами 14. Раздающие трубы 13, по меньшей мере, пять труб на каждый мембранный клапан с электроприводом 15 через конфузор 23 позволяют в 5 раз сократить количество мембранных клапанов с электроприводом, упростить управление фильтром, повысить надежность, не снижая эффективность регенерации фильтра. А мембранные клапаны с электроприводами 15 соединены с устройством 22, изменяющим гидравлическое сопротивление участка, соединяющего с ресивером 16 сжатого воздуха, для установления необходимого расхода сжатого воздуха, подаваемого на регенерацию, в зависимости от свойств твердых примесей в газе, способствующих меньшей адгезии с фильтроматериалом, с целью оптимизации потребления сжатого воздуха и увеличения срока службы рукавов.

Рукавный фильтр работает следующим образом. Запыленный поток из коллектора 6 запыленного газа через отсечные поворотные заслонки с пневмоприводом 17, щелевые проходы в бункеры и перфорированные наклонные решетки 10 поступает в камеры 2 запыленного газа примерно в равном соотношении, что приводит к повышению эффективности использования поверхности фильтрования.

Из камеры 2 запыленного газа поток запыленного газа проходит через фильтрующие рукава 5 снаружи во внутрь, причем нижние торцы рукавов закрыты, а верхние – открыты. Таким образом, запыленный газ очищается от пыли и далее через верхние открытые отверстия рукавов поступает в камеру 3 очищенного газа. Затем через открытые отсечные поворотные заслонки с пневмоприводами 11 очищенный газ поступает в коллектор 7 очищенного газа и далее через вентилятор и трубу выходит наружу. Частицы пыли оседают на наружной поверхности рукавов 5. Периодически, по мере накопления пыли на поверхности рукавов 5 производится их регенерация (очистка). Для этого вначале камеру 3 чистого газа одной из секций, рукавам 5 которой предстоит регенерация, изолируют от коллектора очищенного газа 7 посредством отсечной поворотной заслонки с пневмоприводом 11. При этом одновременно изолируют камеру 2 запыленного газа от влияния проникающего скоростного напора запыленного газа из коллектора 6 запыленного газа посредством отсечной поворотной заслонки 17. Далее через интервал времени (после закрытия обеих отсечных заслонок 11 и 17), в течение которого происходит «успокоение» газового потока за

наиболее короткий интервал, т.к. влияние восходящих потоков запыленного газа в камере 2 исключено закрытием заслонки 17 от проникновения запыленного газового потока из коллектора 6, автоматически включается (открывается) мембранный клапан с электроприводом 15, и сжатый воздух с установленным необходимым расходом устройством 22 за импульс в зависимости от свойств улавливаемой пыли для каждого процесса очистки газов на стадии наладки, из ресивера 16 «мгновенно» через сопла 14 раздающих труб 13 поступает через отверстия в рукавной плите 4 в фильтрующие рукава 5 с одновременной его продвухой потоком воздуха в направлении, обратном потоку газа во время фильтрации.



Фиг. 2

Происходит как бы встряхивание фильтровального материала фильтрующего рукава 5.

Изолирование камер грязного газа 2 и камер очищенного газа 3 от процесса фильтрации во время регенерации и сокращения интервалов «успокоения» газового потока приводит к повышению эффективности и интенсивности процесса газоочистки, снижению эксплуатационных затрат на сжатый воздух, повышается срок службы рукавов и надежность фильтра. Пыль, встряхиваемая с фильтрующих рукавов 5, оседает в бункере 8 и выводится через пылевыгрузное отверстие 9 наружу. По завершении регенерации фильтрующих рукавов 5 в одной из секций отсечные поворотные заслонки с пневмоприводами 11,17 этой секции одновременно открываются, вновь соединя камеру 3 очищенного газа с коллектором 7 очищенного газа и коллектором 6 запыленного газа, и процесс фильтрации запыленного газа продолжается.

Наличие двух мембранных клапанов с электроприводами 15, принадлежащих каждой секции 3 очищенного газа, приводит к уменьшению общего количества мембранных клапанов с электроприводами на фильтре, тем самым, повышая эксплуатационную надежность фильтра и упрощая схему управления регенерацией фильтра. Управление регенерацией фильтрующих рукавов проводится последовательно в каждой секции фильтра через интервал времени, заданный таймером или датчиком перепада давлений на фильтрующих рукавах. Установка клапанов и пневмоцилиндров внутри представленного фильтра позволяют разместить фильтр вне зданий, что способствует снижению капитальных затрат при строительстве установок газоочистки.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специальной оснастки и новой технологии. Описанная в данном примере и изображенная на фиг. 1, 2 конструкция рукавного фильтра не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов ее изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [22].

## **Рукавный фильтр с подводкой грязного газа поперек продуваемых труб**

Изобретение относится к области очистки газов от твердых примесей и может быть использовано в различных технологических процессах.

Из источников научно-технической и патентной информации известно большое количество разнообразных конструкций фильтров, применяемых для очистки газов от твердых примесей, в которых очистка воздуха или газа ведется за счет оседания частиц на внешней поверхности рукавов с вводом загрязненного газа снаружи рукавов, который, проходя внутри рукавов, при выходе из них очищается.

Известен рукавный фильтр, содержащий корпус, соединенный снизу с бункером и разделенный рукавной плитой на камеры чистого и грязного газа, расположенные рядами вертикально ориентированные фильтровальные рукава, закрепленные открытыми концами в отверстиях плиты, систему импульсной регенерации рукавов, включающую продувочные трубы, установленные сверху над фильтрующими рукавами в камере чистого газа и обращенные своими соплами в рукава со стороны открытых концов рукавов, дополнительные продувочные трубы, обращенные своими соплами в фильтрующие рукава снизу вверх навстречу соплам продувочных труб, установленным сверху, для одновременной продувки рукавов с двух сторон навстречу друг другу, коллектор подводящего газохода, направляющий грязный газ к камере грязного газа (SU 1011189, В 01 D 46/02, 1983).

В известном фильтре входящий грязный газ изнашивает, в первую очередь, фильтровальные рукава, расположенные в первом ряду по обе стороны входного коллектора за счет наличия значительной скорости запыленного потока в подводящем газоходу и воздействия твердых примесей на рукава.

Наиболее близким к заявляемому решению является патент RU 2211078, 09.01.2002, В 01 D 46/02, содержащий корпус, соединенный снизу с бункером и разделенный рукавной плитой на камеры чистого и грязного газа, расположенные рядами вертикально ориентированные фильтрующие рукава, закрепленные открытыми концами в отверстиях упомянутой рукавной плиты, систему импульсной регенерации рукавов, включающую продувочные трубы, установленные сверху над фильтрующими рукавами в камере чистого газа и обращенные своими соплами в фильтрующие рукава со стороны открытых концов фильтрующих рукавов, дополнительные продувочные трубы, обращенные своими соплами в фильтрующие рукава снизу вверх навстречу соплам продувочных труб, установленным сверху, для одновременной продувки фильтрующих рукавов с двух сторон навстречу друг другу, коллектор подводящего газохода, направляющий грязный газ к камере грязного газа, перед каждым фильтрующим рукавом первого ряда по отношению к входящему грязному потоку, внутри корпуса фильтра вертикально расположена металлическая полоса по всей высоте коллектора подводящего газохода в месте входа его в корпус фильтра, ширина которой равна диаметру этого рукава.

Такая компоновка рукавного фильтра, касающаяся защиты рукавов от износа от воздействия на них твердых примесей большого скоростного газового потока, конструктивно сложна и металлоемка, исключает, не изменяя производительности фильтра, возможность свести к минимуму влияние скоростного потока

запыленного газа на износ рукавов, а также регулирование расхода сжатого воздуха, подаваемого на регенерацию рукавов в зависимости от свойств улавливаемых твердых примесей, способствующих пылеотделению накопленного слоя пыли с поверхности фильтрующих рукавов меньшим количеством сжатого воздуха с целью увеличения срока службы рукавов и экономии затрат на производство сжатого воздуха.

Техническая задача и достигаемый при ее решении технический результат заключаются в повышении интенсивности и эффективности процесса газоочистки, увеличении надежности рукавного фильтра и срока его службы, уменьшении металлоемкости фильтра, повышении удобства эксплуатации и монтажа фильтра.

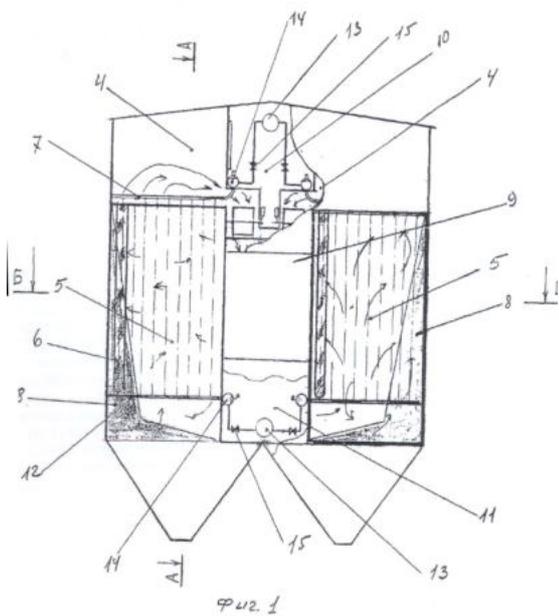
Указанный технический результат достигается тем, что фильтр содержит корпус, соединенный снизу с бункером. Рукавной плитой корпус разделен на камеры чистого газа в верхней его части и грязного газа в нижней его части. Корпус также содержит расположенные рядами вертикально ориентированные фильтрующие рукава, закрепленные открытыми концами в отверстиях упомянутой рукавной плиты. Рукавный фильтр также содержит систему импульсной регенерации рукавов, включающую продувочные трубы, установленные сверху над фильтрующими рукавами в камере чистого газа и обращенные своими соплами в фильтрующие рукава со стороны открытых концов фильтрующих рукавов. К корпусу прикреплен коллектор чистого газа, собирающий чистый газ из камер чистого газа через отключающие заслонки, управляемые электропневмоприводом. Грязный газ поступает в камеры грязного газа поперек продувочных труб по всей высоте и ширине камер грязного газа по крайней мере двумя газовыми потоками со скоростью пылегазового потока в пределах 0,5-2 от удельной газовой нагрузки на рукава ( $\text{м}^3/\text{м}^2/\text{мин}$ ), что позволяет увеличить срок службы рукавов за счет уменьшения скорости пылегазового потока в указанном переделе при входе в камеры грязного газа, в которых размещены рукава. При этом продувочные трубы объединены в группы, которые подсоединены к ресиверу, каждая через отдельный пневмоклапан и устройство с переменным гидравлическим сопротивлением, позволяющим регулировать расход сжатого воздуха на регенерацию рукавов в зависимости от свойств твердых примесей в газовой среде. Кроме того, система импульсной регенерации снабжена дополнительными продувочными трубами, установленными в камере грязного газа и обращенными своими соплами в фильтрующие рукава снизу вверх навстречу соплам продувочных труб, установленным сверху, для одновременной продувки фильтрующих рукавов с двух сторон навстречу друг другу. Элементы узлов регенерации размещены в обогреваемых за счет температуры очищаемого газа камерах обслуживания, размещенных под и над коллектором чистого газа, что повышает удобство обслуживания, надежность работы узлов, отпадает необходимость в оборудовании дополнительных площадок обслуживания фильтра. Указанное компоновочное решение позволяет эффективно использовать фильтр для размещения в объединенном корпусе – электрофильтр и рукавный фильтр, исключая при этом влияние скоростного напора пылегазового потока на износ рукавов. Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата.

Для повышения эффективности регенерации каждая секция камеры чистого газа снабжена отключающей заслонкой с электропневмоприводом для отключения секции на время регенерации рукавов.

Каждый фильтрующий рукав для удобства монтажа и демонтажа оснащен жестким разъемным каркасом, обеспечивающим минимальные затраты времени на соединение частей каркаса, обеспечивая жесткость по всей длине и удобство монтажа и демонтажа через камеру чистого газа, имеющую общую часть с шатровым укрытием фильтра.

На фиг. 1 представлен предлагаемый фильтр (вид со стороны входа грязного газа). На фиг. 2 представлен предлагаемый фильтр (вид сбоку с разрезом по сечению А-А.) На фиг. 3 представлен фильтр (вид сверху по сечению Б-Б).

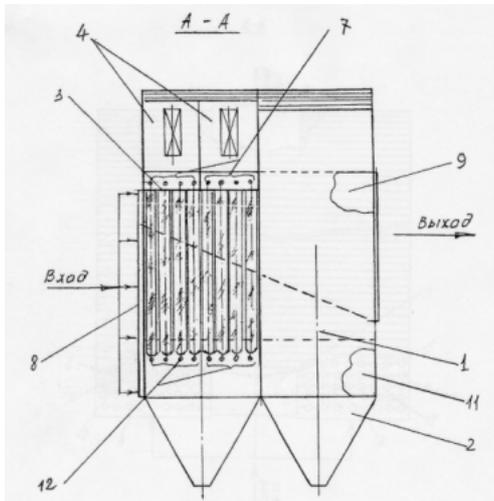
Фильтр содержит корпус 1, соединенный с бункером 2 или с бункерами. Рукавной плитой 3 корпус разделен на камеры 4 чистого газа в верхней его части, камеры грязного газа 5, камеры 10 и 11 для размещения узлов регенерации. Корпус 1 также содержит расположенные рядами вертикально ориентированные фильтрующие рукава 6, закрепленные открытыми концами в отверстиях упомянутой рукавной плиты 3. Рукавный фильтр также содержит систему импульсной регенерации рукавов, включающую объединяемые в группы продувочные трубы 7 (верхнего яруса), установленные сверху над фильтрующими рукавами 6 в камерах 4 чистого газа и обращенные своими соплами в фильтрующие рукава 6 со стороны открытых концов фильтрующих рукавов 6. В корпусе фильтра 1 имеется входная часть 8 в камеры грязного газа 5 подво-



да грязного газа поперек продувочных труб по всей высоте и ширине камер грязного газа, по крайней мере, двумя газовыми потоками со скоростью 0,5-2 от удельной газовой нагрузки на фильтр ( $\text{м}^3/\text{м}^2\text{мин}$ ). Коллектор чистого газа 9 имеет переменное сечение и герметично разделен от камер 10 и 11, которые, к тому же, вместе с камерами 10 и 11 разделяют корпус фильтра 1 на независимые автономные части фильтра, позволяющие повысить интенсивность и эффективность процесса газоочистки, а также уменьшить габариты и увеличить надежность фильтра.

Кроме того, система импульсной регенерации снабжена дополнительными объединенными в группы продувочными трубами 12 (нижнего яруса), установленными в камерах грязного газа 5 и обращенными своими соплами в фильтрующие рукава 6 снизу вверх навстречу соплам объединенных в группы продувочных труб 7, установленным сверху, для одновременной продувки фильтрующих рукавов 6 с двух сторон навстречу друг другу. Объединенные в группы продувочные трубы 7 (верхнего яруса) и 12 (нижнего яруса) при этом подсоединены к ресиверу 13, каждая через отдельный пневмоклапан 14 и устройство 15 с переменным гидравлическим сопротивлением, позволяющим устанавливать необходимый расход сжатого воздуха на регенерацию рукавов 6 в зависимости от свойств твердых примесей в газе, способствующих эффективной регенерации рукавов уменьшенным расходом сжатого воздуха.

Фильтр работает следующим образом.



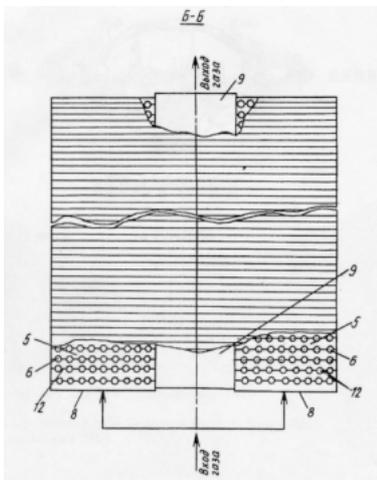
Фиг 2

Зачищенный поток газа через входную часть корпуса фильтра 8 поступает в камеры грязного газа 5 поперек продувочных труб 7 и 12 по всей высоте и ширине камер грязного газа, по крайней мере, двумя газовыми потоками со скоростью 0,5-2 от удельной газовой нагрузки на фильтр ( $\text{м}^3/\text{м}^2\text{мин}$ ), которая обеспечивает минимальный износ рукавов и, одновременно, пылегазовый поток поступает в щелевой проход под рукавами между бункерами вдоль левой и правой частей фильтра, затем снизу вверх на рукава 6. Из камер грязного газа 5 поток запыленного газа проходит через фильтрующие рукава 6 снаружи во внутрь, причем на торцы рукавов 6 закрыты, а верхние открыты. Таким образом, запыленный газ очищается от пыли и далее через верхние открытые отверстия рукавов 6 поступает в камеры 4 чистого газа. Затем через открытые отсечные отключающие клапаны очищенный газ поступает в коллектор чистого газа 9 и далее через вентилятор и трубу (на фиг. не показана) выходит наружу. Частицы пыли оседают на наружной поверхности рукавов.

Периодически, по мере накопления пыли на поверхности рукавов 6 в зависимости от свойств твердых примесей, их регенерируют (очищают) импульсами сжатого воздуха предварительно оптимизированным расходом сжатого воздуха устройством 15 на стадии пуско-наладочных работ в каждой группе продувочных труб.

При регенерации рукавов вначале камеру чистого газа одной из секций фильтра, в которой происходит регенерация рукавов, изолируют от коллектора чистого газа посредством отсечного отключающего клапана.

Далее, через интервал времени (после закрытия отсечного клапана), в течение которого происходит «успокоение» газового потока, автоматически одновременно открываются пневмоклапаны 14 узла регенерации верхнего и нижнего ярусов продувки и сжатый воздух из ресиверов 13 «мгновенно» через сопла группы продувочных труб 12 нижнего яруса и продувочных труб 7 верхнего яруса поступает во внутрь рукавов 6. При этом происходит резкая деформация фильтровального материала рукавов 6 с одновременной его продувкой потоком воздуха в направлении, обратном потоку газа во время фильтрации. Происходит встряхивание фильтровального материала рукавов 6. Для сокращения количества пневмоклапанов раздающие трубы объединены в группы, а каждая группа раздающих труб соединена с одним пневмоклапаном, который соединен с ресивером 13 через устройство переменного сопротивления 15.



Фиг. 3

Пыль, встряхнутая с фильтрующих рукавов 6, оседает в бункерах 2 и выводится через пылевыгрузные отверстия наружу. По завершении регенерации фильтрующих рукавов 6 в одной из секций отсечной клапан этой секции открывается, вновь соединяет камеру чистого газа 4 с коллектором очищенного газа и процесс

фильтрации запыленного газа продолжается. Нижних продувочных труб при необходимости может не быть.

Наличие в фильтре подвода грязного газа поперек раздающих труб по всей высоте и ширине камер грязного газа, по крайней мере, двумя газовыми потоками со скоростью пылегазового потока на входе в камеру грязного газа фильтра в пределах 0,5-2 от удельной газовой нагрузки на фильтр ( $\text{м}^3/\text{м}^2\text{мин}$ ) и объединение продувочных труб в группы, которые подсоединены к ресиверу, каждая через отдельный пневмоклапан и устройство с переменным гидравлическим сопротивлением, позволяют повысить интенсивность и эффективность процесса газоочистки, увеличить надежность рукавного фильтра, срок службы рукавов, уменьшить металлоемкость и улучшить эксплуатационные показатели.

Кроме того, разделение корпуса фильтра 1 на независимые автономные части коллектором чистого газа 9 и коллекторами 10 и 11 позволяет более эффективно использовать фильтрующую поверхность фильтра за счет возможности быть в работе одной из частей фильтра при случае необходимого простоя другой части фильтра (например, ремонт), а также уменьшить габариты фильтра за счет размещения узлов регенерации в камерах 10 и 11 внутри корпуса.

Описанная в данном примере и изображенная в графических материалах конструкция фильтра не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [23].

## **Рукавный фильтр с жалюзийной решеткой на входе для равномерного распределения газа на рукавах и понижения пылевой нагрузки**

Изобретение относится к области очистки газов от пыли и токсичных газовых компонентов, в частности фтористого водорода. Оно может быть использовано в стекольной промышленности, химической промышленности, цветной металлургии, например, для очистки газов ванн электролиза алюминия от пыли и фтористого водорода.

Известен рукавный фильтр, включающий бункер, коллектор, патрубки ввода и вывода газа и порошкового сорбента – US 2919174, кл. 23-2, 29.12.1959.

Недостатком этой конструкции является неравномерное распределение пыли и вводимого в очищаемый газовый поток порошкового адсорбента, например глинозема, по секциям фильтра. Это приводит к снижению эффективности улавливания пыли, и в частности фтористого водорода, нерациональному расходованию адсорбента, забиванию некоторых секций фильтра и, как следствие, к частым остановкам для регенерации фильтрующих поверхностей и чистки аппаратов.

Наиболее близким к предлагаемому устройству по технической сущности, решаемой технической задаче и совокупности общих существенных признаков является рукавный фильтр с импульсной регенерацией RU 2144415, В 01 D 46/02, 20.01.2000, принятый за прототип. Этот рукавный фильтр включает в себя корпус, соединенный снизу с бункером и разделенный рукавной плитой на камеры чистого и грязного газа, вертикальные фильтрующие рукава, закрепленные открытыми концами в отверстиях рукавной плиты, систему импульсной регенерации, продувочные трубы которой установлены в камере чистого газа и обращены своими отверстиями в сторону открытых концов рукавов, газоход, подводящий очищаемый газ. Газоход имеет общую с камерой грязного газа стенку и нижней частью соединен с бункером.

Недостатком этого фильтра является выход струи очищаемого газа в бункер с высокими скоростями и с высокими концентрациями пыли и глинозема. Это приводит к повышенному абразивному износу нижних концов рукавов крупными частичками пыли и глинозема. При этом происходит неравномерное запыление поверхности рукавов, что приводит к росту гидравлического сопротивления, повышенной частоте регенерирующих импульсов и к сокращению срока службы рукавов. Кроме того, неравномерное распределение слоя глинозема на рукавах обуславливает более низкий коэффициент адсорбции фтористого водорода.

Технической задачей заявленного изобретения и достигаемый при ее решении технический результат заключается в повышении надежности работы фильтра, срока его службы, эффективности очистки запыленных газов, в том числе от фтористого водорода.

Указанный технический результат достигается тем, что рукавный фильтр включает корпус, соединенный снизу с бункером и разделенный рукавной плитой на камеры чистого и грязного газа. Вертикальные фильтрующие рукава, закреплены открытыми концами в отверстиях упомянутой рукавной плиты. Имеется система импульсной регенерации, продувочные трубы которой установлены в камере чистого газа и обращены своими отверстиями в сторону открытых концов фильтрующих рукавов. Подводящий газоход направляет грязный газ к камере грязного газа, причем этот подводящий газоход имеет общую с камерой грязного газа стенку и нижним концом соединен с бункером. Фильтр снабжен жалюзийной решеткой.

Нижний конец стенки, являющейся общей для подводящего газохода и камеры грязного газа, расположен выше заглушенных концов рукавов, а верхний конец жалюзийной решетки совпадает с этим концом упомянутой стенки. Кроме того, в частных случаях реализации изобретения:

- жалюзийная решетка закреплена своим верхним краем к упомянутому корпусу фильтра шарнирно;
- нижний край жалюзийной решетки свисает свободно или оперт на часть корпуса фильтра;
- упомянутый газоход нижним концом соединен с бункером посредством патрубка;
- пластины жалюзийной решетки установлены с возможностью их поворота вокруг горизонтальных осей.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата.

Возможность осуществления изобретения, охарактеризованного приведенной выше совокупностью признаков, а также возможность реализации назначения изобретения может быть подтверждена описанием возможной конструкции устройства, выполненной в соответствии с изобретением, сущность которой поясняется графическими материалами.

На чертеже изображен предлагаемый рукавный фильтр. Он содержит:

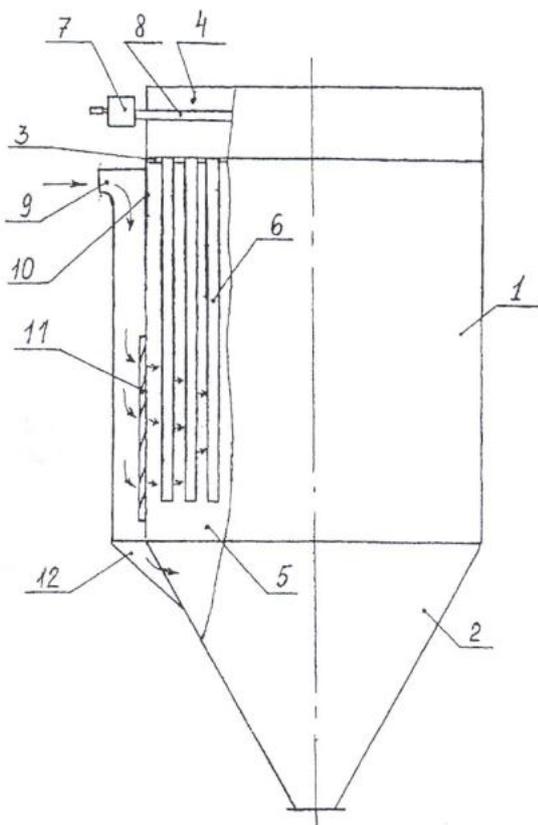
- корпус 1, соединенный снизу с бункером 2 и разделенный рукавной плитой 3 на камеру 4 чистого и камеру 5 грязного газа;
- вертикальные фильтрующие рукава 6, закрепленные открытыми концами в отверстиях рукавной плиты 3;
- систему импульсной регенерации 7, продувочные трубы 8 которой установлены в камере 4 чистого газа и обращены своими отверстиями (не показано) в сторону открытых концов рукавов 6;

- подводящий газоход 9, имеющий с камерой грязного газа общую стенку 10, которая с нижней своей части выполнена в виде жалюзийной решетки 11.

Нижний конец газохода 9 соединен с помощью подводящего патрубка 12 с бункером 2 фильтра.

Пластины жалюзийной решетки 11 в поперечном сечении установлены под углом к вертикальной плоскости таким образом, чтобы относительно крупные частицы запыленного газа, проходя мимо жалюзийной решетки 11 сверху вниз, отбрасывались на противоположную сторону подводящего газохода 9 и далее уносились в бункер 2. Кроме того, возможно регулирование углов наклона пластин жалюзийной решетки 11 в зависимости от состава очищаемого газа, что также способствует повышению эффективности работы фильтра. Фильтр работает следующим образом.

Дымовые запыленные газы, поступающие в фильтр, например, из электролизных ванн производства алюминия после реактора и несущие в себе остатки фтористого водорода, пыль и глинозем проходят по газоходу 9 сверху вниз. Часть газового потока проходит через жалюзийную решетку 11 в межукавное пространство по всей высоте рукавов 6, а часть газа с пылью и глиноземом поступает через патрубок 12 в бункер 2 и подходит снизу к рукавам 6. Далее обе части газа, проходя через рукава 6, выходят из фильтра через открытые концы рукавов 6, камеру 4 чистого газа и выпускной патрубок (не показан). На слое глинозема, осевшем на рукавах 6, происходит окончательная адсорбция фтористого водорода. Т.к. газоход 9 совместно с жалюзийной решеткой 11 представляет собой жалюзийный пылеуловитель, то в нем происходит улавливание части глинозема, особенно грубых его фракций с диаметром частиц от 15 мкм и более. Уловленная пыль выводится с частью газового потока в бункер 2. Благодаря тому, что часть газа отсасывается из нижнего конца жалюзийного пылеуловителя, существенно возрастает степень пылеулавливания последнего и уменьшается запыленность проходящего через рукава 6 газа. Это обеспечивает снижение гидравлического сопротивления фильтра, увеличение длительности цикла фильтрации, снижение частоты регенерирующих импульсов, что в конечном итоге приводит к увеличению срока службы рукавов и повышению надежности работы фильтра, срока его службы, эффективности очистки газов, в том числе от фтористого водорода.



Благодаря тому, что часть газа отсасывается из нижнего конца жалюзийного пылеуловителя, существенно возрастает степень пылеулавливания последнего и уменьшается запыленность проходящего через рукава 6 газа. Это обеспечивает снижение гидравлического сопротивления фильтра, увеличение длительности цикла фильтрации, снижение частоты регенерирующих импульсов, что в конечном итоге приводит к увеличению срока службы рукавов и повышению надежности работы фильтра, срока его службы, эффективности очистки газов, в том числе от фтористого водорода.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его изготовления не требуется специальной оснастки и новой технологии. Описанная в данном примере и изображенная в графических материалах конструкция фильтра не является единственно возможной для достижения вышеуказанного технического результата и не исключает других вариантов его изготовления, содержащих совокупность признаков, включенных в независимый пункт формулы изобретения [24].

## Фильтрующий элемент

Изобретение относится к технике фильтрации жидкостей и газов от взвесей и пылей и может быть использовано в фильтрующих элементах фильтров для различных отраслей промышленности

Известны рулонные фильтрующие материалы, тканые полотна [25] и нетканые полотна [26] для фильтрации жидкостей и газов.

Основным недостатком этих материалов является то, что они имеют плоскую поверхность фильтрования, т.е. площадь фильтрования равна площади сечения фильтруемого потока. Это вызывает необходимость создания фильтров с большим объемом для эффективной очистки заданного объема газа.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому фильтрующему материалу являются гофрированные фильтрующие материалы (из тканых и нетканых полотен) (Гофрированные фильтрующие элементы PulsPleat. Проспект фирмы «ВНА», США, 2002), увеличивающие площадь фильтрации по сравнению с площадью сечений фильтруемой потока.

Основным недостатком гофрированных фильтрующих материалов является возникновение высоких внутренних напряжений в углах гофр, которые приводят к преждевременному износу фильтрующего материала, затрудненная регенерация (очистка поверхности от загрязнителей) в связи с забиванием загрязнителями полостей с острыми углами, недостаточно развитая площадь поверхности фильтрования при заданной площади поперечного сечения очищаемого потока, что обусловлено формой профилирование фильтрующего материала.

Из патента США 5685887, МПК 7 В 01 D 39/08. 11.11.1997 известен фильтроэлемент, фильтровальный материал которого включает фильтровальное полотно, выполненное рельефным с выпуклостями в направлении фильтруемого потока.

Задачей заявленного изобретения и достигаемый при ее решении технический результат заключается в создании фильтрующего материала, имеющего развитую площадь фильтрования при заданной площади поперечного сечения фильтруемого потока, обладающего повышенной надежностью и способностью к эффективной регенерации. Это позволит повысить эффективность и надежность очистных аппаратов, снизить затраты на очистку загрязненных потоков.

Указанный технический результат достигается тем, что в фильтрующем материале, включающем фильтровальное полотно, выполненное рельефным с выпуклостями в направлении фильтруемого потока, согласно изобретению высота выпуклостей составляет от 0,1 до 10,0 характерных длин основания выпуклости, а между выпуклостями заложен каркас из более прочного материала, чем фильтровальное полотно [10]. При высоте выпуклости, меньшей 0,1 характерной длины основания выпуклости, эффект увеличения площади фильтрования становится незначительным. При высоте выпуклостей большей 10,0 характерных длин основания, резко снижается эффективность регенерации материала. Форма выпуклостей произвольная, исключая острые углы. Расположение выпуклостей может быть как регулярным, так и не регулярным. Между выпуклостями проложен каркас из более прочного материала, чем фильтровальный. Каркас может быть заложен как внутри материала, так и на его поверхности.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков для получения требуемого результата.

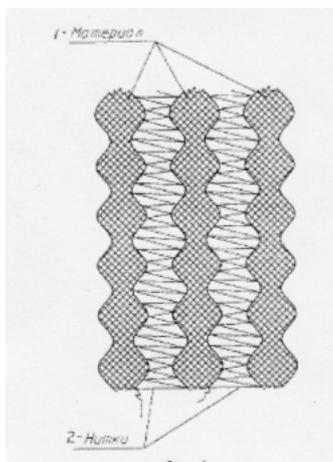
Возможность осуществления изобретения, охарактеризованного приведенной выше совокупностью признаков, подтверждена вариантом изготовления фильтрующего материала, сущность которого поясняется графическими материалами.

На фиг. 1 изображены элементы материала 1 и вариант их сшивания нитками 2.

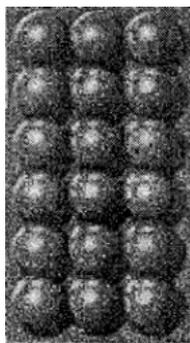
На фиг. 2 изображен элемент фильтрующего материала.

На фиг. 3 изображен разрез выступа с характерными размерами – высотой выпуклости  $h$  и диаметром основания  $d$ , и элементом каркаса 3.

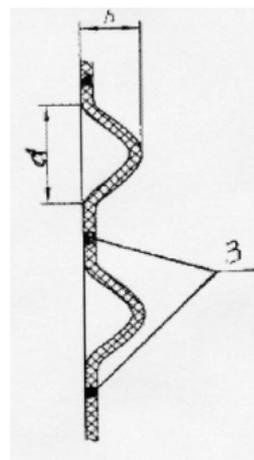
Вариант изготовления фильтрующего материала производится следующим образом. Фильтровальный материал выполняется в виде полос 1, ограниченных волнистыми линиями, например, синусоидами, затем эти полосы сшиваются нитками 2 по совпадающим вершинам и впадинам. В результате получается материал (фиг. 2), отвечающий предъявляемым требованиям.



Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг.3.

При жестких условиях эксплуатации при очистке потоков от труднорегенируемых загрязнителей материал снабжается дополнительным каркасом 3 между выпуклостями.

Предлагаемый материал может быть получен и другими способами. Например, при производстве нетканых фильтровальных полотен путем формирования на рельефной поверхности каландрирования между профилированными вальками и др. В отличие от прототипа замкнутая поверхность выпуклостей материала и выполнение их поверхностей по образующий с плавными переходами позволяет получить большую площадь поверхности фильтрации при заданной площади поперечного сечения фильтруемого потока. Фильтровальные элементы с использованием данного материала занимают меньший объем, что позволяет снизить затраты на очистные сооружения и повысить их эффективность.

Отсутствие острых углов при выполнении выпуклостей повышает износостойчивость фильтрующего материала и значительно повышает эффективность регенерации материала.

Использование дополнительного каркаса, проложенного между выпуклостями с наружной стороны материала или введенного внутрь материала, позволяет повысить износостойчивость материала и увеличить его долговечность. Такая совокупность технических решений в выполнении фильтрующего материала повышает площадь фильтрации при заданной площади фильтруемого потока, улучшает эффективность регенерации материала и его эксплуатационную надежность, снижает затраты на очистку.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как для его реализации не требуется новых технологий [27].

## **Способ регенерации рукавных фильтров электрическим методом, без использования сжатого воздуха**

Предлагаемое изобретение относится к области промышленной очистки газов от твердых частиц и находится на стыке двух направлений очистки: механической фильтрации частиц пыли через пористую перегородку и электрического пылеулавливания. Известен способ обратной продувки воздухом или очищенным газом отдельных элементов или секций фильтров без механического встряхивания материала фильтров (Аналог) [28, стр.198].

Недостатком аналога является тот факт, что при этом способе с фильтровальной поверхности удаляется не вся пыль, что приводит к необходимости более частой регенерации и, как следствие, к повышенному износу фильтровального материала.

Известно, что наиболее эффективными и перспективными являются методы, в которых механическая деформация сочетается с обратной продувкой ткани. Прототипом данного способа является обратная струйная продувка, реализующая также и механическую деформацию фильтрующего материала, заключающуюся в следующем: вдоль рукава вверх и вниз движется полое кольцо, через щель которого происходит истечение радиальной высокоскоростной струи сжатого воздуха, выдувающей пыль в направлении, обратном фильтрации [28, стр.201]. Разрушение слоя пыли является результатом одновременной деформации кольцами фильтрующего материала и выдувания пыли струей. К недостаткам прототипа следует отнести тот факт, что механические деформации фильтровального материала, вызываемые перемещающимся вверх-вниз кольцом, приводят к ускоренному износу фильтровального материала (требуется более частая его замена, что повышает стоимость очистки газов).

Предлагаемый способ лишен указанных недостатков аналога и прототипа, так как в дополнение к импульсной или обратной продувке тканевого фильтра применяется электрическое воздействие на заряжен-

ный слой частиц, сформировавшийся на фильтровальном материале, путем подачи регенерации постоянного или знакопеременного напряжения на каркас, изолированный от корпуса фильтра. Для повышения эффективности электрическое воздействие на слой осуществляется с переменной частотой, в том числе с резонансной частотой колебаний системы «ткань – осажденная на ней пыль».

Для осуществления электрической регенерации используется каркас, который изолируется от корпуса и других заземленных частей (каркас может представлять собой корзинку из прямых проволок (например, диаметром 4 мм), приваренных снаружи колец, расположенных на расстоянии, например, 200 мм друг от друга, и спираль, намотанную на каркасе тонкой проволокой, например, диаметром 0,5 мм) и на который при регенерации или в процессе фильтрации подается напряжение, по знаку совпадающее со знаком заряда слоя и частиц, находящихся в порах фильтровального материала.

При отключении секции тканевого фильтра осаждение частиц под действием основного газового потока прекращается и в обратном направлении (как при импульсной продувке), начинает действовать электрическая сила, которая сбрасывает с поверхности фильтровального материала отдельные элементы слоя, агрегаты и частицы.

Привлекательность электрической регенерации заключается в том, что электрическая сила действует на другие элементы слоя, чем газодинамическая продувка. Если в первом случае газ прорывается через каналы в пористой структуре, то электрическая сила действует на весь объем слоя. Конечно, следует иметь в виду, что для заряженного слоя и сама импульсная продувка проходит более эффективно из-за рыхлой структуры заряженного слоя. Изменение полярности напряжения интенсифицирует колебание материала и слоя, так как в первый момент после изменения полярности направление давления меняется на противоположное, а далее, из-за изменения полярности заряда, оно восстанавливается.

Таким образом, применение знакопеременного питания каркаса вызывает колебательные движения фильтровального материала и способствует его регенерации. Применение переменной частоты электрического воздействия позволяет интенсифицировать механическое воздействие на систему «ткань – осажденная на ней пыль», а при резонансной частоте достигать максимальной интенсивности отряхивания пыли.

Кроме того, на каркасе могут устанавливаться коронирующие электроды, позволяющие обеспечить подзарядку слоя и фильтровального материала и дополнительно интенсифицировать таким образом процесс электрической регенерации ткани [29].

## ИСТОЧНИКИ И ПРИМЕЧАНИЯ

1. *Ерохин А.В., Семенов Е.А. и др.* Очистка выбросов электросталеплавильного производства в рукавном фильтре с импульсной регенерацией//Сталь, № 9, 1990.
2. SU 1367842 A3, 15.01.88, B01D 46/02.
3. *Чекалов Л.В., Громов Ю.И.* Заявка на изобретение № 2002100122.
4. SU 743702, 30.07.81, B01D 46/02.
5. SU 1398887, 30.05.88 BO ID 46/02.
6. *Чекалов Л.В., Троицкий А.А.* Заявка на изобретение № 2001132743.
7. SU №1088760, 1304853.
8. SU №986464.
9. *Чекалов Л.В., Громов Ю.И.* RU 2179878. 26.04.2001.
10. DE 2329192, 05.08.1976, BO ID 46/02.
11. *Чекалов Л.В., Громов Ю.И.* RU 2179879. 26.04.2001.
12. RU 2179879 C 1.
13. RU 2179878 C 1.
14. Решение о выдаче патента на заявку №202100122/12 от 09.01.2002.
15. Рукавные фильтры FTS. Каталог. ZVVZ. Milevsko.
16. *Ерохин А.В., Витер Г.В., Подоляка А.Н., Поставничий В.В.* Унифицированный рукавный фильтр с импульсной регенерацией типа ФРИР для сухого обеспыливания технологических и аспирационных газовых выбросов/Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Харьков, НИПИ "Энергосталь", 2001.
17. Номенклатура рукавных фильтров для сухой газоочистки, типоразмеры и расходы газов от 2000 до 100000 м<sup>3</sup>/ч и более. Каталог ЗАО "Спейс-Моторс".
18. *Чекалов Л.В., Громов Ю.И., Веткин С.А.* Патент на изобретение № 2257941.
19. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов. Под ред. Л.В.Чекалова. Ярославль, «Русь», 2004.
20. *Чекалов Л.В., Чекалов В.В.* Патент на изобретение № 2281144.

21. Чекалов В.В., Чекалов Л.В. Патент на изобретение № 2283683.
22. Громов Ю.И., Чекалов Л.В. Патент на изобретение № 2283166.
23. Громов Ю.И., Чекалов Л.В. Патент на изобретение № 2283685.
24. Гинзбург Я.Л., Чекалов Л.В., Корсаков В.П., Корягин В.С., Бубнов В.И., Смола В.И. Патент на изобретение № 2216387.
25. Кащеев О. Российский рынок технического текстиля. Анализ, проблемы, тенденции и перспективы его развития. «Текстиль» 1(1), сентябрь. 2002.
26. Колюхова С.В., Мухамеджанов Г.К., Сулягина Т.Ф. О номенклатуре нетканых фильтрующих материалов и областей их применения», «Текстиль» 1(1), сентябрь, 2002.
27. Чекалов В.В., Чекалов Л.В. Патент на изобретение № 222369.
28. Ужов В.Н., Мягков Б.И.. Очистка промышленных газов фильтрами. М., Химия, 1970.
29. Чекалов Л.В., Курицын Н.А. Патент на изобретение № 2294789.

## СОДЕРЖАНИЕ

**Чекалов Л.В.** Техническая политика разработки и внедрения нового экотехнического оборудования... 3

### Часть первая

#### АППАРАТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

<b>Курицын Н.А., Морозов Ю.М., Санаев Ю.И., Завьялов А.И., Панасенко В.И., Глебов В.П.</b> Новое поколение электрофильтров типа ЭГАВ для металлургии, типа ЭГСЭ для энергетики, обеспечивающих нормы выбросов Российской Федерации.....	6
<b>Чекалов Л.В., Санаев Ю.И.</b> Опыт эксплуатации зарубежного электрофильтра на установке «Кодиак» ОАО «Янос» и разработка отечественного аппарата. Снижение токсичности отработавших газов дизелей с помощью электрофильтров.....	11
<b>Белогловский А.А., Чекалов Л.В.</b> Расчет степени очистки газов в электрофильтрах при высокой концентрации дисперсной фазы.....	14
<b>Архипов Н.А., Чекалов Л.В.</b> Очистка газов электрофильтрами в черной металлургии.....	19
<b>Чекалов Л.В., Ткаченко В.М.</b> Пути интенсификации работы электрофильтров.....	22
<b>Громов Ю.И., Ткаченко В.М., Чекалов Л.В.</b> Высокоэффективный комбинированный электрофильтр.....	29
<b>Курицын Н.А., Морозов Ю.М., Завьялов А.И., Чекалов Л.В.</b> Новое поколение электрофильтров типа ЭГСЭ для энергетики.....	32
<b>Санаев Ю.И.</b> Снижение выбросов пыли из электрофильтров при улавливании высокоомной пыли.....	36
<b>Гинзбург Я.Л., Чекалов Л.В.</b> Влияние условий вывода газового потока из электрофильтров на их степень улавливания.....	38
<b>Архипов Н.А., Чекалов Л.В., Курицын Н.А., Кизим И.А.</b> Электрофильтры типа ЭГАВ для металлургии. Опыт внедрения.....	43
<b>Морозов Ю.М.</b> Электрофильтры типа ЭГСЭ.....	46
<b>Ткаченко В.М., Л.В. Чекалов Л.В.</b> Электрофильтры общепромышленного применения.....	49
<b>Завьялов А.И.</b> Малозатратная технология восстановления и модернизации электрофильтров.....	51
<b>Семенов А.А.</b> Системы управления и регулирования для пылеулавливающих аппаратов.....	59

### Часть вторая

#### АППАРАТЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

<b>Громов Ю.И.</b> Новые рукавные фильтры с импульсной продувкой типа ФРМИ для больших объемов очищаемого газа.....	64
<b>Бубнов В.И.</b> Фильтры рукавные для улавливания твердых частиц и газообразных выбросов в алюминиевом производстве.....	67
<b>Горячев И.К.</b> Фильтры кассетные с развитой фильтровальной поверхностью типа ФКИ и их использование в различных отраслях промышленности.....	69
<b>Калинин А.В., Чекалов Л.В., Белогловский А.А.</b> Особенности улавливания заряженных аэрозолей в тканевых фильтрах.....	72
<b>Горячев И.К.</b> Пылеуловитель передвижной кассетный ППК-10.....	80
<b>Корягин В.С., Бубнов В.И.</b> Опыт внедрения фильтров типа ФРИА для очистки электролизных газов в	

алюминиевой промышленности.....	82
<b>Обичкин С.В., Мужичин А.Е.</b> Результаты внедрения и опыт эксплуатации рукавных фильтров модульного типа ФРМИ.....	87
<b>Горячев И.К.</b> Разработка и опыт применения ячеевых фильтров с развитой фильтровальной поверхностью.....	91
<b>Смирнов Е.П.</b> Применение инерционных пылеуловителей на предприятиях г. Ярославля.....	95
<b>Смирнов Е.П.</b> Совершенствование инерционных пылеуловителей.....	96
<b>Смирнов М.Е.</b> Современное состояние и перспективы развития инерционных пылеуловителей.....	98

### Часть третья

## ПАТЕНТЫ ХОЛДИНГА «КОНДОР ЭКО – СФ НИИОГАЗ»

### 1. АППАРАТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Коронирующий электрод штампованного типа.....	101
Коронирующий электрод сварной.....	102
Коронирующий электрод с дополнительными точками коронирования.....	105
Электрофильтр с верхним встряхиванием электродов высотой до 18 метров.....	108
Электрофильтр с уменьшенным расстоянием между полями, верхним встряхиванием коронирующих электродов и боковым встряхиванием осадительных электродов в напряженном состоянии.....	111
Электрофильтр с валом-изолятором, защищенным электростатическими полями от загрязнения пылью.....	114
Электрофильтр с верхним встряхиванием коронирующих электродов и дополнительным устройством встряхивания в виде коромысла в нижней части.....	115
Электрофильтр с частотным преобразователем для регулирования частоты и периодичностью встряхивания электродов.....	119
Комбинированный пылеулавливающий аппарат электрофильтр – рукавный фильтр.....	121
Комбинированный пылеулавливающий аппарат, позволяющий очистить выбросы ТЭС, сжигающие экибастузские угли, дешевле, чем электрофильтр, до выходной запыленности менее 30 мг/м <sup>3</sup> .....	123
Электрофильтр, обеспечивающий выбросы меньше 20 мг/м <sup>3</sup> .....	125
Электрофильтр с электрически равнопрочным межэлектродным промежутком.....	128
<i>Источники и примечания</i> .....	130

### 2. АППАРАТЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Рукавные фильтры с длиной рукавов до 9 метров.....	131
Крепление рукава в рукавной плите.....	134
Переламывающийся рукав.....	135
Рукавный фильтр с входом газа поперек рукавов.....	136
Ряд рукавных фильтров с отключением секций на регенерацию и смену рукавов площадью фильтрации до 16 тыс. м <sup>2</sup> в одном аппарате.....	139
Рукавный фильтр с фиксированием каркаса рукава в верхней и нижней частях аппарата.....	140
Фильтр с увеличенной площадью фильтрования за счет образования поверхности фильтроэлемента в виде четырехугольных сот.....	142
Фильтрующий элемент с увеличенной площадью фильтрования за счет гофр, скрепленных перпендикулярно линиям сгиба.....	143
Рукавный фильтр с одновременным встряхиванием нескольких рядов рукавов.....	144
Рукавный фильтр с подводкой грязного газа поперек продуваемых труб.....	147
Рукавный фильтр с жалюзийной решеткой на входе для равномерного распределения газа на рукавах и понижения пылевой нагрузки.....	150
Фильтрующий элемент.....	152
Способ регенерации рукавных фильтров электрическим методом, без использования сжатого воздуха.....	153
<i>Источники и примечания</i> .....	154

## **ИЗДАНО «КОНДОР-ЭКО»**

ХОЛДИНГОВАЯ ГРУППА «КОНДОР ЭКО – СФ НИИОГАЗ»

Л.В.Чекалов. Семибратово, «Кондор-Эко», 2003.

Президент холдинга Л.В.Чекалов рассказывает о становлении, развитии и современном этапе деятельности фирмы, приводятся сведения о последних разработках и внедрениях холдинга.

### **НОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ**

Семибратово, «Кондор-Эко», 2003

Материалы семинара 3-й Всероссийской научно-практической конференции «Оптимизация обращения с отходами производства и потребления» (Ярославль, 15-16 апреля 2003 г.), написанные ведущими специалистами холдинговой группы «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» в области разработки электрофильтров, рукавных фильтров и инерционных аппаратов.

### **СЕМИБРАТОВСКИЕ ФИЛЬТРЫ: РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ**

Семибратово, «Кондор-Эко», 2003

В книге рассказывается о разработках пылегазоочистного оборудования – инерционных аппаратов, аппаратов фильтрации (рукавных фильтров) и электрофильтров, осуществленных в Семибратовском филиале НИИОГАЗ (ныне ОАО «СФ НИИОГАЗ») и ЗАО «Кондор-Эко», с 2002 г. входящих в холдинговую группу «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ». Также в книге представлена информация о новейших системах управления работой электрофильтров и рукавных фильтров.

### **НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ ХОЛДИНГОВОЙ ГРУППЫ «КОНДОР ЭКО – СФ НИИОГАЗ»**

Семибратово, «Кондор-Эко», 2003

Книга подготовлена к печати по материалам патентов на изобретения, полученных ведущими научными сотрудниками холдинговой группы «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» в 2001-2003 гг. и отражающих новейшие разработки в области совершенствования работы электрофильтров и рукавных фильтров. Данные разработки могут быть использованы в теплоэнергетике, в различных технологических процессах металлургического, химического, строительного и других производств.

### **ЭКОТЕХНИКА**

Под редакцией Л.В.Чекалова. Ярославль, «Русь», 2004

В книге рассмотрены различные аспекты работы экотехнических устройств – инерционных аппаратов, аппаратов фильтрации и электрофильтров, промышленных установок и систем, снижающих вредные выбросы твердых частиц и аэрозолей. Кроме технических показателей дано теоретическое объяснение работы процессов, происходящих в экотехнических установках и системах с целью осуществления их эффективного проектирования, строительства и эксплуатации. Книга представляет интерес для проектировщиков, специалистов служб, контролирующих и эксплуатирующих экотехническое оборудование, руководителей и специалистов промышленных предприятий, а также студентов, изучающих экотехнику.

### **ОТ ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА – К ЭКСКЛЮЗИВНЫМ КОНСТРУКЦИЯМ**

Семибратово, «Кондор-Эко», 2005

В сборник включены статьи ведущих сотрудников холдинговой группы «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ», специалистов в области пылегазоочистки, написанные в 2004-2005 гг. Основной объем книги составляют материалы, посвященные проблемам совершенствования электрофильтров. Также здесь представлены материалы о новейших разработках тканевых фильтров и о системе субконтрактинга в газоочистке.

## НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ ХОЛДИНГОВОЙ ГРУППЫ «КОНДОР ЭКО – СФ НИИОГАЗ»

Выпуск 2. Семибратово, «Кондор-Эко», 2007

В книге представлены сведения о патентах, полученных сотрудниками холдинга «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» в 2003–2006 гг.

### КАТАЛОГ ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Под редакцией Л.В.Чекалова. Ярославль, «Нюанс», 2006

Каталог содержит информацию об основных типах отечественных электрофильтров, матерчатых (рукавных) фильтров, инерционных аппаратов (циклонов), мокрых аппаратов фильтрации, а также об электротехническом оборудовании для электрофильтров. Раздел «Мокрые аппараты» подготовил доктор технических наук, профессор А.Ю.Вальдберг. Разделы каталога «Электрофильтры», «Электротехническое оборудование», «Фильтры матерчатые (рукавные)», «Циклоны», «Реконструкция газоочистного оборудования» составлены сотрудниками холдинговой группы «Кондор Эко–СФ НИИОГАЗ».

### СФ НИИОГАЗ: СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Семибратово, «Кондор-Эко», 2007

В 2002 году вышла книга «За чистое небо», посвященная 40-летию Семибратовского филиала научно-исследовательского института по промышленной и санитарной очистке газов, ныне ЗАО «Семибратовская фирма НИИОГАЗ». В новой книге, изданной к 45-летию СФ НИИОГАЗ, дана краткая справка об этапах становления и дальнейшего развития фирмы, опубликованы воспоминания о ветеранах и наиболее значительных страницах истории института, представлены материалы о выполненных здесь диссертационных работах и о деятельности фирмы в составе холдинговой группы «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ», а также дана информация об экспериментальной лабораторно-стендовой и производственной базе, об услугах и поставках холдинга.

### СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ

Семибратово, «Кондор-Эко», 2007

Сборник составлен по материалам научно-технической конференции «Современное оборудование для промышленной очистки газов от твердых веществ», посвященной 45-летию создания Семибратовского филиала НИИОГАЗ, ныне ЗАО «Семибратовская фирма НИИОГАЗ». Конференция состоялась 7-9 ноября 2007 г. в п. Семибратово. Авторы докладов – ведущие сотрудники холдинга «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» – представляют новейшие достижения в области пылегазоочистки, последние разработки электрофильтров, инерционных аппаратов, рукавных и кассетных фильтров, а также материалы о деятельности холдинга по модернизации пылеулавливающего оборудования и его комплектованию новыми системами управления и регулирования.

### АТЛАС ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕЙ

Л.Я.Скрябина. Семибратово, «Кондор-Эко», 2007.

В атласе приводятся данные о физико-химических свойствах около 100 видов промышленных пылей электрических, металлургических, машиностроительных, строительных, химических и пищевых предприятий, которые необходимы для оптимального выбора пылеулавливающего оборудования.

### СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АППАРАТОВ И УСТАНОВОК ГАЗООЧИСТНОГО И ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТРЕБОВАНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НОРМ

А.И.Завьялов. Ярославль, «Нюанс», 2007

Изложенная в монографии система обеспечения надежности пылегазоочистного оборудования позволяет реально решать проблемы надежности как для вновь создаваемых аппаратов и установок, так и для действующего оборудования на промышленных предприятиях.

## УСЛУГИ ХОЛДИНГА «КОНДОР ЭКО – СФ НИИОГАЗ»

Холдинговая группа «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» выполняет весь спектр работ, требующихся потребителям пылеулавливающих аппаратов, установок и систем, обеспечивает следующие виды услуг по решению проблем пылеулавливания:

Разработка нового оборудования и проектирование установок газоочистки с применением нового оборудования.

Оптимальный выбор пылеулавливающего оборудования: электрофильтров, рукавных фильтров, инерционных аппаратов и т.д.

Организация проектирования установок газоочистки и пылеулавливания.

Комплектная поставка пылеулавливающего оборудования: электрофильтров, рукавных фильтров, других типов пылеулавливающего оборудования под заданные условия эксплуатации.

Модернизация пылеулавливающих установок и нестандартные решения с учетом особенностей технологического процесса, обеспечивающие минимальные выбросы в атмосферу.

Шефмонтажные и пуско-наладочные работы.

Оптимизация режимов пылеулавливания.

Замена устаревших агрегатов питания электрофильтров на новые, с автоматической системой управления.

Обследование, настройка и оптимизация работы агрегатов питания электрофильтров с целью получения максимальной степени очистки и экономии электроэнергии.

Строительство, ремонт и сервисное обслуживание установок газоочистки.

Обследование и выдача технических решений по восстановлению механических узлов промышленных электрофильтров, разрушаемых в процессе эксплуатации, с поставкой запасных частей.

Модернизация агрегатов питания и систем управления с заменой устаревшего оборудования на современное.

Обслуживание, проверка, выдача заключения о возможности использования существующих фундаментов и постаментов при реконструкции электрофильтров.

Изготовление осадительных элементов повышенной точности и специальных коронирующих элементов на новом оборудовании, которое позволяет не менее чем вдвое снизить выбросы из электрофильтра.

Поставка для электрофильтров защитных сопротивлений кабелей и изоляторов.

Расчет и внедрение режимов встряхивания электродов.

Разработка конструкций новых электрофильтров, рукавных фильтров и инерционных пылеуловителей.

Изготовление и выбор фильтроэлементов для рукавных фильтров любых типов.

Реконструкция устаревших рукавных фильтров в различных отраслях промышленности с использованием современных способов регенерации и фильтроматериалов.

Реконструкция электрофильтров под рукавные фильтры. Замена систем управления регенерацией фильтров на современные системы с использованием микропроцессорных контроллеров.

Разработка новых и реконструкция существующих систем газоподвода и газораспределения.

Оформление и продвижение заказов на поставки пылеулавливающего оборудования.

Комплектация пылеулавливающего оборудования.

Обучение персонала предприятий выбору, монтажу, эксплуатации пылеулавливающего оборудования.

Холдинговая группа «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» обеспечивает контроль за изготовлением оборудования, требует согласований с разработчиками всех отклонений и изменений от рабочей документации, вызванных требованиями технологического процесса изготовления, чтобы не ухудшать рабочие характеристики аппаратов.

Холдинг стремится к тому, чтобы строительство и монтаж установки газоочистки проводились организацией, которая аттестована разработчиком аппаратуры в том, что она может обеспечить требования к строительству и монтажу аппарата и рабочие характеристики экотехнической установки не будут ухудшаться по сравнению с гарантированными в документации проекта.

Разработчик обязательно должен вести авторский надзор и шефмонтаж установки газоочистки, принимать участие в промежуточных и пусковых испытаниях и в сдаче установки в эксплуатацию.

Цель новой технической политики холдинговой группы – предложить предприятиям услугу, когда они по договорной стоимости очистки кубического метра отдают холдингу на очистку «грязный» газ.

# ПОСТАВКИ ХОЛДИНГА «КОНДОР ЭКО – СФ НИИОГАЗ»

## ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ

Холдинговая группа «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» предлагает потребителям новое поколение электрофильтров, в которых удалось существенно снизить металлоемкость и уменьшить габариты установок с обеспечением требуемых норм выбросов твердых частиц.

На базе электрофильтров ЭГА разработаны конструкции электрофильтров широкого промышленного применения ЭГА-М и ЭГАВ, для теплоэнергетики – ЭГСМ и ЭГВ-М. Электрофильтр типа ЭГА-М отличается от ЭГА применением коронирующих электродов с пониженным напряжением зажигания коронного разряда, что позволяет снизить выбросы до 50 % в зависимости от типоразмера, экономичным приводом механизма встряхивания с широким диапазоном регулирования скорости и защитой от коротких замыканий и перегрузок, использованием подвесной системы установки коронирующих электродов.

Электрофильтры типа ЭГАВ с верхним расположением механизмов встряхивания и применением новой электродной системы также позволили улучшить технические характеристики: площадь осаждения увеличилась на 35–50 %; время пребывания частиц в активной зоне увеличилось на 30–40%; удельная металлоемкость снизилась на 6–15%. В теплоэнергетике всё большее применение находят электрофильтры типа ЭГВ-М с межэлектродным расстоянием до 460 мм, высотой активной части до 18 метров и с использованием коронирующих элементов типа СФ-2.

Смоляной электрофильтр типа С-9,7 предназначен для очистки от смолы, масляных туманов и пыли генераторных и коксохимических газов и обеспечивает выбросы менее 50 мг/м<sup>3</sup>.

## РУКАВНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Рукавные фильтры модульного исполнения типа ФРМИ разработаны с учетом предъявляемых к ним эксплуатационных требований в отраслях теплоэнергетики, цветной и черной металлургии. Представляют собой набор модулей, формирующих типоразмерный ряд фильтров с площадью фильтрования от 800 до 16000 м<sup>2</sup>, с расчетной производительностью по очищаемому газу от 70000 до 1380000 м<sup>3</sup>/ч.

Рукавные фильтры типа ФРИА предназначены для систем «сухой» газоочистки алюминиевого производства, в которых для уменьшения абразивного износа рукавов, благодаря конструкции газоподвода, обеспечиваются умеренные скорости пылегазового потока и его равномерное распределение по рукавам. При изготовлении плит рукавных фильтров используется технология лазерного раскроя листового металла, что существенно повышает качество их изготовления.

Фильтры кассетного исполнения типа ФКИ могут быть установлены в помещениях работающих цехов, где пространство ограничено.

## ЦИКЛОНЫ

Циклоны типа СЦН, ЦН, СКЦН – высокоэффективные, устойчивые к абразивному износу, армированные, изготовленные с выполнением условий заказчика. Разработана теория расчета и методика выбора циклонов, а также техдокументация аппаратов.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Контроллеры микропроцессорные типа «Еlex-24» и «Еlex-2200» – для управления регенерацией рукавных фильтров. Системы управления периодическим встряхиванием электродов электрофильтров типа Еlex.

Агрегаты питания и автоматические системы управления ими отечественного и импортного производства. Автоматические системы управления электрофильтрами, в том числе самонастраивающиеся (с возможностью подключения к АСУТП), типа БУЭФ. Компактные приводы встряхивания электродных систем с частотным регулированием.

## ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ РУКАВА

1. Разнообразные конструкции рукавов любой длины для фильтров:
  - с механической и комбинированной регенерацией ФВ, ФВК, РФГ и др.;
  - с обратной продувкой ФРО, «БЕГХАУС» и др.;
  - с импульсной продувкой ФРКИ, ФРКН, ФРКДИ, ФРИ, СМЦ и др.
2. Подбор фильтровальных материалов (ткани и иглопробивное полотно) для рукавов с учетом особенностей условий эксплуатации конкретной установки пылеулавливания с рабочей температурой до 250° С (кислотоустойчивые, противомасляные и др.)
3. Изготовление и поставка фильтровальных рукавов из материалов отечественных и зарубежных производителей.