

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ  
ЭЛЕКТРОГАЗООЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

**Семибратово**

**2018**

# СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....  | 3  |
| ГЛАВА 1 ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОГАЗООЧИСТКИ .....  | 5  |
| 1.1. Экологический аспект газоочистки .....   | 5  |
| 1.2. Промышленные отходы и газоочистка .....  | 6  |
| 1.3. Становление газоочистки .....  | 10 |
| 1.4. Образование отечественной газоочистительной отрасли .....  | 14 |
| 1.5. Безотлагательная необходимость усиления природоохранной деятельности и создания электрофильтров нового поколения ..... | 26 |
| 1.6. Выводы .....   | 33 |
| ГЛАВА 2 СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГАЗООЧИСТКИ И ПРОБЛЕМЫ ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ.....                                   | 35 |
| 2.1. Введение .....   | 35 |
| 2.2. Принципиальные особенности современных электрофильтров.....  | 35 |
| 2.3. Конструкции современных электрофильтров .....  | 46 |
| 2.4. Улавливание пылей с особыми свойствами.....  | 50 |
| 2.5. Задачи по созданию электрофильтров нового поколения .....  | 55 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....   | 62 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....  | 67 |
| Приложение 1.....   | 70 |
| Приложение 2.....   | 75 |
| Приложение 3.....   | 84 |
| Приложение 4.....   | 85 |

## ВВЕДЕНИЕ

Электрофильтры, реализующие принцип электрогазоочистки, являются одними из основных газоочистных аппаратов. История их развития в течение более 100 лет включает разработку научных основ, совершенствование принципов конструирования, производство электрофильтров и накопление опыта их эксплуатации. В результате в настоящее время работают достаточно надежные аппараты, очищающие большие объемы дымовых газов, прежде всего выбросов тепловых электростанций.

Современные требования к электрогазоочистке существенно возрастают в связи с интенсивным развитием промышленности и значительным увеличением объемов газов, нуждающихся в переработке. Появление новых отраслей промышленности расширяет номенклатуру пылей со специфическими свойствами, трудно улавливаемых в электрофильтрах. Резко ужесточаются требования к чистоте газов после электрофильтров. Это определяется повышением требований к охране окружающей среды. В результате ставится задача разработки научных основ конструирования электрофильтров нового поколения, обладающих более высокими показателями как в отношении степени очистки газов, так и возможности увеличения объемов очищаемых газов. Учитывая длительный срок развития электрофильтров и то, что технические возможности электрического метода газоочистки в значительной степени реализованы, новая задача представляется достаточно сложной. Данная работа посвящена решению этой задачи.

Разработка нового оборудования всегда является обобщением опыта работы, накопленного в предшествующий период. Поэтому анализ этапов развития электрогазоочистки необходим для лучшего понимания возможностей и перспектив предлагаемых новых решений.

Новые предложения могут появиться на стыке нескольких направлений развития технологий, так как иногда сочетание различных методов и элементов

оборудования может привести к существенному повышению эффективности аппарата в целом. Каждый этап развития газоочистки завершался изданием каталога газоочистного оборудования. Фактически новое поколение электрофильтров является четвертым поколением.

В Приложении 1 даны краткие характеристики электрофильтров, указанных в каталоге треста «Газоочистка», изданном в 1941 г. В каталог вошли электрофильтры для химической промышленности, прежде всего, для очистки генераторного газа от смолы и пыли, для очистки газов, отходящих от различного рода плавильных печей и т.д. Практически не представлены электрофильтры для энергетики. Перечисленные в этом каталоге электрофильтры следует рассматривать как электрофильтры первого поколения.

В послевоенный период электрогазоочистка развивалась очень интенсивно, что нашло отражение в каталоге оборудования, изданном трестом «Газоочистка» в 1958 г. Изменилась не только номенклатура газоочистительных аппаратов, но и производство в целом – появились такие отрасли, как атомная и электронная промышленность, что потребовало создания принципиально нового газоочистительного оборудования. Электрофильтры, представленные в каталоге 1958 г. и в Приложении 2 – электрофильтры второго поколения.

Сформировавшийся в 70-80 гг. научно-технический коллектив и традиции явились основанием для создания электрофильтров третьего поколения. Они представлены в Приложении 3 и извлечены из каталога «Газоочистное оборудование» 1988 г.

В Приложении 4 указаны электрофильтры нового поколения из «Каталога пылеулавливающего оборудования», изданного холдинговой группы «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ» в 2006 г.

В рамках данной работы мы будем пользоваться понятием «экотехника», которая является составной частью экологии.

# ГЛАВА 1 ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОГАЗООЧИСТКИ

## 1.1. Экологический аспект газоочистки

Впервые название «экология» было введено немецким ученым Э.Геккелем в 1866 г., хотя о целях и задачах этой науки, об ее основных направлениях писали ранее Карл Линней, Ж.Б.Ламарк, Д.П.Марш. В России термин «экология» вошел в употребление благодаря работам И.И.Мечникова, А.К.Тимирязева. Учение о доме, о жилище – таково значение этого слова в переводе с греческого.

В 1911 г. русский ученый В.И.Вернадский (1863–1945), создатель научной школы, многие работы которого были посвящены проблемам охраны окружающей среды, употребил термин «биосфера», впервые прозвучавший еще в 1800 г., в современном понимании – как «область существования живого вещества». В 1927 г. французский философ Э.Леруа ввел в обиход термин «ноосфера» – для обозначения оболочки Земли, включающей человеческое общество и плоды его деятельности.

В 1920 г. в США вышел первый номер научного журнала «Экология». Через десять лет «Журнал экологии» начал издаваться в Англии. Еще через год, в 1931 г., первый экологический журнал – «Журнал экологии и биоценологии» – начинает выходить в СССР. В 1953 г. американский эколог Ю.Одум издает книгу «Основы экологии», которая расходуется буквально по всему миру, переводится на русский язык.

Касаясь дискуссии о регуляции роста населения, автор сделал вывод, что две противоположные точки зрения сводятся к следующему: проблемы населения и загрязнения можно решить техническими средствами; для дилеммы населения и загрязнения технического решения не существует; необходимы этические, законодательные, политические и экономические

ограничения.

В 1990 г. в Москве вышел словарь-справочник Н.Ф.Реймерса «Природопользование», во вступлении к которому сказано: «Существует тенденция смешивать природопользование в целом с охраной природы и окружающей человека среды, т.е. с одним из важнейших, но отнюдь не исчерпывающих его предмет разделов» [1-1].

Все эти понятия имеют прямое отношение к проблемам санитарной очистки газов, что еще раз доказывает: пылегазоочистка – это практическая отрасль экологии.

Решение экологической проблемы невозможно без развития соответствующих направлений техники и промышленности. Так возникло новое понятие «экотехника» – прикладная дисциплина, исследующая взаимодействие экосистем и человека, его культуры и техники в процессе развития биосферы. Экотехникой называются также технические меры, средства и устройства для сохранения и восстановления окружающей человека среды. Газоочистка, занимающаяся защитой воздушного бассейна от загрязнений и находящаяся на пересечении экологии атмосферы и промышленной экологии, является одним из направлений экотехники. Экотехника воздушной среды – так можно осовременить термин «газоочистка», собственная история которой насчитывает столетия.

## **1.2. Промышленные отходы и газоочистка**

Ученые подсчитали, что до XVIII в. человечество использовало лишь 12 элементов таблицы Менделеева: углерод, свинец, олово, ртуть, серебро, медь, серу, золото, железо, мышьяк, сурьму, фосфор. В XVIII в. их стало 37 – добавились платина, никель, цинк, водород, азот, марганец, титан. В XIX веке было открыто, изучено, использовалось в хозяйстве, а, следовательно, вовлечено в биогеохимический круговорот, уже 75 элементов. Сейчас известно свыше 100 элементов и более сотни изотопов, количество которых все

увеличивается.

О масштабах потерь и отбросов говорит сам по себе уровень загрязнения окружающей среды. Поэтому в современных условиях любую технологию следует оценивать по степени ее экологической опасности, по количеству образующихся отходов. Количество выбросов – отходящих газов, сточных вод и твердых отходов – наиболее объективный показатель несовершенства используемых технологических систем.

Как известно, наибольшее количество электроэнергии вырабатывается сейчас тепловыми электростанциями, сжигающими различные виды минерального топлива. При этом образуются дымовые газы, в атмосферу поступает огромное количество пыли, сернистого ангидрита, окислов азота и других соединений. Образуются сточные воды, загрязненные различными соединениями, и твердый остаток в виде золы и шлама. Одна тепловая электростанция мощностью 1000 мегаватт, работающая на угле с содержанием серы 2,5 %, выбрасывает в воздушный бассейн около 400 тысяч тонн сернистого ангидрита в год. В результате в целом ряде мест уже сейчас возникла угроза необратимых изменений в природе. Не меньшую угрозу для природы представляют производство серной кислоты, азотная промышленность [1-2].

Четверть века назад были приведены следующие цифры поступлений в атмосферу антропогенных продуктов: пыль –  $2,5 \cdot 10^8$ ; газы токсические и другие –  $6-7 \cdot 10^8$ ; окислы углерода –  $15-25 \cdot 10^9$  тонн. Удвоение этих цифр происходит каждые 7–8 лет, так что не трудно подсчитать, как изменились эти показатели к настоящему времени.

Сжигание углей, нефти, торфа, битумов, асфальта включило в биохимический кругооборот не только дополнительные массы окислов углерода, соединений серы, азота, фосфора, кремния, алюминия, но и такие редкие элементы, как кобальт, молибден, ванадий, бериллий, германий, бор, вольфрам.

Но основными элементами, играющими важнейшую роль в природе,

являются кислород и углерод. В земной коре содержание углерода невелико, однако углерод и его соединения являются основой всех форм жизни. В настоящее время антропогенное поступление двуокиси углерода в биосферу более чем в 150 раз превышает его естественное поступление в процессе дыхания растительных и животных организмов, гниения и других окислительных процессов. Помимо сжигания топлива не меньший вклад вносят металлургия и химическая промышленность.

Тревожно выглядят прогнозы снижения концентрации кислорода и озона в связи с увеличением их расхода при сжигании топлива и на окисление антропогенных соединений азота, серы, углеводов, водорода. Ученые подсчитали, что в настоящее время на все формы сжигания топлива, на металлургическую и химическую промышленность, на дополнительное окисление различных отходов ежегодно расходуется  $10\text{--}20 \cdot 10^9$  тонн кислорода. Его ежегодная фотосинтетическая продукция составляет  $120\text{--}190 \cdot 10^9$  тонн. Таким образом, дополнительный расход кислорода, вызванный хозяйственной деятельностью человека, составляет 15–16 % ежегодно от его биогенного образования.

Глобальной опасностью для человечества является проникновение соединений азота в стратосферу, что ведет за собой разрушение озонового слоя и прорыв ультрафиолетовой радиации в тропосферу и биосферу с губительными последствиями для жизни на Земле. Азотосодержащие соединения, образующиеся при сжигании органического топлива в соединении с естественными источниками, образуют антропогенные аэрозоли. В их составе оксиды железа и свинца, сажа, хлор, бром, фтор, ртуть. Пыль над индустриальными районами содержит до 20 % оксида железа, 15 % силикатов, 5 % сажи, примеси свинца, ванадия, мышьяка, сурьмы и других металлов. Особую опасность для биосферы представляют аэрозоли с содержанием свинца. Оксид азота и серный ангидрид в соединении с парами воды образуют кислоты, которые являются источником образования так называемых кислотных дождей. Окислы азота и серы составляют около трети общего



количества промышленных выбросов.

В XX веке вредные выбросы в атмосферу резко возросли, что связано с громадным увеличением потребления всех металлов и других химических элементов. Наиболее стремительный рост добычи минерального сырья и энергоносителей произошел во второй половине XX столетия, когда началась научно-техническая революция. В период с 1960 г. по 1980 г. из недр планеты было извлечено свыше 40 % всего количества добытого с начала столетия угля, почти 55 % железной руды, свыше 73 % всей нефти, более 77 % природного газа, 64 % калийных солей, 66 % фосфатов и почти 80 % бокситового сырья. На долю Советского Союза за период 1950–1980 гг. приходилось 20–25 % суммарного производства полезных ископаемых.

По оценкам ученых в настоящее время в земную атмосферу ежегодно выбрасывается до 1 миллиарда тонн пыли и других видов загрязнений, что приводит к тяжелым, нередко трагическим последствиям.

В последние годы наиболее эффективное и безопасное использование природных ресурсов связывают с концепцией безотходного производства, которое представляет собой такой метод производства продукции, при котором все сырье и энергия используются наиболее рационально и комплексно, а любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования.

Во многих отраслях промышленности именно газоочистительная аппаратура совместно с другим технологическим оборудованием обеспечивает малоотходное производство. Это касается энергетики, черной и цветной металлургии, химической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Можно указать на целый ряд технологий, когда наряду с предотвращением загрязнения окружающей среды вырабатывается полезный продукт.

Например, использование металлургической пыли, которая является отходом любого металлургического производства, не только предупреждает загрязнение воздуха, но и экономически целесообразно. Зола каменного угля

может быть потенциальным источником для получения соединений алюминия. Наличие в золе кальция, магния, алюминия позволяет использовать ее в производстве бетона, цемента, кирпича и плитки.

Улавливание сажи электрофильтрами и другими газоочистительными аппаратами позволяет не только исключить ее вредное влияние на окружающую среду, но и использовать как сырье при производстве резины и шин, эмалей и красок.

По объему выбрасываемых отходов энергетика занимает лидирующее место – в окружающей среде рассеивается более 60 % исходной энергии топлива в виде подогретой воды и горячих дымовых газов. В энергетике часто используется низкосортное топливо: торф, бурый уголь, горючие сланцы. Их сжигание сопровождается большим количеством отходов, засоряющих окружающую среду сернистыми газами, соединениями азота, окисью углерода.

Газоочистительное оборудование – один из важнейших элементов малоотходных технологий. В перспективе его использование должно приводить к созданию безотходных технологий [1-3].

### **1.3. Становление газоочистки**

В 1806 году в Англии впервые была осуществлена очистка газов от примесей методом химического связывания (при очистке светильного газа от сероводорода). Светильный газ употреблялся не только для освещения, но для отопления и в качестве сырья для газомоторов, которые успешно конкурировали с паровыми машинами. Широкое применение светильного газа дало толчок развитию газоочистки, поскольку в состав светильного газа помимо главных компонентов – водорода и метана – входили тяжелые углеводороды, сероводород, сероуглерод, окись углерода и цианистые соединения.

В России светильный газ для освещения зданий и улиц стал использоваться

позднее, чем в европейских странах: в Петербурге с 1835-го, в Москве – с 1865 г. Тогда же на отечественных газовых заводах стало применяться газоочистительное оборудование, без которого использование светильного газа было просто невозможно и в промышленном, и санитарном отношениях. Таким образом, можно утверждать, что именно широкое использование светильного газа породило целую отрасль науки и техники, занимающейся разработкой газоочистительной аппаратуры.

Становлению газоочистки эффективно содействовало дальнейшее развитие черной металлургии и широкое использование колошниковога газа. Для очистки доменного газа от пыли впервые стали применяться скрубберы, а позднее, с 1911 г., вращающиеся газопромыватели (дезинтеграторы), сконструированные немецким инженером Э.Тейзенем».

Примерно с этого же времени в промышленную практику входит способ газоочистки при помощи матерчатых рукавных фильтров.

Однако одними из первых газоочистительных аппаратов, скорее всего, следует считать пылеосадительные камеры, в которых для осаждения пыли используется сила тяжести твердых частиц. Далее появились простейшие пылеосадители инерционного типа, в частности так называемые пылевые мешки, использующие инерционный эффект и применяемые в газовых потоках с большой концентрацией крупных частиц пыли. Установленные после доменных печей пылевые мешки различных модификаций могут обеспечить степень улавливания до 65–85 %.

Принцип действия циклона – одного из самых распространенных пылеочистительных аппаратов, основан на использовании центробежной силы, возникающей при вращательно-поступательном движении газового потока: центробежная сила отбрасывает частицы пыли к стенкам циклона, и они выпадают в бункер. Долгое время отсутствовала единая теория расчета параметров циклонов, что привело к созданию нескольких типов, пока не остановились всего на двух типах – цилиндрических и конических, которые могут использовать как «левое», так и «правое» вращение газового потока. С

целью снижения габаритов и гидравлического сопротивления были разработаны прямоточные циклоны. Несколько соединенных параллельно обычных и прямоточных циклонов могут быть соединены в единый пылеулавливающий аппарат – батарейный циклон.

Циклоны относятся к аппаратам так называемой сухой инерционной очистки, широкое применение они получили для очистки дымовых технологических газов от установок промышленной теплотехники. К преимуществам этих аппаратов относятся простота конструкции, высокая надежность и возможность извлечения из газов золы и пыли в сухом виде.

К аппаратам сухой инерционной очистки относятся также жалюзийные пыле- и золоуловители. Они состоят из жалюзийной решетки, которая разделяет газовый поток на две части: на 80–90 % освобожденную от пыли, и другую, в которой сосредоточена основная масса пыли. В качестве отсосного пылеуловителя обычно используются циклоны или другие, более эффективные аппараты.

Более сложными в изготовлении являются центробежные пылеуловители ротационного действия, которые состоят из рабочего колеса и кожуха. С помощью рабочего колеса запыленный газ приводится во вращательное движение, под действием центробежных сил частицы пыли отбрасываются к стенкам кожуха и выпадают в осадительную камеру.

Аппараты сухой инерционной очистки газов прошли долгую стадию усовершенствования, пока из них не были выбраны практически все имеющиеся в них резервы.

Действие аппаратов мокрой очистки газов основано на захвате частиц пыли жидкостью, которая уносит их из аппаратов в виде шлама. Часто аппараты мокрой очистки газов используются в качестве предварительной ступени перед аппаратами других типов.

Следующий важный способ газоочистки связан с использованием пористых материалов. Первое промышленное применение матерчатых рукавных фильтров относится к началу XX века. Промышленные фильтры по

виду фильтрующего материала делятся на следующие группы: волокнистые фильтры, кассетные фильтры из стеклянных и синтетических волокон, рукавные фильтры.

Рукавные фильтры – наиболее распространенные среди тканевых фильтров. Состоят из корпуса, внутри которого размещены рукава из шерстяной, хлопчатобумажной, полимерной или стеклянной ткани. Загрязненный газ или воздух проходит через рукава, которые периодически регенерируются от задержанной пыли. Тканевые фильтры классифицируются по размерам фильтровальных рукавов, конфигурации фильтрующих элементов, типу применяемых фильтровальных материалов, способу регенерации ткани: встряхивание, обратная продувка, вибровстряхивание, импульсная продувка и др.

Среди газоочистительных аппаратов особое место занимают электрофильтры – как наиболее эффективные устройства. Это связано с малыми эксплуатационными расходами по сравнению с другими аппаратами, высокой степенью очистки газов, способностью обрабатывать большие объемы газов.

Установка для электрической очистки газов включает в себя электрофильтр и агрегат питания. Подлежащий очистке газ поступает в электрофильтр, на электроды которого подается высокое напряжение, между электродами возникает коронный разряд, вследствие чего происходит заполнение межэлектродного пространства отрицательно заряженными ионами газа, которые под действием электрического поля движутся от коронирующих электродов к осадительным. Заряженные ионами твердые или жидкие частицы газа под действием электрических сил движутся в основном к осадительным электродам, с которых они удаляются в бункер различными способами. Очищенный газ выходит из электрофильтра под действием тягодутьевого устройства. Осадительные электроды подразделяются на трубчатые, коробчатые, прутковые, карманные, желобчатые, С-образные, тюльпанообразные и т.д. По способу удаления пыли электрофильтры делятся

на мокрые и сухие. В сухих электрофильтрах встряхивание электродов производится ударно-молотковым, ударно-импульсным, вибрационным способами и др. В мокрых электрофильтрах осуществляется периодическая или непрерывная промывка электродов. По направлению движения очищаемого газа электрофильтры подразделяются на вертикальные и горизонтальные. Кроме того, электрофильтры бывают однозонными, в которых зарядка и осаждение частиц осуществляется в одной зоне, и двухзонными – в них зарядка и осаждение осуществляются в разных зонах: ионизаторе и осадителе [1-4].

История электрофильтров представляется наиболее известной. Еще в 1824 г. немецкий ученый Гельдфельд ставил опыты, доказывающие, что с помощью электричества можно осаждают взвешенные в газах жидкие и твердые частицы. Это открытие неоднократно пытались использовать для очистки дымовых газов, но неудачно. Историю развития электрической очистки газов связывают с именами английского физика О.Лоджа и американского инженера Ф.Котрелла. Именно Котрелл в 1905 г. впервые применил электрофильтр в цементной промышленности. Долгие годы во многих странах электрофильтры называли котрелями, в том числе и в Советском Союзе.

В истории разработки первых электрофильтров представляет интерес попытка их применения на немецких военных кораблях во время первой мировой войны [1-5].

Начиная с появления первых образцов вплоть до настоящего времени электрофильтры прошли длительный путь развития. В этом определяющую роль сыграли научно-исследовательские, проектные и производственные организации, созданные в Советском Союзе.

#### **1.4. Образование отечественной газоочистительной отрасли**

Трест «Газоочистка» был создан в начале 30-х годов прошлого века на

базе конторы по электрофильтрам. Именно в результате деятельности этой конторы в 1925 г. заработал первый электрофильтр на заводе «Красный выборжец» в Ленинграде, в 1926 г. – на заводе «Победа рабочих» в Ярославле [1-6]. В каталоге 1941 г. «Газоочистительное оборудование треста Газоочистка» сообщается, что всего к 1930 г. в нашей стране работало 6 газоочистительных установок, причем на 5 из них было установлено импортное оборудование. Одной из первых советских книг по электрофильтрам является книга Б.Шнеерсона и Н.Егорова «Электрофильтры для очистки газов», изданная в 1933 г.

В 1932 г. в структуре треста «Газоочистка» была создана Центральная научно-исследовательская лаборатория НИЛОГАЗ. На первом этапе перед трестом «Газоочистка» была поставлена задача создания типовой отечественной системы газоочистки для доменного производства. В 1931–1935 гг. были введены в эксплуатацию системы мокрой электрогазоочистки на Ново-Тагильском, Криворожском и Тульском заводах.

В начале своей деятельности усилия ЦНИЛ НИЛОГАЗ были направлены на исследование процессов в аппаратах с целью определения оптимальных режимов их работы, в последующем лаборатория приступила к разработке и испытанию новых видов оборудования.

В 30-е гг. в лаборатории работали инженеры Валерий Иванович Попков и Сергей Платонович Жебровский, которые впоследствии стали знаменитыми учеными в области электрогазоочистки.

В.И. Попков еще в 1934 г. исследовал электрические характеристики различных коронирующих электродов (провод, лента, шестигранник) с плоскими и цилиндрическими осадительными электродами. Результаты НИР изложены в отчете «Влияние размеров и формы электродов на ток короны» [1-7].

Академик Академии наук СССР В.И.Попков основал в 60-е гг. новое направление в науке и технике «Электронно-ионная технология». Он до конца жизни был председателем Научного совета Госкомитета по науке и техники СССР

по электронно-ионной технологии и внес большой вклад в развитие электрогазоочистки.

Особое внимание уделялось разработке и внедрению электрофильтров. В 1935 г. на ГРЭС, работающей на подмосковном угле, трестом «Газоочистка» были установлены пластинчатые электрофильтры с карманными электродами [1-8].

Спроектированные на основании работ НИЛОГАЗ первые отечественные электрофильтры типа ХК, К и М позволили Советскому Союзу отказаться от закупок дорогостоящих зарубежных аппаратов и направить освободившиеся средства на развитие народного хозяйства страны. Были также созданы новые типы батарейных циклонов упрощенной конструкции, получившие в дальнейшем широкое распространение в промышленности.

Развитие отечественной газоочистительной техники сдерживалось не только отсутствием научно-исследовательского и конструкторского опыта. Опять обратимся к каталогу 1941 г. «Газоочистительное оборудование треста «Газоочистка»:

«По проектам треста «Газоочистка» построены и в настоящее время работают в различных отраслях промышленности 167 газоочистительных установок с 548 электрофильтрами, изготовленными на отечественных заводах... Механическая часть электрофильтров изготавливается на заводе им. Никольского (в г. Новочеркасске), электроагрегаты изготавливаются на заводе рентгеновской аппаратуры в Москве, изоляторы изготавливаются на заводе «Пролетарий» в Ленинграде и на заводе «Изолятор» в Москве, кварцевые трубы – на заводе им. Ломоносова в Ленинграде, молотки, трамбовки и вибраторы для встряхивания осадительных и коронирующих электродов – на заводе «Пневматика» в Ленинграде, осадительные электроды (углеграфитовые) для электрофильтров типа К – на электродном заводе в Москве».

Конечно, эта громоздкая структура не могла удовлетворить возрастающие потребности в газоочистительной аппаратуре. Назрела необходимость создать специализированное предприятие, но этим планам помешала Великая



Отечественная война. Однако работа по совершенствованию газоочистительной аппаратуры продолжалась.

За время войны производительность барабанных концентраторов была увеличена в 3–4 раза. Применявшиеся в электрофильтрах материалы (свинец, уголь, кислотоупорный цемент и др.) в новых условиях эксплуатации отказывались работать. При такой повышенной производительности не справлялись электрофильтры и с очисткой газов, что приводило не только к потерям очень нужной продукции, но и создавало крайне трудные санитарные условия на территории заводов и за их пределами из-за выброса большого количества сернистого газа в атмосферу и, кроме того, демаскировало заводы, что в то время имело немаловажное значение. Пришлось в условиях непрерывной эксплуатации находить новые конструктивные решения, модернизировать эти электрофильтры и разрабатывать новый технологический режим их эксплуатации. Были созданы новые, модернизированные электрофильтры типа КТ, с новой системой коронирующих и осадительных электродов из ферросилидового литья, стойкого в данных технологических условиях, с новыми высоковольтными вводами, повышенным электрическим режимом питания электрофильтров» [1-3].

К этому периоду относится разработка и внедрение вертикальных электрофильтров для улавливания сажи на Кудиновском сажевом заводе. Позднее для производства ламповой сажи был разработан более совершенный горизонтальный трехпольный автоматизированный электрофильтр СГ-14.

Именно потребность государства в сажевом производстве имела непосредственное отношение к принятому в 1944 г. решению о создании в п. Семибратово специализированного завода по выпуску газоочистительной аппаратуры. К выпуску продукции завод приступил осенью 1948 г., но официальным днем рождения завода считается 23 мая 1950 г., когда вышел приказ о включении Семибратовского завода газоочистительной аппаратуры в число действующих предприятий треста «Газоочистка» [1-3].

В 1949 г. на базе Центральной научно-исследовательской лаборатории

НИЛОГАЗ был создан Государственный научно-исследовательский институт по промышленной и санитарной очистке газов – НИИОГАЗ. К этому времени лаборатория НИЛОГАЗ, внесшая в довоенные и военные годы немалый вклад в развитие отечественной газоочистки, располагала небольшой производственной площадью и насчитывала всего 54 человека, из них только 15 человек являлись научными сотрудниками.

В первые годы заведующим лабораторией НИИОГАЭ «Электрическая очистка газов» был С.П.Жебровский, который впоследствии стал доктором технических наук, опубликовал монографию «Электрофильтры» [1-9]. В лаборатории была развита теория коронного разряда, которая ранее была изложена Н.А.Капцовым в монографии «Коронный разряд и его применение в электрофильтрах» [1 - 10], а также рассмотрены физические процессы в электрофильтре: зарядка, движение и осаждение частиц, обратная корона, электрические пробои, влияние тока, скорости и температуры газа на степень очистки газов в электрофильтре и др.

Назрела необходимость создать специализированный институт, перед которым были поставлены следующие задачи: теоретическая разработка и внедрение в промышленность новых методов и наиболее рациональных технологических схем очистки промышленных газов от пылей и туманов; разработка методов контроля работы газоочистной аппаратуры; экспериментальная проверка новых технологических схем и конструкций аппаратов, а также решение вопросов, связанных с реконструкцией существующих газоочистных аппаратов; оказание научно-технической помощи промышленным предприятиям по вопросам газоочистки. И такой институт – Научно–исследовательский институт по промышленной и санитарной очистке газов (НИИОГАЗ) в 1949 г. был создан.

Параллельно шло развитие Семибратовского завода газоочистительной аппаратуры. В 1956 г. завод был ориентирован на создание головных образцов и опытно-промышленных установок в области газоочистки. Организуется экспериментальная и конструкторско-технологическая база. Получено право на

решение технических вопросов, связанных с производством механического оборудования электрофильтров, в связи с чем 1 июля 1957 г. заводу присвоено название «Экспериментальный Семибратовский завод газоочистительной аппаратуры». Создаются отделы главного конструктора, главного технолога, бюро внешнего шефмонтажа. Началось совершенствование производства и широкое движение за создание электрофильтров, не уступающих по своим техническим характеристикам лучшим образцам известных фирм ФРГ, Швеции, Англии, США. Появилась научно-исследовательская лаборатория, на основе которой в 1962 г. был создан Семибратовский филиал НИИОГАЗ.

Созданный в 1957 г. Дзержинский филиал НИИОГАЗ занимался разработкой методов очистки газовых выбросов при производстве хлорвинила, полихлорвинила, пластмасс на основе фенолформальдегидных смол, акрилатов, хлорсодержащих продуктов органического синтеза. Филиал проводил работы по обезвреживанию отходящих газов на предприятиях химической, нефтехимической, нефтяной, микробиологической, витаминной, электротехнической, машиностроительной, цветной металлургии и других отраслей промышленности, занимался проблемами очистки газов от ртути и ртутьорганических веществ.

На Семибратовский филиал НИИОГАЗ были возложены следующие задачи: теоретическая разработка, создание и внедрение в промышленность новых механических и электрических аппаратов и рациональных схем очистки промышленных выбросов в атмосферу от пыли, золы, сажи и других твердых примесей; проведение исследований по физико-химическим свойствам аэрозолей; конструктивная разработка и экспериментальная проверка в лабораторных и промышленных условиях новых и модернизированных узлов аппаратов электрической и механической очистки газов; оказание научно-технической помощи предприятиям страны в решении производственно-технических вопросов газоочистки.

В 1965 г. создается Запорожский филиал НИИОГАЗ, четко определены направления его деятельности: выполнение научно-исследовательских и

опытных работ по разработке методов и аппаратуры для пылеулавливания и газоочистки промышленных выбросов предприятий различных отраслей промышленности. Филиалу определялась роль ведущей научно-исследовательской организации по проблемам очистки промышленных выбросов коксохимического производства, предприятий алюминиевой промышленности, фосфорного и абразивного производства, а также в решении проблем очистки дымовых газов от сернистого ангидрида, очистки высокотемпературных технологических газов, исследований физико-химических свойств аэрозолей.

В 1971 г. НИИОГАЗ, до этого размещавшийся в трех районах Москвы, получил в свое распоряжение новый лабораторный корпус, в котором были созданы все условия для проведения научно-исследовательских работ. В НИИОГАЗ были выполнены исследования аппаратов сухой очистки, что привело к разработке нескольких серий высокоэффективных циклонов НИИОГАЗ типа ЦН.

Во второй половине 60-х годов совместно с рядом других научно-исследовательских институтов НИИОГАЗ принял участие в создании фильтрующих материалов из лавсана, полипропилена, поливинилхлорида. Наиболее эффективными оказались высокообъемные иглопробивные материалы из полипропиленовых и лавсановых волокон. На основе этих материалов были созданы комбинированные электрофильтрационные материалы (поляризационные фильтры, фильтры с предварительной коагуляцией), предназначенные для улавливания сухих пылей с низкой входной концентрацией.

В это же время НИИОГАЗ совместно с «Гипрогазоочисткой» и другими организациями вел работы по созданию схем пылеочистки применительно к конкретным отраслям промышленности:

*Производство серной кислоты.* По проектам треста «Газоочистка» на серно-кислотных заводах сначала устанавливались вертикальные электрофильтры с кирпичным корпусом типа ХК-30, затем ХК-45 – более

совершенные электрофильтры для цехов, оборудованных печами пылевидного обжига концентрата. Позднее для этой же цели были созданы автоматизированные огарковые электрофильтры в металлическом корпусе ОГ-4-8 и ОГ-4-16, которые работали совместно с циклонами НИИОГАЗа типа СК-ЦН. Для очистки газов от тумана серной кислоты, окислов мышьяка и селена в контактных производствах серной кислоты были разработаны мокрые свинцовые электрофильтры типа М и ШМК.

*Сажевое производство.* Для производства ламповой сажи был разработан горизонтальный трехпольный автоматизированный электрофильтр типа СГ-14; в качестве второй ступени использовались специально разработанные НИИОГАЗом циклоны типа СК-ЦН и СДК-ЦН. Для производства полуактивных и активных саж была создана многоступенчатая система сажеулавливания, состоящая из скруббера-охладителя, четырех ступеней циклонов, рукавного фильтра с рукавами из стеклоткани и узла дожигания остатков сажи.

*Доменное производство.* Внедрена одноступенчатая электрическая газоочистка, оказавшаяся наиболее надежной и эффективной, которая состояла из скруббера и вертикального трубчатого электрофильтра, скомпонованного в одном корпусе.

*Мартеновское производство стали.* Для очистки мартеновских газов, содержащих тонкую пыль возгонного происхождения, был разработан сухой трехпольный горизонтальный электрофильтр, устанавливаемый после котла-утилизатора.

*Производство ферросплавов.* НИИОГАЗ разработал систему газоочистки, состоящую из наклонного орошаемого газохода, полого скруббера (или низконапорного скруббера Вентури) и высоконапорного скруббера Вентури.

*Производство огнеупоров.* Была разработана система пылеулавливания, состоящая из групповых циклонов и горизонтальных электрофильтров, для обеспечения стабильности работы которых применялось кондиционирование очищаемых газов паром.

*Цементная промышленность.* Внедрение более эффективных пылеулавливающих аппаратов взамен применявшихся ранее в цементной промышленности пылесадительных камер началось с узлов помола и сушки. При размоле и сушке угля хорошо зарекомендовали себя сухие вертикальные электрофильтры типа У; для размолы клинкера – электрофильтры типа Ц и рукавные фильтры. С созданием электрофильтров типа ПГДС (УГ) была решена проблема надежной очистки печных газов.

*Производство электроэнергии.* В связи с сооружением крупных электростанций и применением пылевидного сжигания низкосортных углей встал вопрос о создании специальных электрофильтров для энергетики. Сначала были разработаны электрофильтры типа ДВ с сотовыми трубчатыми осадительными электродами и пневматическим встряхиванием электродов, но они оказались ненадежными. Тогда трест «Газоочистка» перешел на пластинчатую конструкцию электрофильтров с карманными, затем желобчатыми (электрофильтры типа ДВП и ДГП) и с С-образными осадительными электродами (электрофильтры типа ПГДС и УГ). Высота осадительных электродов составляла сначала 4,9 м, затем возросла в электрофильтрах для мощных энергоблоков до 12 м.

Практически не было ни одной отрасли промышленности, где не использовалась бы газоочистительная аппаратура, сконструированная и изготовленная в организациях и на предприятиях треста «Газоочистка».

В 60-е годы особенностью производственной деятельности Семибратовского завода газоочистительной аппаратуры стал большой объем работ по изготовлению опытных промышленных установок. Развитие новых отраслей промышленности потребовало более совершенного газоочистительного оборудования, без которого невозможно было сдавать в эксплуатацию тепловые электростанции, пускать новые высокопроизводительные шаровые мельницы на цементных заводах страны. В 1961 г. впервые в СССР на заводе началось освоение желобчатых осадительных электродов, которые обеспечивали работу электрофильтра на повышенных скоростях газового потока, сокращали размеры

аппарата и затраты на его сооружение.

Вновь введенные мощности давали возможность увеличить выпуск газопылеулавливающего оборудования. Перед Семибратовским заводом газоочистительной аппаратуры была поставлена задача по увеличению к 1965 г. выпуска механического оборудования до 15 тысяч тонн в год. Коллектив завода успешно справился с этой задачей, в результате чего объем производства увеличился в 2,5 раза.

Развернувшееся строительство крупноблочных тепловых электростанций с мощностью блоков в 300, 500 и 800 мегаватт поставило перед заводом и институтами задачу в короткие сроки разработать и изготовить соответствующие электрофильтры, обеспечивающие выброс предельно допустимых концентраций золы и газов в окружающую атмосферу. Такие электрофильтры, с 12-метровыми осадительными электродами, позднее были созданы и поставлены на важнейшие народнохозяйственные объекты – Троицкую и Ладыжинскую ГРЭС, где дали положительные результаты.

Была осуществлена реконструкция завода с увеличением его мощности в 1970 г. до 40 тысяч тонн механического оборудования в год, т.е. в 7 раз против мощности 1960 г. В 70-х годах заводом был освоен выпуск фильтров типа ВФ для производства желтого фосфора, до этого подобные фильтры выпускались промышленностью ФРГ. Созданы фильтры типа БВК для улавливания хвостовых газов в сернокислотном производстве, а для аспирации воздуха на промышленных предприятиях – фильтры ФВГ-Т с корпусом из титана, с фильтрующим элементом кассетного типа из пропиленового иглопробивного войлока.

В 1971 г. Семибратовский филиал НИИОГАЗ провел испытания нового типа горизонтального электрофильтра серии УГ на Трипольской ГРЭС, способного обеспечить санитарные нормы выбросов пыли в атмосферу при высокой степени надежности работы. По материалам испытаний Государственная комиссия рекомендовала фильтр УГ в серийное производство, что было достойным завершением большой работы, проделанной коллективами

филиала НИИОГАЗ и Семибратовского завода газоочистительной аппаратуры.

В октябре 1973 г. было создано Семибратовское специальное конструкторско-технологическое бюро (СКТБ), перед которым была поставлена задача создания нового и усовершенствование действующего газоочистного и пылеулавливающего оборудования для всех отраслей народного хозяйства по своей специализации.

28 марта 1986 г. Экспериментальный Семибратовский завод газоочистительной аппаратуры был реорганизован в Семибратовское производственное объединение газоочистного и пылеулавливающего оборудования (ПО «Газоочистка»). В состав ПО «Газоочистка» помимо завода, как головного предприятия, на правах юридического лица вошел Семибратовский филиал НИИОГАЗ.

К 1992 г. ПО «Газоочистка» являлось ведущим производителем газоочистного оборудования в России. Номенклатура – свыше 100 видов фильтров, более 220 заказчиков продукции, география поставок – практически все страны СНГ, потребляющие отрасли – черная и цветная металлургия, энергетика, нефтехимическая отрасль и производство технического углерода, предприятия машиностроения, стройматериалов и лесопромышленного комплекса, производство минеральных удобрений, включающее в себя, в том числе, все заводы по производству желтого фосфора. К этому этапу работы относятся электрофильтры третьего поколения.

ПО «Газоочистка» прекратило свое существование в декабре 1992 г., вместо него появились две самостоятельные организации – акционерное общество открытого типа «ФИНГО» и Семибратовская фирма НИИОГАЗ, позднее преобразованные в ОАО «ФИНГО» и ОАО «СФ НИИОГАЗ». В истории отечественной газоочистки наступил новый этап, обусловленный рыночными экономическими условиями.

В 1993 г. было зарегистрировано созданное в пос. Семибратово Ярославской области ТОО «Кондор-Эко», учредителями которого выступили бывшие сотрудники Семибратовского филиала НИИОГАЗ. Организация фирмы



«Кондор-Эко» стала закономерным этапом в развитии структуры организаций, занимающихся экотехникой. Начавшиеся в стране экономические преобразования вызвали необходимость создания новых форм хозяйствования, привели к поиску новых деловых связей с заказчиками на основе рыночных отношений.

На определенном этапе АО «Кондор-Эко» стало основным акционером ОАО «СФ НИИОГАЗ». С этого времени АО «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. Выигрываются тендеры на реализацию крупных проектов газоочистных установок в ведущих отраслях промышленности. АО «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.

Для реализации новой технической политики в 2003 г. по инициативе АО «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 – СФ НИИОГАЗ», 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 «Проектгазоочистка» имеет

опыт нескольких десятилетий в проектировании установок газоочистки и осуществляет привязку новых аппаратов в пунктах установки газоочистки; АО «Кондор-Эко» на основе новых экотехнических аппаратов разрабатывает экотехнические установки и системы и дает технические задания на проектирование ЗАО «Проектгазоочистке» и другим проектным институтам. С такими ведущими отраслевыми институтами, как Гипрогазоочистка, Уралгипромез, 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». В результате 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. Перед всеми, кто сегодня занимается в России 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, – электрофильтров четвертого поколения [1-11].

### **1.5. Безотлагательная необходимость усиления природоохранной деятельности и создания электрофильтров нового поколения**

Начиная с 70-х годов, в Советском Союзе практически ежегодно принимались постановления об усилении мер по охране природы, однако экологическая ситуация в стране не изменилась к лучшему, поскольку все эти постановления и законы носили декларативный характер и не учитывали

действовавшего хозяйственного механизма, при котором сохранение окружающей среды шло вразрез с экономическими интересами промышленных предприятий.

По-прежнему затраты на природоохранные мероприятия рассматриваются как некий вычет из национального дохода, а рост затрат на их проведение – как фактор, снижающий экономическую эффективность производства. Результаты такого отношения сказываются не только в пореформенной России, но и в высокоразвитой и благополучной Западной Европе, которая из-за кислотных дождей все больше превращается в «лысеющий» континент. Треть лесов Швейцарии и две трети лесов ФРГ уже погибли, кислотными дождями отравлено 18 тысяч водоемов в Швеции, в четверти из них исчезла рыба, в половине водоемов она находится в стадии вымирания [1-12, 1-13].

Постоянно повышаются правовые требования к охране природы. В Декларации конференции ООН по окружающей среде и развитию, принятой в июне 1992 г., в частности говорится: «Для достижения устойчивого развития защита окружающей среды должна составлять неотъемлемую часть процесса развития и не может рассматриваться в отрыве от него... В принципе, тот, кто загрязняет окружающую среду, должен нести и финансовую ответственность за это загрязнение» [1-14].

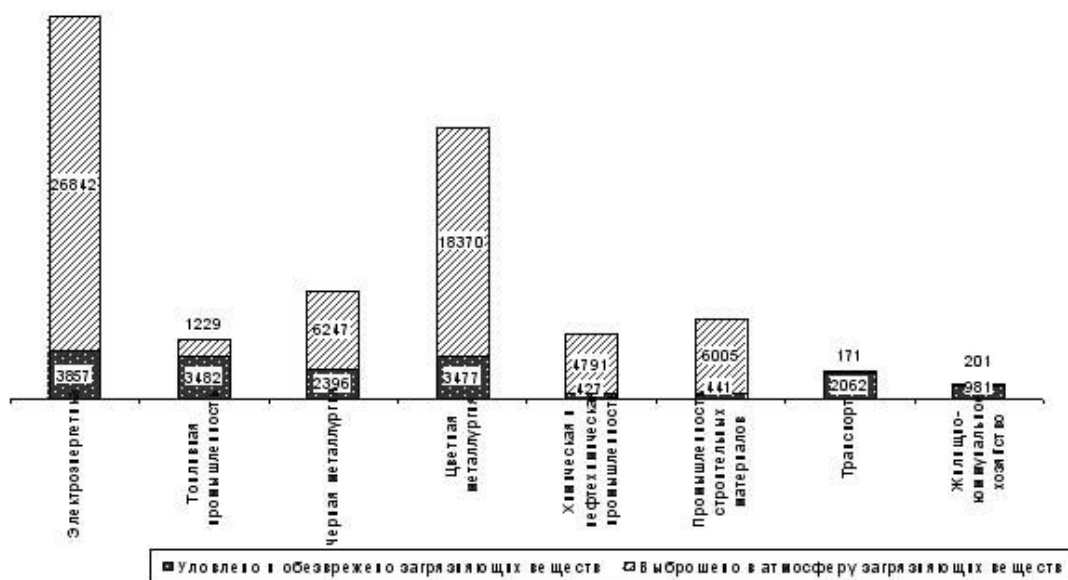
Под этим документом подписались представители практически всех государств мира, однако проблема финансовой ответственности за сохранение окружающей среды по-прежнему не решена. Это убедительно показала прошедшая в Гааге в конце 2000 г. конференция ООН, посвященная глобальному потеплению климата, вызванному загрязнением атмосферы промышленными отходами. Высокоразвитые индустриальные государства не захотели делиться своими сверхприбылями со слаборазвитыми странами, в результате итоговый документ так и не был принят, конференция закончилась полным провалом.

А между тем ежедневно в атмосферу Земли поступает такое количество

отходов, которое в конечном итоге неминуемо приведет человечество к глобальной экологической катастрофе. Особенно интенсивно воздушный бассейн загрязняют тепловые электростанции, промышленность строительных материалов, черная и цветная металлургия, химическая и нефтеперерабатывающая промышленность (рис. 1.1). Со временем меняются лидеры и соотношения цифр, отражающих вклад каждой отрасли, но не изменяется общая тенденция роста загрязнения атмосферы промышленными выбросами [1-15].

22 сентября 2005 г. в Комитете Совета Федерации по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии прошло совещание на тему «Вопросы обеспечения экологической безопасности и охраны атмосферного воздуха в промышленности в свете обязательств, принятых Российской Федерацией по реализации Киотского протокола». В 1997 г. представители 38 промышленно развитых стран подписали в Киото (Япония) документ об ограничении выбросов в атмосферу вредных веществ. Документ был призван снизить уровень глобального потепления, а в качестве основной меры предлагалось введение квот для каждого государства на выброс в атмосферу парниковых газов. Государство, которое не реализовало свою квоту, может продать излишек другому государству.

После долгих колебаний Россия подписала Киотский протокол, что, однако, не сделали США, промышленные выбросы которых составляют около 40 % из общего объема. У нас возобладало мнение, что если Россия сумеет создать действенные механизмы осуществления Киотского протокола, он станет еще одним источником привлечения дополнительных инвестиций для модернизации энергетики, ЖКХ, для перевода котельных с угля на газ и т.д. Поэтому понятно то внимание, которое уделяется Киотскому протоколу Правительством и Федеральным Собранием Российской Федерации. Вместе с тем протокол, подписанный в Японии, напрямую касается проблем развития газоочистительной отрасли.



**Рис. 1.1.** Источники загрязнения окружающей среды

На совещании были приведены такие цифры. При оценке риска от воздействия взвешенных частиц на здоровье населения, проживающего в зонах с наибольшими уровнями загрязнения атмосферного воздуха, выявлено, что общая смертность при этом возрастает на 200–600 дополнительных случаев на 1 млн. жителей. За 5-летний период (2000–2004 гг.) выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников выросли с 18,8 до 20,5 млн. т., в то время как улавливание и обезвреживание загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников, уменьшилось с 66 до 56 млн. тонн. В 2004 году первое место в промышленности по выбросам загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников, заняла топливная промышленность – 6,2 из 16,7 млн. т. На втором месте – предприятия цветной и черной металлургии – 5,5 млн. т. На третьем месте – электроэнергетика – 3,3 млн. тонн. Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану атмосферного воздуха, выросли за 2000–2004 гг. с 7583 до 15331 млн. руб. Выросли и текущие затраты на охрану атмосферного воздуха – с 16752 до 28719 млн. руб. Вместе с тем рост финансовых расходов пока не привел к улучшению экологической обстановки. Возможно, одно из объяснений этому – недостаточное внимание разработке нового, совершенного газоочистного оборудования.

На этом же совещании было предложено в том случае, если в соответствии с

Киотским соглашением Россия будет продавать нереализованные объемы промышленных выбросов, то эти средства направлять на техническое перевооружение предприятий, загрязняющих окружающую среду. Без внедрения новейшего газоочистного оборудования во многих случаях такое «перевооружение» просто невозможно [1-16].

Учитывая предшествующий опыт развития экотехники в условиях планового хозяйства и существующий опыт развития экотехники в условиях рыночных отношений в России за последние 10–15 лет, не будем делать их сравнений, а рассмотрим наиболее эффективную модель развития экотехники, когда целью является достижение максимальной экологической безопасности.

Для выполнения этого условия необходимо, чтобы бизнес вынужден был включать затраты на мероприятия по экологической безопасности в свои затраты. Конечно, это косвенно увеличит нагрузку на общество, так как отразится на ценах. Но если бесплатных пирожных не бывает, задача государства сделать эти затраты минимальными. Для этого государство должно определить стоимость и нормы очистки единицы выбросов (в кубических метрах, тоннах и т.п.). Если эта стоимость очистки выбросов определена законодательно, то появится рынок, на который всегда придут предприимчивые и энергичные люди и предложат предприятиям услугу отдать им грязные выбросы на очистку. Предприятия заинтересованы в выпуске продукции и снижении ее себестоимости, на это направляют свои ресурсы и развивают производство, стараясь освободиться от непрофильных производств и, тем самым, повысить производительность, снизить себестоимость продукции. При этом им выгоднее передать свои выбросы на очистку другим предприятиям, специализирующимся на очистке выбросов, и не платить самим громадные штрафы. Таким образом, появляется специфическая экотехническая отрасль предприятий, занимающихся очисткой выбросов и утилизацией отходов, задача которой – экологическая безопасность населения России.

Для этого государство разрабатывает и принимает законодательство о штрафах за превышение норм выбросов, и эти затраты предприятия платят из

прибыли, о стоимости очистки или ликвидации единицы выбросов, которые создают предприятия, эти затраты включаются в себестоимость продукции. Предприятия экотехнической промышленности могут предлагать предприятиям, загрязняющим окружающую среду, услугу по очистке выбросов или ликвидации загрязнений по цене, не выше установленных норм, определенных государством.

Экологическая безопасность общества будет гарантирована тем, что за очистку выбросов возьмутся высококвалифицированные специалисты экотехнических организаций. Будут применяться самые современные высокоэффективные технологии. Себестоимость очистки единицы выбросов будет снижаться. Контроль за работой установок и их эксплуатация будут в несколько раз эффективнее [1-17].

Разрабатываются также другие модели развития. Одна из них – так называемая модель «приемлемого экономического роста», который не потребует в будущем дополнительных затрат на покрытие издержек, связанных с предшествующим ростом. Согласно этой модели государство должно принимать соответствующее природоохранное и налоговое законодательство, ускоренно внедрять ресурсосберегающие технологии, в результате чего меняется структура национальной экономики в целом. Государства, принявшие эту модель, уже сейчас получают двойные дивиденды: во-первых, они являются монополистами на стремительно развивающемся рынке экологически чистых технологий и технологии переработки отходов; во-вторых, решают проблему сохранения окружающей среды. В целом в этих государствах резко возрастает конкурентоспособность национального производства, т.е. экология постепенно становится прибыльной. Если Россия и в дальнейшем будет игнорировать проблему охраны окружающей среды, то она окажется на мировом рынке не продавцом, а покупателем, что грозит ей не только экологической, но и экономической катастрофой [1-18]. В этой ситуации дальнейшее совершенствование и повсеместное внедрение экотехнического оборудования становится все более важной, все более насущной задачей научно-

производственного комплекса России.

Нужно иметь в виду в перспективе введение ограничения по концентрации мелких частиц размером менее 10 мкм. Средняя степень золоулавливания на ТЭС РАО «ЕЭС России» составляет около 95 %.

Расширение номенклатуры пылей, очищаемых в электрофильтрах, уже обсуждалось в данной главе. Это определяется увеличением числа отраслей, в которых используются электрофильтры, значительным расширением списка новых веществ и материалов, используемых в народном хозяйстве.

Материалы данной главы свидетельствуют также о бурном росте объемов выбросов, нуждающихся в очистке, что определяется научно-технической революцией XX века и интенсивным развитием энергетики и других отраслей промышленности. Указанные обстоятельства приводят к выводу, что современные электрофильтры уже не удовлетворяют новым требованиям. Ставится задача разработки электрофильтров нового поколения, обладающих более высокими технико-экономическими показателями [1-19].

В связи с тем, что было сказано выше, роль электроочистки еще более возрастает. Это определяется следующими обстоятельствами:

1. Ужесточением требований к чистоте газов после очистки в электрофильтрах;
2. Расширением номенклатуры пылей, очищаемых в электрофильтрах, в том числе пылей со специфическими свойствами;
3. Ростом объемов выбросов, которые нуждаются в очистке.

Требования к чистоте очистки определяются Российским и Европейским экологическими стандартами. В соответствии с этими требованиями в России остаточная запыленность газовых выбросов должна быть не более 50 мг/м<sup>3</sup>. Планируется дальнейший переход к норме 30 мг/м<sup>3</sup>. В Европе в настоящее время очистка дымовых газов от твердых частиц должна быть до 30 мг/м<sup>3</sup>. Это требует увеличения эффективности очистки до 99,8–99,9 %. Также обоснована необходимость создания электрофильтров нового поколения, обладающих более высокими технико-экономическими показателями.



## 1.6. Выводы

1. Определена важная роль газоочистки в решении экологических проблем. Введено понятие экотехники, представляющей собой технические меры, средства и устройства для сохранения и восстановления окружающей человека среды.

2. Рассмотрены этапы развития газоочистки, начиная от первых упоминаний о проблемах взаимодействия человека с окружающей средой до характеристики развития современной системы газоочистки, включающей научную и производственную базу.

3. Показана важная роль электрофильтров как составной части оборудования газоочистки. Преимущества электрофильтров перед другими газоочистными аппаратами определили их приоритетное развитие, особенно во второй половине XX века. Современные электрофильтры относятся к третьему поколению.

4. Обоснована необходимость создания электрофильтров нового поколения, обладающих более высокими технико-экономическими показателями.

5. Научно-технические кадры, работающие в области электрогазоочистки, обладают необходимым опытом и квалификацией, чтобы создать новое поколение электрофильтров с наивысшими в мире показателями степени очистки и минимальными капитальными и эксплуатационными затратами.

6. Показано, как должны быть изменены отношения между государством, предприятиями, загрязняющими окружающую среду, и организациями, занимающимися очисткой загрязняющих выбросов, чтобы через рынок услуг по очистке выбросов минимизировать нагрузку на общество за обеспечение его экологической безопасности.

7. Показано, что в принципе должно быть изменено отношение к охране окружающей среды: наряду с ужесточением ответственности за загрязнение

окружающей среды должны быть резко расширены производство и применение средств очистки выбросов. Альтернативой этому является экологическая катастрофа.

## **ГЛАВА 2 СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГАЗООЧИСТКИ И ПРОБЛЕМЫ ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**

### **2.1. Введение**

Как показано в главе 1, развитие электрогазоочистительного оборудования в прошедшем столетии происходило в сочетании научных исследований физических процессов улавливания частиц в электрическом поле и обобщения опыта конструирования и эксплуатации созданного промышленного оборудования. Современный этап в развитии электрофильтров относится к такому периоду, когда созданы научные основы и накоплен значительный опыт. Поэтому можно говорить о современных электрофильтрах как о достаточно совершенных аппаратах, которые базируются на апробированных научно-технических принципах. В связи с этим, прежде чем формулировать задачи и проблемы, связанные с созданием электрофильтров нового поколения, обобщим и представим исходные базисные положения, на которых строились современные электрофильтры.

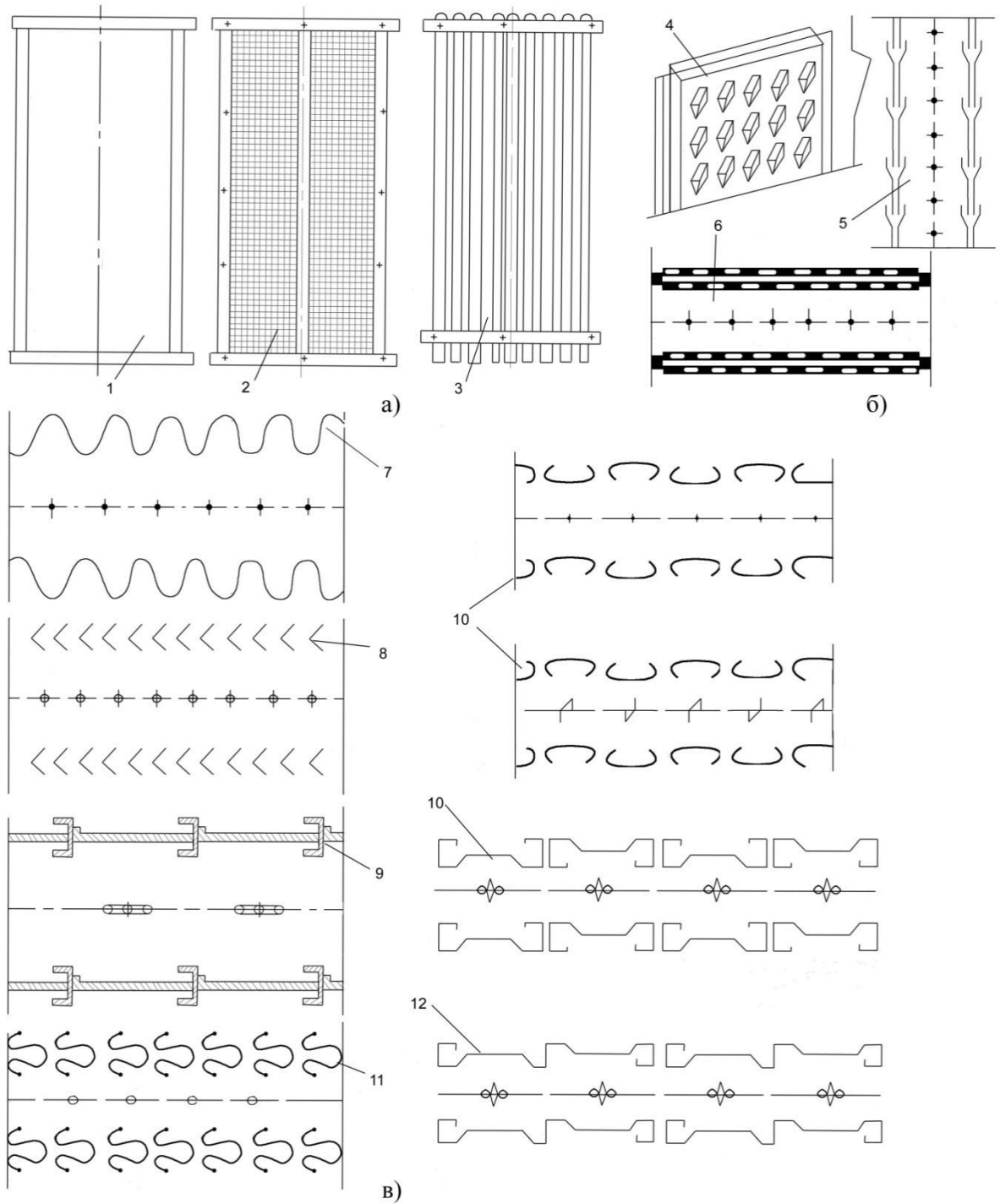
### **2.2. Принципиальные особенности современных электрофильтров**

Прежде всего, отметим очевидный факт, что существующее газоочистное оборудование базируется на общих физических представлениях о процессах в электрофильтрах, которые изложены в основных монографиях [2 – 1,2,3].

Вместе с тем следует выделить характерные принципиальные особенности, которые заложены в конструкцию электрофильтров и определяют эффективность улавливания частиц.

**С-образные осадительные электроды.** Эти электроды (рис. 2.1) технологичны, т.к. прокатываются из стальной ленты, обладают меньшей металлоемкостью по сравнению с другими осадительными электродами. Имеют

гладкую (без острых выступов) внешнюю поверхность, позволяющую отряхивать золу с минимальным вторичным уносом. Важным преимуществом С-образного электрода является равномерное распределение осажденной пыли по его поверхности по сравнению с карманным или желобчатым электродом.



**Рис. 2.1.** Осадительные электроды пластинчатых электрофильтров:  
 а) – пластинчатые гладкие электроды: 1 – гладкие пластины; 2 – сетчатые;

3 – прутковые; б) – коробчатые электроды: 4 – карманные; 5 – перфорированные; 6 – тюльпанообразные; в) – желобчатые электроды: 7 – волнистые; 8 – U-образные; 9 – Э-образные; 10 – С-образные; 11 – вальтер-электроды; 12 – С-образные широкополосные

Уже длительное время применяются широкополосные С-образные электроды (рис. 2.1) шириной до 640 мм, которые хорошо сочетаются с расположением ленточно-игольчатых коронирующих электродов.

**Ленточно-игольчатые коронирующие электроды.** Вопрос о выборе коронирующих электродов является одним из главных при проектировании электрофильтров. От того, насколько правильно выбран коронирующий электрод, непосредственно зависит эффективность работы электрофильтров. Исследованию параметров электрического поля для коронирующих электродов различной геометрии посвящено большое количество работ, результаты которых отражены в монографиях [2 – 1,2,3].

Коронирующие электроды при улавливании пылей второй группы должны удовлетворять следующим требованиям:

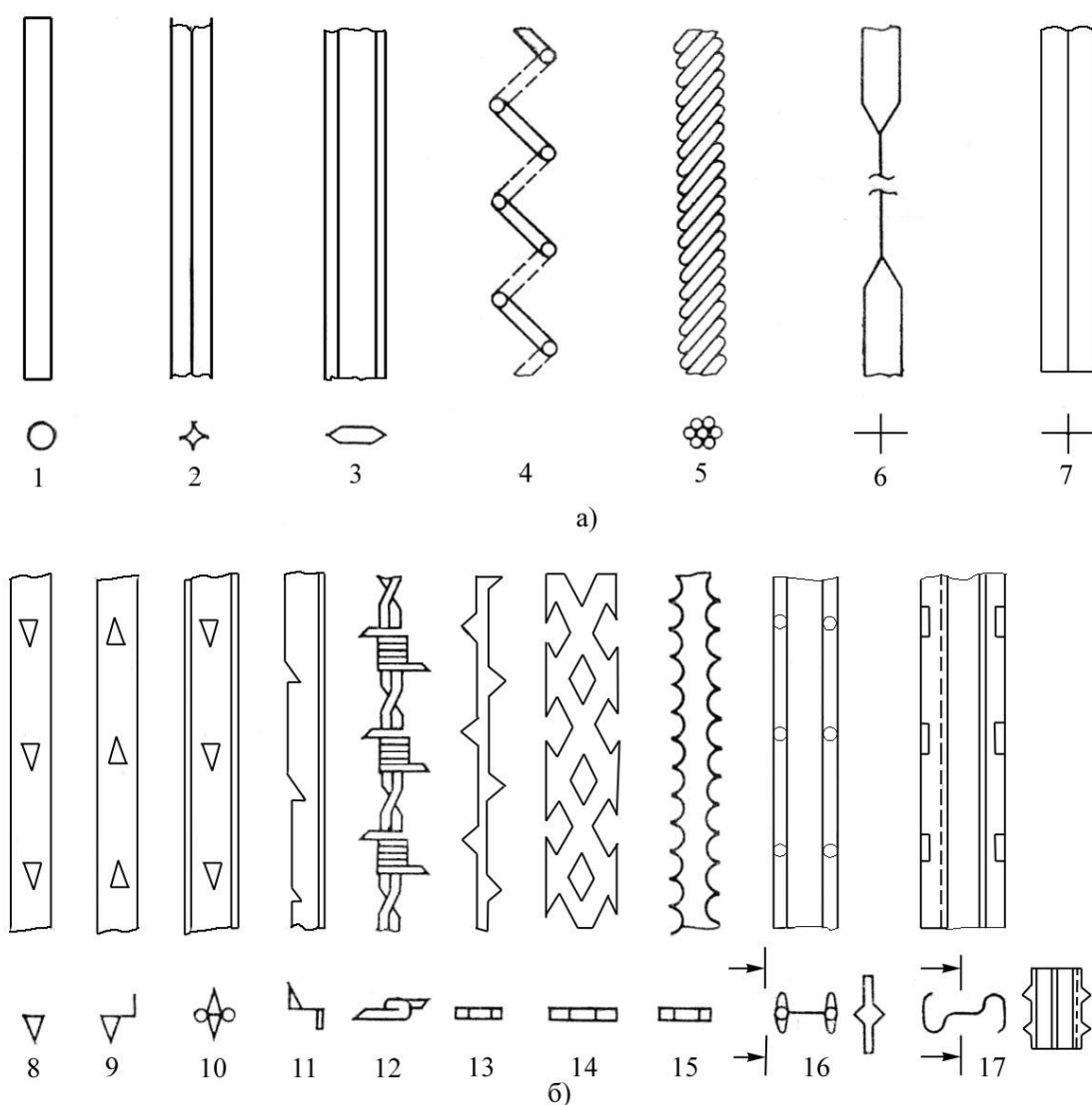
- минимальная величина начального напряжения коронного разряда  $U_0$ ;
- обеспечение равномерного распределения плотности тока по поверхности осадительного электрода;
- наибольшее значение пробивного напряжения  $U_{пр}$ ;
- достаточная механическая прочность и жесткость;
- стабильность характеристик при эксплуатации;
- простота изготовления и низкая стоимость.

Коронирующий электрод в виде ряда тонких проводов диаметром менее 1 мм удовлетворяет требованиям в отношении электрических характеристик, но не имеет необходимой электрической прочности.

В современных электрофильтрах используются так называемые электроды с фиксированными точками коронного разряда. Иглы, как основной

элемент электродной системы, позволяют получить наименьшее начальное напряжение, обеспечить наибольшую плотность тока, исключить нестабильность и временные пульсации в токе. Основываясь на результатах исследования, проведенных Московским НИИОГАЗ, Семибратовским филиалом НИИОГАЗ совместно с институтом «Гипрогазоочистка», разработали игольчатые коронирующие электроды нескольких модификаций (рис. 2.2).

Электроды просты по технологии изготовления, так как иглы формируются в результате штамповки.



**Рис. 2.2.** Коронирующие электроды электрофильтров:

а) – коронирующие электроды без фиксированных разрядных точек: 1 – круглый провод; 2 – штыкового сечения; 3 – ленточный; 4 – спиральный; 5 – канатный;

6 – ленточный с изгибами; 7 – крестообразный;  
 б) – коронирующие электроды с фиксированными разрядными точками:  
 8–11 – игольчатые различного профиля; 12 – колючая проволока; 13 – ленточно-зубчатый;  
 14 – полоса «экспалит»; 15 – пилообразный; 16, 17 – с фиксированными выступами

В таблице 2.1. приведены значения тока на единицу длины коронирующего электрода и средней напряженности в стандартном промежутке электрофильтра при напряжении 50 кВ.

Данные таблицы свидетельствуют о высоких значениях удельного тока и напряженности. Начальное напряжение при промышленном изготовлении находилось в пределах 20-22 кВ.

Примерно равномерное распределение плотности тока по осадительному электроду обеспечивалось при расстоянии между иглами равном  $l_{игл}=40$  мм.

**Таблица 2.1.**

| Тип коронирующего электрода                | $I_k$ , мА/м | Е экв, кВ/см |
|--|--------------|--------------|
| Ленточно-игольчатый                        | 0,345        | 3,16         |
| Ленточно-зубчатый                          | 0,444        | 3,48         |
| Ленточно-зубчатый<br>комбинированный (ЛЗК) | 0,374        | 3,60         |
| Ленточно-зубчатый витой (ЛЗВ)              | 0,384        | 3,61         |

Таким образом, ленточно-игольчатые электроды и их модификации являются основным видом коронирующих электродов в современных электрофильтрах.

**Конструктивные параметры – высота электродов и число полей (длина электрофильтра).** Для того чтобы корпус электрофильтра имел минимальную стоимость, он должен иметь форму куба, однако на практике это форма параллипеда. Дефицит и необходимость экономии производственной площади требуют увеличения высоты электрофильтра, а для уменьшения уноса при встряхивании электроды должны иметь малую высоту.

Большое значение для эффективной работы электрофильтра имеет правильный выбор количества его полей. С увеличением количества полей при

сохранении их суммарной активной длины, определяемой заданной степенью очистки, очистка газов улучшается из-за возможности создания наилучшего электрического режима в каждом поле. Также появляется возможность организации дифференцированного встряхивания по полям. Положительно влияет на улучшение работы электрофильтра уменьшение поверхности осаждения, приходящейся на один агрегат питания, так как уменьшает влияние расцентровки. Однако необходимо учесть соответствующее удорожание установки.

В современных электрофильтрах длина полей изменяется от 2,5 м до 5,2 м в установках 3-го габарита, число полей от 1–2 до 5.

Важным конструктивным параметром, влияющим на степень очистки, является высота электродной системы.

В связи с увеличением единичной производительности электрофильтров при ограниченной производственной площади существует необходимость в увеличении высоты электродной системы. Эта тенденция особенно сильно проявилась при сооружении газоочистных установок мощных энергоблоков, где исключительное применение нашли электрофильтры с электродами высотой 12 м.

Электрофильтры типа ЭГА-3 3-го габарита обладают более низкой удельной металлоемкостью и стоимостью по сравнению с аппаратами, у которых высота электродной системы составляет 7,5 м (типа УГ 2-го габарита) и которые занимают значительно большую площадь. Однако увеличение высоты электродов приводит к увеличению вторичного уноса при встряхивании в связи с увеличением высоты падения пыли. Кроме того, увеличение высоты электродов, как правило, связано с укрупнением полей. Также следует принимать во внимание ухудшение центровки из-за затруднений при монтаже высоких электродных систем.

Для дальнейшего продвижения по пути увеличения высоты электродной системы необходимо проведение исследований, позволяющих уменьшить влияние указанных негативных факторов.



В существующих электрофильтрах для создания равноценных условий для улавливания в аппаратах с электродами 12 м по сравнению с аппаратами 7,5 м необходимо увеличение длины электродов электрофильтров в 1,2–1,4 раза.

**Совершенствование системы встряхивания электродов.** Для эффективной работы электрофильтра пыль с поверхности осадительных и коронирующих электродов должна удаляться. В зависимости от свойств пыли толщина слоя пыли, при котором необходимо включать механизмы встряхивания, может отличаться очень сильно.

В современных электрофильтрах пыль с электродов удаляется путем придания электродам ускорений требуемой величины, при которых происходит разрыв адгезионных связей в слое пыли. В отечественных электрофильтрах применяются молотковые механизмы встряхивания.

Встряхивание электродов при ударно-молотковой системе осуществляется поочередно молотками шарнирно-рычажного типа, укрепленными на валах со смещением по винтовой линии. Валы встряхивания каждого поля приводятся во вращение электродвигателями со скоростью 0,2 – 0,3 об/мин.

Удар молотка передает энергию осадительному электроду, элементы которого начинают колебаться. Установлено, что для эффективного удаления пыли необходимы встряхивающие ускорения примерно равные (100–150)g. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют С-образные широкополосные электроды с ударно-молотковой системой встряхивания. Исследования показывают, что ускорения находятся в пределах (120–200)g и равномерно распределены по высоте электрода. Для эффективного отряхивания С-образные элементы должны иметь надежный контакт с полосой встряхивания. Для обеспечения требуемой периодичности встряхивания применяются специальные приборы на основе реле времени.

Исследования показали, что ударно-молотковая система встряхивания имеет преимущества перед другими известными системами.

Для удаления пыли с коронирующих электродов в основном также применяются механизмы встряхивания молоткового типа. Встряхивание коронирующих электродов производится молотками рычажно-шарнирного типа, расположенными на валу со смещением. Молотковые валы закреплены на вертикальных стойках рам подвеса. По высоте коронирующие электроды электрофильтров УГ встряхиваются в одном уровне, электроды электрофильтров ЭГА при высоте 12 м – в двух уровнях. Молотковые валы вращаются со скоростью 0,2 об/мин.

Для обеспечения минимального уноса пыли при встряхивании важно определить оптимальные режимы работы механизмов встряхивания. Определение величины интервалов встряхивания электродов производится расчетным путем по методике, разработанной в Семибратовском филиале НИИОГАЗ с последующим экспериментальным уточнением.

Следует иметь в виду, что отряхивание тонких слоев приводит к тому, что большая часть пыли уносится потоком газа. Накопление большого количества пыли на осадительных электродах приводит к ее самопроизвольному обрушению, снижению тока короны и также ухудшает эффективность пылеулавливания.

**Увеличение межэлектродного расстояния.** Выполненные за рубежом [2 – 1,3,4] и в России исследования показали возможность увеличения межэлектродного расстояния между коронирующими и осадительными электродами  $h$  (или двойного расстояния  $2h$  между осадительными электродами) без снижения степени очистки. Первоначально это был сугубо практический результат, полученный на реальных промышленных фильтрах. Следует отметить, что он противоречит формуле Дейча-Попкова, которая показывает уменьшение степени очистки с увеличением межэлектродного расстояния.

Однако позже было получено экспериментальное подтверждение в результате исследования электрических характеристик ленточно-игольчатых коронирующих электродов промышленного типа (шаг игл 80 мм, высота игл 12 мм) при различных расстояниях между плоскими осадительными

электродами. Рабочее напряжение во всех исследованных вариантах электродной системы было пропорционально разрядному расстоянию. Средняя напряженность  $E_{cp}=3,33$  кВ/см соответствовала пробивному напряжению промышленных электрофильтров при  $h=15$  см.

Из результатов измерения напряженности электрического поля методом пробного тела следует, что с увеличением межэлектродного расстояния значительно увеличивается напряженность поля у поверхности осадительного электрода. Для условий экспериментов это увеличение составило 10 % при изменении  $2h$  от 275 до 400 мм[2-1].

В 1986 г. на основании результатов научно-исследовательских работ НИИОГАЗ и СФ НИИОГАЗ разработали опытный образец электрофильтра типа ЭГБ (электрофильтр горизонтальный типа Б) с высотой электродов 7 м и с межэлектродным расстоянием 350 мм вместо 300 мм, которое использовалось в серийных электрофильтрах типа ЭГА. Межведомственные сравнительные испытания электрофильтров типа ЭГБ и ЭГА при одинаковых условиях на Прибалтийской ГРЭС показали, что указанное изменение межэлектродного расстояния не привело к снижению очистки газа, и это открыло путь для серийного производства электрофильтров типа ЭГБ и модифицированного варианта типа ЭГБМ [2-1].

Таким образом, в электрофильтрах существующего поколения сделан первый шаг в перспективном направлении – увеличении межэлектродного расстояния. Увеличение межэлектродного расстояния уменьшает металлоемкость, стоимость и повышает надежность работы электрофильтров. Накопление опыта работы электрофильтров с увеличенным межэлектродным расстоянием 350 мм является основанием для дальнейшего движения по этому пути.

**Электропитание и системы регулирования напряжения.** Достигнутые в 80–90 гг. успехи в создании высокоэффективных аппаратов со степенью очистки газа 98–99 % неразрывно связаны с совершенствованием агрегатов питания и интенсификацией режимов их работы. Если в 60 гг. преобладали

агрегаты с ручным и полуавтоматическим управлением, то в 80 гг. нашли применение агрегаты питания с автоматическим регулированием типа АИФ, АУФ и АТФ, снабженные полупроводниковыми выпрямительными устройствами на ток до 2,5 А.

Параметры электропитания и степень эффективности очистки зависят от способа регулирования напряжения. При питании электрофильтров, улавливающих пыль 2-й группы, применяются следующие способы регулирования: 1 – по заданному току и напряжению; 2 – по напряжению пробоя (периодический); 3 – по оптимальному числу искровых пробоев (искровой); 4 – по максимуму среднего напряжения; 5 – по максимуму мощности, потребляемой электрофильтром [2-3].

До выполнения данной работы считалось, что последние два способа относятся к наилучшим, так как они позволяют поддерживать на электродах электрофильтра максимум напряжения или мощности, что, как считалось, для пылей 2-й группы соответствует максимуму эффективности. Основанием для этих способов является то, что при возникновении пробоев в аппарате дальнейший подъем напряжения приводит, с одной стороны – к увеличению максимального значения напряжения, а с другой – к уменьшению среднего значения усредненного напряжения за достаточно большой промежуток времени от его периодического снижения до небольшой величины (или до нуля) во время пробоев. При этом считается, что максимум среднего напряжения соответствует максимуму эффективности. Это утверждение примерно оправдывается на практике, если при пробоях не происходит интенсивный вторичный унос пыли. Однако строго теоретического обоснования метод регулирования по максимуму среднего напряжения не имеет.

Способ регулирования по оптимальному числу искрений считается менее предпочтительным, так как в процессе работы электрофильтра оптимальное число искрений может меняться и заранее оно не известно.

Первые два способа регулирования напряжения, перечисленные выше,

считаются устаревшими, так как они не обеспечивают максимальные значения электрических параметров.

Стремление поддерживать рабочее напряжение на максимальном уровне ведет к тому, что режим искровых пробоев становится нормальным режимом работы. Однако при работе в таком режиме наблюдается ряд явлений, которые отсутствовали ранее. Возможны нестабильная работа агрегатов питания, пережог коронирующих электродов, возникновение дуги, пробой соединяющих кабелей. Все эти вопросы явились предметом исследований в НИИОГАЗ и его Семибратовском филиале и были найдены пути их решения [2-3].

В агрегатах с тиристорным регулированием напряжения уменьшение влияния пробоев и повышение стабильности работы агрегатов питания достигается путем пропуска 1–3 полупериодов тока после возникновения пробоя, что способствует интенсификации процессов деионизации. Более перспективным является частичное снятие напряжения с электродов электрофильтра, что способствует активизации процессов восстановления электрической прочности.

Следующее важное обстоятельство связано с тем, что при улавливании пылей 2-й группы электропитание должно производиться по схеме агрегат – поле. При такой схеме эффективность аппарата будет выше по сравнению со схемой, когда от одного агрегата питается несколько полей. Экономические соображения не могут оправдать выбор последнего варианта, так как экономия затрат составляет незначительную часть от стоимости электрофильтра [2-3].

Изложенные принципы организации питания и регулирования напряжения на электрофильтрах используются в аппаратах, выпускаемых до последнего времени. С начала 80 гг. завод «Энергия» произвел более 16 тысяч агрегатов с тиристорными регуляторами напряжения нескольких поколений. В настоящее время агрегаты комплектуются микропроцессорной системой управления, настройкой которой можно реализовать принцип регулирования по максимуму среднего напряжения.

Изложенные принципы реализованы в современном поколении

электрофильтров. Конечно, эти принципы не были представлены в такой обобщенной форме перед началом производства таких электрофильтров, но уже сейчас, обобщая опыт конструирования, производства и эксплуатации большого числа электрофильтров, относящихся к 80–90 гг. прошлого века, такое обобщение можно сделать.

### 2.3. Конструкции современных электрофильтров

На основании результатов научно-технических исследований и опытно-конструкторских разработок институтом НИИОГАЗ и Семибратовским филиалом НИИОГАЗ с участием института «Гипрогазоочистка» были разработаны и выпускались заводами электрофильтры, представленные в таблице 2.2.

**Таблица 2.2** Технические характеристики сухих электрофильтров общепромышленного применения

| Тип электрофильтров   | УГ              | ЭГА              | ЭГБ (ЭГБМ)      |
|---|-----------------|------------------|-----------------|
| Дата МВИ, год   | 1967            | 1980             | 1986            |
| Межэлектродное расстояние, мм   | 275             | 300              | 350             |
| Активная высота электродов, м   | 4; 7,5; 12      | 6; 7,5; 9; 12    | 6; 7,5; 9; 12   |
| Активное сечение, м <sup>2</sup>  | 10–265          | 16–285           | 16–285          |
| Производительность при скорости газа 1 м/сек, тыс. м <sup>3</sup> /час. | 36–954          | 57,6–1026        | 57,6–1026       |
| Количество электрических полей  | 2–4             | 2–4              | 2–5             |
| Максимальные габаритные размеры (высота, длина, ширина), м              | 27,5x24,8x29,87 | 19,9x22,74x29,54 | 19,9x28,2x29,54 |
| Номинальное напряжение агрегатов, кВ                                    | 80              | 80               | 80, 110         |

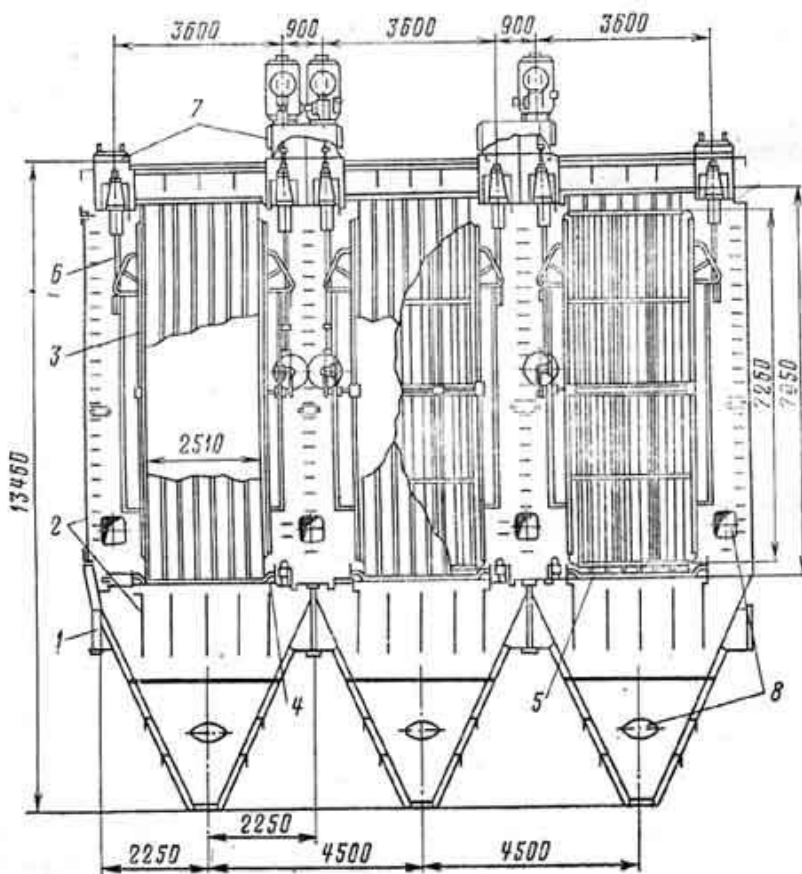
В таблицу включены электрофильтры типа УГ, для которых межведомственные испытания (МВИ) опытного образца были проведены еще в 1967 г., но этот электрофильтр выпускался длительное время и совершенствовался, поэтому он относится к современному поколению аппаратов.

Электрофильтры типа УГ по конструктивному исполнению имеют три

габарита, отличающиеся высотой электродов: УГ1 – 4м, УГ2 – 7,5м, УГ3 – 12м. Диапазон изменения значений площади активного сечения указан в таблице 2.2.

Электрофильтры УГ применяются для очистки газов при температуре до 250° С и давлении внутри корпусов не более 50 мм вод. ст. или разрежении до 750 мм вод. ст.

Активную зону электрофильтра составляет система С-образных осадительных и ленточно-игольчатых коронирующих электродов.



**Рис. 2.3.** Общий вид электрофильтра УГ2-3-74:

- 1 – корпус; 2 – газораспределительные устройства; 3 – осадительный электрод;
- 4 – механизмы встряхивания осадительных электродов; 5 – коронирующий электрод;
- 6 – подвес коронирующих электродов; 7 – изоляторные коробки; 8 – люки обслуживания

Межэлектродное расстояние – 275 мм. Коронирующие электроды рамной конструкции. Расстояние в ряду между ленточно-игольчатыми элементами – 180 мм., ширина элементов осадительных электродов – 350 мм.

В электрофильтрах УГ2 с активным сечением 53 и 74 м<sup>2</sup> с целью

повышения эффективности и надежности аппарата система коронирующих электродов каждого поля электрически разделена на два полуполя. Каждое полуполе имеет автономный подвес коронирующих электродов, систему встряхивания и узел подвода высокого напряжения.

На рис. 2.3 представлен общий вид электрофильтра УГ-2-3-74 (второй габарит, три поля, активное сечение  $74 \text{ м}^2$ ). Применительно к энергоблокам мощностью 300 МВт и более, при одноярусной компоновке электрофильтры УГ2 не размещаются в блочной ячейке, а двухъярусная установка электрофильтров ведет к значительному усложнению конструкции и увеличению стоимости. Наиболее перспективным решением вопроса было признано увеличение высоты электродов.

В связи с этим была разработана конструкция и освоено производство отечественных горизонтальных электрофильтров с высотой электродов 12 м типа ЭГЗ.

По конструктивному решению электрофильтры ЭГЗ аналогичны аппаратам УГ2 и отличаются от них высотой электродов. Электрофильтры ЭГЗ выпускаются в трех- и четырехпольном исполнении с активным сечением 177 и  $265 \text{ м}^2$ . Наряду с увеличением высоты электродов предусмотрено удлинение полей, с целью уменьшения числа междупольных пространств и сокращения общей длины электрофильтра при уменьшении количества механизмов отряхивания, бункеров и т. д., длина поля принята равной 3,8 м.

Конструкция механизмов встряхивания осадительных электродов аналогична применяемым в электрофильтрах УГ.

Коронирующие электроды выполнены из ленточно-игольчатых элементов с шагом между иглами 40 мм. Встряхивание коронирующих электродов выполнено в двух уровнях и осуществляется ударом молотка через промежуточный шток по наковальням каждого электрода. Каждое поле секционировано на два полуполя, что позволяет применять для питания каждого полуполя отдельные агрегаты питания. Конструкцией электрофильтров ЭГЗ предусмотрена возможность отгрузки с завода оборудования в виде укрупненных блоков (механизмы



встряхивания, секции коронирующих электродов и рамы подвеса), а также монтаж оборудования «сбоку» при неустановленных боковых стенках корпусов (как основной вариант).

Электрофильтры типа УГ и ЭГ были установлены для очистки дымовых газов на ряде крупных ТЭС, цементных заводах и других предприятиях.

На основании опыта эксплуатации и промышленных испытаний электрофильтров типа ЭГЗ разработана конструкция унифицированных электрофильтров УГЗ, технические характеристики которых приведены в таблице.

По данным института «Гипрогазоочистка» удельная металлоемкость электрофильтров УГЗ по сравнению с аппаратами ЭГЗ снижена на 5 %.

Дальнейшее развитие электрофильтры общепромышленного применения получили в совместной советско-чехословацкой разработке. Электрофильтры типа ЭГА получили обозначение ЭГА «Дружба». С советской стороны в разработке этих электрофильтров принимали участие «Гипрогазоочистка», НИИОГАЗ, СФ НИИОГАЗ, СЗГОА (Семибратовский завод газоочистительной аппаратуры) и СКТБ ГПО (специальное конструкторско-технологическое бюро, образованное из конструкторского и технологических отделов СЗГОА).

Электрофильтры типа ЭГА включили в себя как новые типоразмеры, так и типоразмеры, пригодные для модернизации по типу электрофильтров ЭГА всех эксплуатируемых электрофильтров типа УГ, выпускаемых ранее на СЗГОА.

Всего в техническом проекте было предусмотрено 111 типоразмеров. В процессе сотрудничества с ЧССР был разработан новый профиль осадительного элемента шириной 640 мм.

В 1979 г. на СЗГОА был изготовлен и установлен на энергоблоке 300 МВт Ладыжинской ГРЭС опытный образец электрофильтра ЭГА-58-12-6-3 параллельно с электрофильтром УГЗ-3-177. В мае 1979 г. были проведены межведомственные испытания, которые показали следующие результаты:

- электрофильтр УГЗ-3-177 – степень очистки 98,5 %;

- остаточная запыленность – 0,25 г/нм<sup>3</sup>;
- электрофильтр ЭГАЗ-58-12-6-3 – степень очистки 99,72 %,
- остаточная запыленность 0,052 г/нм<sup>3</sup>.

С июня 1981 г. было начато серийное производство электрофильтров типа ЭГА, а в 1983 г. этим электрофильтрам был присвоен Государственный знак качества. Включая 1990 г., электрофильтров типа ЭГА было изготовлено около 700 единиц. Электрофильтры типа ЭГБ и ЭГБМ предназначены для обеспыливания технологических газов и аспирационного воздуха с температурой до 330° С в теплоэнергетике, промышленности строительных материалов, черной и цветной металлургии и других отраслях промышленности.

Межэлектродное расстояние электрофильтров ЭГБМ – 350 мм. Поля набираются из широкополосных осадительных электродов специального профиля шириной 640 мм. Допустимая концентрация частиц на входе – не более 90 г/м<sup>3</sup>. Энергетические затраты на очистку 1000 м<sup>3</sup> газа – 0,4–1,3 кВт/ час.

Поколение электрофильтров, характерное для 80–90 гг., включает более 2000 аппаратов, находящихся в эксплуатации. Важно отметить, что кроме новых аппаратов ведется активная работа по модернизации установленных ранее электрофильтров. Обычным требованием при этом является обеспечение степени очистки газов на уровне 98–99 % и выше.

Накопленный опыт конструирования и эксплуатации электрофильтров этого поколения позволяет ставить вопрос о дальнейшем совершенствовании конструкции и управления электрофильтрами.

#### **2.4. Улавливание пылей с особыми свойствами**

В предшествующих параграфах главы рассмотрены электрофильтры общепромышленного назначения, в которых улавливаются пыли 2-й группы. Эти

пыли характеризуются удельным объемным сопротивлением в диапазоне  $10^2$ – $10^8$  Ом·м. В отличие от пылей 1-й группы (низкоомных) частицы пылей 2-й группы при осаждении на электрод не перезаряжаются мгновенно и не срываются с электрода, а остаются на электроде некоторое время и формируют слой, необходимый для успешного встряхивания электродов.

Помимо низкоомных пылей существует ряд других случаев, когда свойства улавливаемых пылей или условия, в которых происходит улавливание частиц, существенно отличаются от стандартных. К ним относятся:

- очистка при высокой температуре газов;
- очистка во влажной и химически активной среде;
- улавливание пылей с высоким удельным электрическим сопротивлением (УЭС);
- улавливание пылей при высокой концентрации дисперсной фазы.

Первые две проблемы решаются путем создания специальных электрофильтров, рассчитанных для работы в нестандартных условиях. Как высокотемпературные электрофильтры так и мокрые электрофильтры для химической промышленности – это успешно развивающиеся направления в электрогазоочистке [2 – 1,2,3].

В данной работе рассматриваются электрофильтры общепромышленного назначения. Проблемы с улавливанием высокодисперсных и высокоомных пылей решаются путем изменений в конструкции коронирующих электродов, изменений в режиме работы аппарата, применения специального питания или встряхивания электродов [2 – 12,13].

К настоящему времени особенности улавливания высокодисперсных и высокоомных пылей достаточно подробно изучены [2 – 1,2,3] и, как указано, имеется ряд способов снижения негативного действия этих факторов. Вместе с тем, имеет смысл продолжать поиск простых и эффективных мер борьбы с последствиями, снижающими степень очистки газов. Для постановки задач исследований рассмотрим подробнее каждый из этих особых случаев.

Улавливание высокоомных пылей. К группе высокоомных пылей

относятся пыли с удельным электрическим сопротивлением, превышающим  $10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . При улавливании таких пылей возникают явления, существенно изменяющие процесс газоочистки.

На осадительном электроде формируется пористый слабо проводящий слой частиц, на котором происходит накопление заряда, переносимого полями основного коронного разряда. В результате повышения напряженности поля внутри слоя в газовых включениях возникают ионизационные процессы, приводящие к образованию проводящих ионизированных каналов, выходящих на поверхность слоя. Эти каналы являются источником инжектируемых в межэлектродный промежуток ионов, полярность которых противоположна полярности ионов основной короны. Это явление получило название обратного коронного разряда. Эффективность электрофильтров, работающих в условиях обратной короны, резко снижается.

К вредным проявлениям обратного коронного разряда следует отнести:

- появление в межэлектродном промежутке ионов обратной короны, приводящее к снижению заряда частиц, приближающихся к осадительному электроду;
- уменьшение напряженности поля у поверхности осадительного электрода и снижение скорости дрейфа частиц за счет перераспределения объемного заряда в промежутке;
- снижение пробивного напряжения межэлектродного промежутка, приводящее к необходимости снижения рабочего напряжения.

Возникновение обратной короны и ее интенсивность обуславливаются не только удельным электрическим сопротивлением слоя пыли, но также толщиной слоя и удельной плотностью тока короны.

Появление обратной короны в электрофильтре вызывает изменения в вольтамперной характеристике промежутка. Восходящая ветвь, измеренная при последовательном повышении напряжения до максимального, отличается от нисходящей ветви, измеренной при снижении напряжения, вплоть до прекращения коронного разряда. Несовпадение характеристик и образование

петли указывает на наличие обратной короны, причем увеличение интенсивности обратной короны сопровождается расширением петли [2-3].

Исследованиям обратной короны и разработке мер по ограничению ее вредного влияния посвящено большое количество работ [2-1,2,5,6,7]. Наиболее известными способами борьбы с обратной короной являются следующие:

- кондиционирование газов;
- использование систем коронирующих электродов, обеспечивающих благоприятное для ограничения интенсивности обратной короны распределение плотности тока;
- использование источников питания с изменяющимся во времени напряжением.

С целью снижения УЭС (удельного электрического сопротивления) пыли применяют кондиционирование очищаемого газа путем увлажнения, введения химических реактивов, снижения или повышения температуры газа, так как зависимость УЭС от температуры имеет максимум. Эти методы достаточно эффективны в отношении исключения обратной короны, но не нашли широкого применения в связи с их дороговизной или коррозией оборудования.

Менее дорогим способом является уменьшение интенсивности обратной короны за счет регулирования тока основного коронного разряда и обеспечения более равномерного распределения его по поверхности осадительных электродов. В частности, используя игольчатые электроды, НИИОГАЗ добился более равномерного распределения тока по сравнению с гладкими проводами.

С целью интенсификации улавливания высокоомной пыли НИИОГАЗ разработал электрофильтр с комбинированными электродами. В электрофильтре многократно чередуются поле коронного разряда и электростатическое поле. При испытаниях на заводе «Магнезит» электрофильтр обеспечил высокую степень очистки газов – 99 %.

Представленные примеры показывают, что рациональная структура коронирующей системы, в частности уменьшение тока и сочетание участков с коронным разрядом и электростатическим полем, могут решить проблему

ограничения влияния обратной короны.

Однако следует иметь в виду, что при изменении конструкции электрофильтров с целью исключения обратной короны не всегда удается сохранить условия, которые могли бы обеспечить наибольшую степень очистки при улавливании пылей 2-й группы. Поэтому в данной работе будем ориентироваться на общепромышленные электрофильтры, предназначенные для улавливания пылей 2-й группы. Проблему борьбы с обратной короной будем решать за счет применения специального питания от источников, напряжение на выходе которых изменяется во времени.

**Улавливание пылей при высокой концентрации дисперсной фазы.** При высокой концентрации дисперсной фазы в работе электрофильтров проявляются существенные особенности.

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 значение предельного заряда и скорость дрейфа частиц.

Уменьшение потока ионов коронного разряда носит название «запирание коронного разряда», так как проявляется как уменьшение тока.

Решающую роль играет счетная концентрация частиц. Поэтому в случае очень мелких частиц запирание короны может происходить даже при сравнительно небольших весовых концентрациях, и, наоборот, в случае крупных частиц электрофильтр может справляться с относительно большой их входной концентрацией.

Результатом запирания короны является недозарядка частиц и соответствующее снижение эффективности очистки.

Вопросы расчета электрического поля, зарядки и движения частиц были подробно рассмотрены в работах [2 – 3,8,9]. Предлагается для компенсации негативного действия высокой концентрации частиц на степень очистки

удлинять электрофильтр на ту часть длины, которая фактически исключается из нормального процесса из-за запираания коронного разряда [2-10]. Для золы теплоэлектростанций условия запираания короны практически соответствуют входной запыленности 30–40 г/м<sup>3</sup> при нормальных условиях.

В описании физических процесс при запираании коронного разряда остается открытым очень важный вопрос: об определении реальной степени недозарядки частиц, которая получается в связи с дефицитом ионов основного коронного разряда. Положение осложняется тем, что степень недозарядки меняется по длине электрофильтра от наибольшей на входе до практически полного отсутствия запираания, когда заряд частиц стремится к предельному.

Отсутствие методики определения степени недозарядки частиц в электрофильтрах не позволяет рассчитать фактическую степень очистки газа в этих условиях, установить количественное влияние факторов, учитывающих действие высокой концентрации, определить пути снижения влияния этих факторов.

## **2.5. Задачи по созданию электрофильтров нового поколения**

В течение XX века электрогазоочистка прошла длительный и интенсивный путь развития. Разработаны научные основы физических процессов в электрофильтрах, главными из которых являются зарядка, движение и осаждение частиц в электрическом поле униполярного коронного разряда [2 – 1,2,3,9]. Созданы методы расчета поля коронного разряда для систем электродов, применяемых в электрофильтрах [2-11]. Исследованы особенности процесса электроосаждения частиц с нестандартными свойствами [2-8] и др.

Всё это позволило правильно подойти к проектированию промышленных аппаратов. Как следует из материала главы 1, после начального периода конструирования и эксплуатации электрофильтров наступил период,

относящийся к 90-м гг., к которому можно отнести современное поколение электрофильтров, находящихся в эксплуатации. Современное поколение электрофильтров создано на основе известных теоретических представлений о процессах и опыта конструирования и эксплуатации пилотных установок и первых конструкций электрофильтров, созданных на предшествующем этапе развития электрофильтров.

В материалах данной главы представлена характеристика научно-технических принципов, заложенных в конструкциях современных электрофильтров. Ведущие НИИ и проектные организации, к которым прежде всего относится НИИОГАЗ и его Семибратовский филиал, сделали основной вклад в создание и внедрение в промышленность современных электрофильтров. Совершенство этих электрофильтров, их соответствие известным научным представлениям о физических процессах в электрофильтрах и международному уровню было подтверждено длительным опытом эксплуатации. Принципы, положенные в основу при создании оборудования, оказались правильными и эффективными. Конечно, они не были сформулированы четко первоначально, но теперь, подводя итоги, необходимо отметить, что они являются характерными признаками современных электрофильтров.

Впервые создавались не отдельные аппараты, а типоразмерные ряды оборудования, перекрывающие весь диапазон потребностей. Последовательно проводился принцип, когда специфические условия и влияние факторов, усложняющих очистку газа, разработчики пытались удовлетворить, используя электрофильтры общепромышленного применения и используя специальные системы регулирования напряжения, специальные источники питания или небольшие конструктивные изменения в системе коронирующих электродов, газораспределительной системе или системе золоудаления, изменяя скорость газа или число полей.

Вместе с тем появились основания для создания электрофильтров нового поколения:

– новые идеи и предложения, интенсифицирующие газоочистку;



- новые практические задачи по пылеулавливанию, которые не могут быть решены на существующем оборудовании;
- успехи в нерешенных ранее научных проблемах электрогазоочистки;
- новые возможности в решении проблемы с трудноуловимыми пылями;
- развитие и продвижение удачных решений в существующих конструкциях электрофильтров;
- обнаруженные недостатки и слабые места в существующих конструкциях электрофильтров.

Предварительный анализ возможности разработки (в свете сформулированных предпосылок) научно-технических принципов электрофильтров нового поколения может быть выполнен как развитие и дополнение принципов, заложенных в существующих электрофильтрах.

В данной работе обосновываются и разрабатываются следующие направления совершенствования электрофильтров, которые будут заложены в конструкции электрофильтров нового поколения:

- дальнейшее совершенствование коронирующих электродов;
- увеличение межэлектродного расстояния;
- увеличение высоты электрофильтров;
- совершенствование системы регулирования напряжения на электрофильтрах;
- создание новых источников питания электрофильтров;
- анализ условий, определяющих эффективность улавливания мелкодисперсной пыли при наличии запирающего коронного разряда;
- применение комбинированной системы электрогазоочистки.

**Возможности совершенствования конструкции коронирующих электродов.** Результаты исследований, проведенных в последние годы [2-1], дают основание для некоторого изменения позиции по отношению к выбору коронирующих электродов. Считалось ранее [2-3], что электроды с фиксированными точками коронирования по сравнению с проводами обеспечивают более равномерное распределение плотности тока по

поверхности осадительного электрода. Это было подтверждено многочисленными экспериментами [2-10], однако следует иметь в виду, что поле электродов с фиксированными точками коронирования может иметь участки, где объемный заряд очень мал или отсутствует. В частности это используется в электрофильтрах с комбинированными электродами, когда возникает проблема с улавливанием высокоомных пылей. Вместе с тем, в электрофильтрах общепромышленного назначения это обстоятельство может негативно влиять на степень очистки. Необходимо изучить снова вопрос о выборе коронирующих электродов. Дополнительным поводом для этого служит наметившаяся возможность дальнейшего снижения начального напряжения коронного разряда, что является дополнительным резервом в увеличении мощности коронного разряда.

**Увеличение высоты электродов.** Возможность увеличения высоты электродов более 12 м является принципиально важной для конструкции электрофильтров нового поколения, предназначенных для работы на тепловых электростанциях. Ограниченные размеры ячейки для мощных блоков диктуют необходимость такого решения, чтобы сохранить допустимые скорости газа.

Однако простое увеличение высоты электродов приводит к существенному росту вторичного уноса и уменьшению степени очистки. Поэтому необходимы дополнительные исследования и обоснование мер по организации отряхивания электродов большой длины. Не исключено, что в этом вопросе должны быть найдены принципиально новые решения.

**Увеличение межэлектродного расстояния.** К настоящему времени в мировой практике имеются неоднократные попытки успешного применения увеличенного межэлектродного расстояния в электрофильтрах. Настороженность вызывает то обстоятельство, что в соответствии с традиционной формулой Дейча-Попкова для степени очистки это должно приводить к понижению эффективности работы. Необходимо выяснить причины противоречия и разработать теоретическое обоснование применения увеличенного межэлектродного расстояния.

**Совершенствование системы регулирования напряжения.** Поддержание напряжения на электрофильтрах на максимально возможном уровне является условием получения наибольшей степени очистки газа. В настоящее время наилучшей считается система регулирования по максимуму среднего напряжения [2 – 1,2,3]. Вместе с тем, учитывая важность этого вопроса, необходимо продолжать поиски алгоритма регулирования, позволяющего еще более повысить степень очистки. Эта проблема не является простой для решения, если иметь в виду, что наибольшая степень очистки получается в режиме с ограниченным числом пробоев и фактическая форма кривой напряжения на электрофильтре также имеет значение.

**Создание новых источников питания электрофильтров.** Как уже отмечалось, основной целью является разработка электрофильтров нового поколения общепромышленного назначения и совершенствование источников питания, что представляет собой важную научно-техническую задачу. Правильное ее решение возможно только на основе комплексного анализа системы «Источник питания – электрофильтр». Это планируется осуществить в данной работе.

Второе направление – создание новых источников питания для улавливания высокоомных пылей и высокочастотных источников питания для низкоомных пылей в первую очередь. Разработка простого и надежного импульсного источника позволит использовать электрофильтры нового поколения общепромышленного назначения в условиях улавливания высокоомных пылей.

Очень серьезно и длительное время занимаются знакопеременным и импульсным питанием в ВЭИ под руководством д.т.н. Переводчикова В.Н. [2 – 14,15,16,17].

В последние годы этой группой разработан и испытан промышленный образец высокочастотного источника питания (ВИП) [2-18]. ВИП в комплексе с новыми электродными системами электрофильтров IV поколения даст дополнительные возможности для обеспечения требуемой степени очистки при

заданных, ограниченных ячейкой ТЭС габаритах электрофильтра при улавливании пылей второй группы. Принципы анализа динамических процессов в электрофильтре в этом случае можно упростить, т.к. ток короны будет практически постоянным, но для системы управления этот факт добавит новые требования к алгоритму управления, т.к. увеличится склонность системы «Источник питания – электрофильтр» к затягиванию дуговых пробоев и более раннему переходу искровых пробоев в дуговые разряды в электрофильтре.

**Анализ условий, определяющих эффективность улавливания мелкодисперсной пыли при наличии запирающего коронного разряда.** Необходимость улавливания мелкодисперсной пыли встречается все чаще. Как правило, малый размер частиц сочетается с их высокой счетной концентрацией. В предыдущем параграфе уже было рассмотрено явление запирающего коронного разряда и его влияние на процесс улавливания частиц в электрофильтрах. Для правильного понимания этого влияния необходима разработка соответствующей методики расчета степени очистки газов, что и является одной из задач данной работы.

**Применение комбинированной системы электрогазоочистки.** Имея в виду важность эффективного улавливания мелкодисперсных полей, особенно размером менее 1 мкм, должны быть рассмотрены возможности использования других аппаратов. В частности это связано с тем, что в диапазоне размеров частиц 0,3–0,7 мкм находится минимум подвижности частиц в униполярном коронном разряде, и частицы такого размера хуже всего улавливаются в электрофильтрах. В этом случае либо необходимо использовать электрофильтр большой длины, либо значительно уменьшить скорость газа.

Использование комбинированного принципа электрогазоочистки, когда относительно грубодисперсная часть аэрозоля улавливается в электрофильтре, а мелкодисперсная – на выходе в другом аппарате, может быть перспективным. Но какой аппарат может справиться с этой задачей?

Итак, перечисленные выше вопросы составляют научные основы электрофильтров нового поколения общепромышленного назначения и

разработка их является целью данной работы. Конечно, всё, что используется в современных электрофилтрах [2-3] и все научные достижения, известные к моменту начала работы, также являются научной основой электрофилтров нового поколения и в полной мере используются автором.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной результат исследований заключается в разработке научных основ создания электрофильтров нового поколения для очистки дымовых газов от взвешенных частиц, т.е. научное обоснование принципов конструирования и организации работы электрофильтров нового поколения. Для этого необходимо было решить ряд теоретических и экспериментальных вопросов, относящихся к процессу улавливания частиц в аппаратах газоочистки.

Конкретные результаты, полученные в работе, сводятся к следующему:

1. Показана необходимость создания электрофильтров нового поколения, что определяется резким ужесточением требований к чистоте газов после очистки; возрастанием объемов газов и номенклатуры пылей, нуждающихся в очистке; новыми условиями организации производства, монтажа и эксплуатации электрофильтров. Дальнейшее загрязнение атмосферы требует кардинального изменения отношения к электрогазоочистке.

2. Определены пути совершенствования электрофильтров, заключающиеся в :

- усовершенствовании коронирующих электродов;
- увеличении вертикального размера электрофильтров;
- применении увеличенного межэлектродного расстояния;
- совершенствовании системы регулирования напряжения;
- создании новых источников питания;
- анализа условий, определяющих эффективность улавливания мелкодисперсной пыли, приводящей к запиранию коронного разряда;
- применении комбинированных электрофильтров;
- применение новых технологий изготовления узлов электрофильтра, организация производства, монтажа и эксплуатации электрофильтров.

3. В работе впервые последовательно реализованы принципы конструирования коронирующих электродов, заключающиеся в :

- использовании «равнопрочной» конструкции;

- обеспечении равномерного распределения плотности тока и напряженности по поверхности осадительного электрода;
- снижении до малой величины начального напряжения;
- обеспечении максимальных значений напряженности поля у осадительного электрода.

4. Для анализа распределений напряженности поля коронного разряда в сложных системах электродов электрофильтров предложено использовать сочетание теоретического и экспериментального методов, что позволило впервые реализовать эту сложную задачу.

5. В результате исследования предложена новая конструкция коронирующих электродов, обладающая более высокими параметрами коронного разряда, чем известные ранее.

6. Разработана методика анализа процессов в системе «Источник питания – электрофильтр», заключающаяся в моделировании, составлении и решении дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы в схеме, на основе эквивалентирования сложной нелинейной нагрузки, которой является электрофильтр.

Впервые оказалось возможным увязать процессы, происходящие в системе питания, с процессами, происходящими в электрофильтре. Это позволяет анализировать динамические процессы при сложной форме кривой питающего напряжения, в частности при импульсном питании.

7. Предложено дальнейшее развитие новой перспективной системы регулирования напряжения – системы регулирования по последующему полю, где последнее поле регулируется по максимуму произведения среднего напряжения на амплитудное значение напряжения.

Для реализации этого принципа используется уже разработанный регулятор, который перенастраивается таким образом, чтобы он обеспечивал наибольшее среднее напряжение плюс превышение на 3 %, что соответствует максимуму  $U_{cp} \cdot U_a$ .

8. Показаны преимущества импульсного питания. Предложена система

релаксационного питания, обладающая преимуществами импульсного питания, отличающаяся простотой и надежностью, что очень важно для практического использования. Разработаны и внедрены источники релаксационного питания.

9. Разработана методика, выполнен полnofакторный активный эксперимент и получены уравнения регрессии, связывающие параметры источника питания, пылегазового потока и степень очистки. Эти уравнения позволяют выбрать режимы, обеспечивающие минимальный унос, доказывают преимущества релаксационного питания.

10. Преимущества релаксационного питания подтверждены многочисленными испытаниями и применениями в промышленных условиях.

11. Для электрофильтров, работающих при высокой концентрации дисперсной фазы, для учета возможного запираания коронного разряда и ухудшении осаждения частиц разработана методика расчета степени очистки газа от частиц. Предложен способ определения недозарядки частиц. Правомерность методики подтверждена сопоставлением с экспериментальными значениями степени очистки для электрофильтров типа ДГПН и ПГДС, улавливающих пыли мартеновских печей, и электрофильтров типа ЭТМ, улавливающих капли серной кислоты.

12. Анализ расчетных материалов показывает:

- из-за влияния дисперсной фазы скорость дрейфа частиц может снижаться в 2 и более раз по сравнению с аналогичными значениями при малой концентрации;

- плотность тока из-за влияния высокой концентрации по длине электрофильтра распределяется крайне неравномерно. В начальной части электрофильтра плотность тока близка к нулю:

- из-за влияния дисперсной фазы имеет место более резкое возрастание уноса с ростом скорости потока.

13. Разработаны электрофильтры нового поколения, в которых:

- используется новая система электродов с лучшими электрическими характеристиками;



- принято экономически выгодным увеличенное межэлектродное расстояние 460 мм;
- обосновано применение электродов высотой до 18 м;
- обеспечено равномерное распределение потока газа по сечению электрофильтра за счет применения двух газораспределительных решеток на входе и одной решетки на выходе из электрофильтра;
- предприняты специальные конструктивные меры по уменьшению влияния неактивных зон;
- применена новая система регулирования напряжения на электрофильтре.

14. Впервые теоретически, расчетным путем, доказана целесообразность использования увеличенного межэлектродного расстояния.

15. Впервые обоснована возможность применения в электрофильтрах осадительных электродов высотой 18 м и освоено их производство.

16. Разработан и внедрен типоразмерный ряд электрофильтров нового поколения общепромышленного применения производительностью до 1,5 млн. м<sup>3</sup>/ час, обеспечивающих остаточную запыленность газов 30–50 мг/м<sup>3</sup>.

17. Обоснована необходимость разработки комбинированных электрофильтров, состоящих из последовательных, по ходу газа, собственно электрофильтра и рукавного фильтра.

18. Определена область применения комбинированных электрофильтров:

- очистка газов от высокоомных и других трудно улавливаемых в обычных электрофильтрах пылей;
- при высокой начальной концентрации пыли и в связи с необходимостью обеспечения жестких экологических требований по остаточной запыленности газов;
- при ограниченной площади для размещения газоочистного оборудования.

19. Впервые определены рациональные диапазоны концентрации частиц для первого элемента комбинированного электрофильтра – собственно

электрофилтра:  $z_{1\text{вход}} = 100 \text{ г/м}^3$  и  $z_{1\text{вых}} = 5\text{--}12 \text{ г/м}^3$ , и второго элемента – рукавного филтра:  $z_{2\text{вход}} = 5\text{--}12 \text{ г/м}^3$  и  $z_{2\text{вых}} = 50 \text{ мг/м}^3$  и менее.

20. Установлено в результате технико-экономических расчетов, что применение комбинированных электрофилтров вместо многопольных обычных электрофилтров сопровождается экономическим эффектом, если они заменяют электрофилтры с 6 и более полями.

21. Исследованы особенности формирования пылевого слоя на филтровальном материале при осаждении заряженного аэрозоля. Произведен теоретический расчет процесса накопления заряда в пылевом слое и определены предельные значения плотности заряда, которые ограничиваются разрядными процессами в слое. Показано, что предельные значения гидравлического сопротивления филтровального материала достигаются при большей пылевой нагрузке, чем при осаждении незаряженных частиц. В результате рукавный филтр при улавливании заряженного аэрозоля работает более эффективно.

22. На основании исследования процессов формирования заряженного пылевого слоя на филтровальном материале предложена система электрической регенерации, позволяющая повысить ее эффективность. На способ электрической регенерации рукавного филтра подана заявка на получение патента РФ.

23. Разработаны конструкции комбинированных электрофилтров. Применение составляющих комбинированных электрофилтров на практике подтвердило их эффективность.

24. Применение автоматизированной линии изготовления коронирующих электродов, высокоточного автоматизированного стана резко повышает качество электродных систем. Применение твердого субконтрактинга для изготовления и монтажа установок газоочистки гарантирует качество и их степень очистки. Эксплуатация установок с участием инжиниринга разработчиков электрофилтра обеспечивает гарантию эксплуатационной системы очистки электрофилтра.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

### Глава 1. Этапы становления электрогазоочистки

- 1-1. *Реймерс Н.* Природопользование. М., 1990.
- 1-2. Охрана атмосферы//Человек и природа. № 7, 1981.
- 1-3. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов. Под редакцией Л.В.Чекалова. Ярославль, «Русь», 2004.
- 1-4. Справочник по пыле- и золоулавливанию. Под ред. А.А.Русанова. М., 1975.
- 1-5. *Капитонов В.* Спрятанное изобретение//Техника – молодежи. № 12, 1977.
- 1-6. *Ужов В.* Очистка промышленных газов электрофильтрами. М., Химия, 1967.
- 1-7. *Попков В.И.* Влияние размеров и формы электродов на ток короны. М., ЦНИЛОГАЗ, 1934.
- 1-8. *Залогин Н., Шумахер С.* Очистка дымовых газов. М.: Госэнергоиздат, 1948.
- 1-9. *Жебровский С.П.* Электрофильтры. М., Госэнергоиздат, 1950.
- 1-10. *Капцов Н.А.* Коронный разряд и его применение в электрофильтрах. М.-А., ОГИЗ, 1947.
- 1-11. Кондор-Эко: ступени успеха. Ярославль, «Русь», 2003.
- 1-12. *Зеленов В.* Основы экономики природопользования и охраны окружающей среды. Ярославль, 1997.
- 1-13. *Сен-Марк Ф.* Социализация природы. М.: Прогресс, 1977.
- 1-14. *Федоров Б.С.* Охрана атмосферного воздуха. М., Макцентр, 2001.
- 1-15. Охрана окружающей среды в России. М., Госкомстат, 2001.
- 1-16. Экологическая безопасность: проблемы, поиск, решения. М., Макцентр, 2001.
- 1-17. *Чекалов Л.* Экотехника – элемент предотвращения экологических чрезвычайных ситуаций//Известия (приложение «Экология»), 18 марта 2002 г.
- 1-18. Экология – дело прибыльное // Российская газета, 28 октября 2000 г.
- 1-19. Каталог пылеулавливающего оборудования. Под ред. Л.В.Чекалова. Ярославль, «Кондор-Эко», 2006.

### Глава 2. Современное оборудование электрогазоочистки и проблемы его совершенствования

- 2-1. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов. Под редакцией Л.В.Чекалова. Ярославль, «Русь», 2004.
- 2-2. *Ужов В.* Очистка промышленных газов электрофильтрами. М., Химия, 1967.
- 2-3. Дымовые электрофильтры. Под ред. В.И.Левитова. М., Энергия, 1980.

- 2-4. *Реймерс Н.* Природопользование. М., 1990.
- 2-5. *Калинин А.В.* Исследование обратной короны с целью повышения эффективности электротехнологических процессов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., МЭИ, 1986.
- 2-6. *Чекалов Л. В.* Исследование влияния режимов питания электрофильтров дуговых и рудотермических печей на эффективность их работы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., МЭИ, 1982.
- 2-7. Гапонов Я.Г., Панев С.Н., Ткаченко В.М и др. Система пылеулавливания за вращающимися печами по обжигу мегнезита //Огнеупоры, № 7, 1980. С.23-28.
- 2-8. *Мирзабекян Г.З.* Коллективные процессы в электрофильтрах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М., МЭИ, 1977.
- 2-9. *Верещагин И.П., Левитов В.И., Мирзабекян Г.З. и др.* Электрогазодинамика дисперсных систем. М., Энергия, 1974.
- 2-10. *Левитов В.И., Ткаченко В.М.* Электрические характеристики некоторых типов коронирующих электродов электрофильтров//Известия АН СССР «Энергетика и транспорт», № 3, 1966. С. 91–97.
- 2-11. *Верещагин И.П.* Методы расчета электрического поля и поведения частиц при униполярном коронном разряде. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М., МЭИ, 1975.
- 2-12. *Чекалов Л.В.* Исследование статической электромеханической характеристики поля электрофильтра / Труды Московского Энергетического Института, № 446. М., 1980. С.119-120.
- 2-13. *Соколов М.М., Чекалов Л.В.* Процессы пылевыброса при встряхивании электродов / Труды Московского Энергетического Института, № 409. М., 1978. С.51-53.
- 2-14. *Щербаков А.В., Калинин В.Г., Стученков В.М.* Оптимизация параметров импульсного источника для питания электрофильтров//Электрические станции, №6, 2002. С.75-78.
- 2-15. *Щербаков А.В., Калинин В.Г., Стученков В.М.* Импульсные источники микросекундной длительности импульсов для питания электрофильтров//Электрические станции, №12, 2002. С.40-43.
- 2-16. *Переводчиков В.И., Шапенко В.Н., Щербаков А.В., Калинин В.Г., Стученков В.М.* Источники знакопеременного, импульсного и импульсно-знакопеременного питания электрофильтров//Электрические станции, №1, 2003. С.56-61.
- 2-17. *Щербаков А.В.* Перспективные источники знакопеременного и импульсного питания электрофильтра и реакторной камеры //Электро, №5, 2006. С.16-20.
- 2-18. *Переводчиков В.И., Щербаков А.В., Гусев С.И., Шапенко В.Н., Белкин В.М., Мустафа*

*Г.М., Кирюхин Ю.А., Ефремиди А.Л.* Униполярный высоковольтный источник с высокочастотной связью для питания электростатических фильтров/Юбилейный сборник Трудов ВЭИ к 85-летию, 2006. С.189-195.

## Приложение 1

Из каталога треста «Газоочистка» 1941 г.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА ДВ и ДВМ. Применялись для очистки от золы дымовых газов на котельных установках, для очистки отходящих газов обжиговых печей, сушилок, аспирации и пр. Осадительные электроды сконструированы в виде шестигранных труб (ячеек). В таком виде пакеты напоминают соты, поэтому электрофильтры этих типов называли «сотовыми электрофильтрами». Выполнялись в виде железобетонных камер. Встряхивание электродов осуществлялось пневматическими молотками и трамбовками или вибраторами.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА ХК. Применялись в химической промышленности и цветной металлургии. Предназначались для очистки пыли горячего печного газа. Встряхивание осадительных и коронирующих электродов осуществлялось вручную.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА М. При контактном способе получения серной кислоты очистка печных газов только от огарковой пыли была недостаточной, содержащийся в колчеданах мышьяк не осаждался в огарковых электрофильтрах. Электрофильтры типа М обеспечивали улавливание мышьяка. Очистка в них основана на предварительном насыщении газа туманом серной кислоты, в котором растворяется мышьяк, и последующем осаждении этого тумана в электрофильтрах типа М. Они представляли собой свинцовую камеру, укрепленную на железном каркасе, с цилиндрическими и шестигранными электродами. Все внутренние части камеры изготовлялись из свинца или железа с освинцовкой. Электрофильтры типа М применялись для очистки от тумана серной кислоты любого газа с температурой ниже 100° С: печного газа контактных сернокислотных заводов после охлаждения его в промывных башнях; сернистого газа бумажных фабрик; отходящих газов

после концентраторов серной кислоты в аппаратах Кесслера.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА МС.** В этих электрофильтрах путем охлаждения отходящих газов взбрызгиваемой водой и последующей электроочисткой достигается 100-процентное удаление тумана серной кислоты. Осадительные электроды выполнены из листового свинца в виде труб шестигранной формы, коронирующие электроды – железная освинцованная проволока в виде шестигранника.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА К.** При концентрировании серной кислоты путем непосредственной ее упарки горячими газами происходит значительный унос ее в виде тумана в отходящих газах. Для устранения больших потерь кислоты устанавливались электрофильтры типа К. Они применялись для осаждения тумана серной кислоты из горячих дымовых газов после аппаратов для концентрирования этой кислоты, а также для улавливания тумана фосфорной кислоты. Электрофильтр представлял собой камеру, выложенную из андезитовых или бештаунитовых камней с минимальным швом или из кислотоупорного кирпича. Кладка снаружи стянута железным каркасом и покрыта теплоизоляцией из фибролита. Осадительные электроды представляют собой угольные трубы, коронирующие электроды изготовлены из освинцованной железной проволоки.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА А.** Применялись для улавливания туманообразной азотной кислоты из вентиляционных газов нитрационных отделений с предварительным увлажнением. Представляли собой вертикальную камеру из специальной стали. Газ, поступая в нижнюю часть камеры, увлажняется и, поднимаясь вверх вместе с туманообразной азотной кислотой, попадает в электрофильтр. Орошение производится обратной азотной кислотой с помощью брызгал.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА У.** Применялись для очистки от угля газов углесушильных барабанов и угольных мельниц и от сажи газов сажекопильных печей. Представляли собой железную или железобетонную камеру. Для особо взрывоопасных сортов угля применялись электрофильтры

типа УК, имеющие железный цилиндрический корпус. Осадительные электроды выполнены в виде пластин, набранных из свободно висящих прутков или закрепленных полос волнистого железа. Коронирующие электроды – рамы из газовых труб, по которым натянута железная нихромовая или фехралева проволока.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА СУ и С. Применялись для очистки генераторного газа от смолы и пыли, уносимых этими газами из генераторов. Для генераторов, работающих на торфе или дереве, в газах которых содержится уксусная кислота, применялись электрофильтры типа СУ, для всех остальных – типа С.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА СМ и СМС. Применялись для очистки газов, отходящих от известково-обжигательных печей от частиц пыли, жженой извести и антрацита, а также пыли, состоящей главным образом из хлористых и серноокислых соединений калия, натрия, магния.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА ХР-2. Применялись для трудно улавливаемой пыли, главным образом в цветной металлургии, для очистки газов, отходящих от различного рода плавильных печей.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА ГК и ВГ. Применялись в цветной металлургии и химической промышленности для очистки газов при высоких температурах, например, газов, отходящих от отражательных и конверторных печей, печей обжига колчедана и цинковых концентратов и др. ГК – с горизонтальным ходом газа, ВГ – с вертикальным ходом газа.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА ДМ. Применялись для очистки колошникового газа доменных печей, работающих на передельном или литейном чугунах. Способ очистки – одноступенчатый, мокрый.

Множество факторов, влияющих на эффективность работы газоочистительного оборудования, послужило созданию большого количества разнообразных типов и конструкций газоочистительных аппаратов. При этом их создатели, работающие в разных организациях, не заботились об унификации обозначений, что порой требовало отдельных пояснений. Так,



например, в том же каталоге 1941 г. индексом Ц обозначался горизонтальный электрофильтр, ЦВ – вертикальный электрофильтр, ЦГ – батарейный циклон для золоулавливания. Кроме того, после войны многие приведенные в этом каталоге сведения быстро устарели. Не случайно на Семibrатовском заводе газоочистительной аппаратуры вскоре появился следующий документ под названием «Расшифровка индексов изделий завода в 1948–1950 гг.»:

«БАТАРЕЙНЫЕ ЦИКЛОНЫ: БЦ-1/49 – однокорпусный на 49 элементов, БЦ-36 – на 36 элементов, БЦ-250 – с диаметром циклонных элементов 250 мм. Батарейные циклоны применяются для очистки газов на агломерационных фабриках, в котельных установках.

ФИЛЬТР ФП – фильтр Петрянова. Применяется для очистки воздуха в атомной и электронной промышленности.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ: СГ-14 – электрофильтр для улавливания сажи, горизонтальная площадь поперечного сечения  $14 \text{ м}^2$ .

ХК-45 – электрофильтр огарковый, вертикальный, с кирпичным корпусом, площадь поперечного сечения  $45 \text{ м}^2$ . Применяется в сернокислотном производстве.

ОГ-3-120 – электрофильтр огарковый, горизонтальный, трехпольный, с поперечным сечением  $120 \text{ м}^2$ .

ГК-18, ГК-30 – электрофильтр горизонтальный, с поперечным корпусом, площадь поперечного сечения 18 и  $30 \text{ м}^2$ .

Ц-22 – электрофильтр горизонтальный, односекционный. Осадительные электроды выполнены из волнистой стали с шагом волны 100 мм и высотой 30 мм. Коронирующие электроды – из спиральной проволоки диаметром 2 мм. Площадь поперечного сечения  $22 \text{ м}^2$ . Применяются в производстве цемента и минеральных удобрений.

СС-9 – электрофильтр смоляной, в стальной корпусе, площадь поперечного сечения  $9 \text{ м}^2$ . Осадительные электроды – прутковые. Используется для улавливания катализаторной пыли в нефтеперерабатывающей промышленности.

ПГ – электрофильтр пылевой, применяется для очистки от пыли и смол

газогенераторных газов.

ПГТ – электрофильтр пылевой, трубчатый, применяется для очистки горючих генераторных газов».

## Приложение 2

Из каталога треста «Газоочистка» 1958 г.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ РИОН-С – РАЗДЕЛЬНОЙ ИОНИЗАЦИИ, САМООЧИЩАЮЩИЕСЯ.** Предназначены для очистки воздуха от взвешенных микроскопических частиц песка, металлов, золы, сажи, волокон, химикалий, органических веществ и других видов тонко измельченных материалов, а также бактерий, спор плесени, цветочной пыльцы и других микроорганизмов. Размеры улавливаемых частиц лежат в микронном и субмикронном диапазоне, эти аппараты способны очистить воздух от взвешенной в нем пыли на 85–95 % и применяются в воздухоочистительных установках: при охлаждении мощных электрических генераторов; в установках вентиляции и кондиционирования воздуха; в производстве часов, измерительных приборов, фармацевтических, редких элементов, при других точных процессах. РИОН-С – электрические воздухоочистители с отдельными процессами зарядки и осаждения частиц пыли, с самоочищающимися электродами непрерывного действия, несущими на поверхности постоянно возобновляемую масляную пленку. Особенностью и основным отличием является разделение процесса электрического пылеулавливания на две зоны: зоны ионизации газа коронным разрядом и зарядки частиц пыли в ионизаторе и зоны улавливания заряженных частиц пыли электрическим полем в осадителе.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ОГ – ОГАРКОВЫЕ, ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ.** Предназначены для тонкой очистки обжиговых газов сернокислотных производств от огарковой пыли и применяются в химической промышленности и цветной металлургии: при обжиге рядовых колчеданов и флотационных концентратов в механических полочных печах; при обжиге флотационных концентратов во взвешенном состоянии (пылевидное сжигание); при обжиге рядовых колчеданов и флотационных концентратов в печах с кипящим слоем. Относятся к классу сухих

пластинчатых аппаратов и представляют собой горизонтальные односекционные или двухсекционные камеры прямоугольного сечения, выполненные из кирпича, стали или жароупорного железобетона, в которых размещено по 3 (последовательно по ходу газа) электрических осадительных поля. Рассчитаны на работу в условиях высокой температуры (до 450°) и кислых газов, содержащих серный и сернистый ангидриды.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ВП – ВЕРТИКАЛЬНЫЕ, ПЛАСТИНЧАТЫЕ.** Предназначены для очистки обжиговых газов сернокислотных производств от огарковой пыли и применяются в основном в химической промышленности и цветной металлургии. Рекомендуется применять для очистки газов: в одну ступень – при обжиге рядовых колчеданов и флотационных концентратов в механических полочных печах; в две ступени – при обжиге колчеданов во взвешенном состоянии и в «кипящем слое» (в пылевидных печах). Относятся к классу сухих пластинчатых аппаратов и выполнены в виде вертикальных двухсекционных кирпичных камер прямоугольного сечения. Конструкцией предусмотрена работа в условиях высокой температуры (до 450°) и в среде кислых газов, содержащих серный и сернистый ангидриды.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ КТ – КИСЛОТНЫЕ, ТРУБЧАТЫЕ.** Предназначены для улавливания капелек и тумана серной кислоты, уносимых отходящими горячими газами в процессе упаривания (посредством барботажа) разбавленной серной кислоты. Степень очистки достигает 99 %. Относятся к классу мокрых электрофильтров с кислотоупорными ферросилидовыми трубами, установленными в камерах, выложенных из андезитовых камней и кислотостойкого кирпича. Электрофильтры КТ-36 и КТ-72 представляют собой вертикальные однопольные односекционные трубчатые аппараты, расположенные в камерах прямоугольной формы, КТ-144 – двухсекционные, с отдельным входом газа в каждую секцию. Особенности: применение кладки из тесаных андезитовых камней для сооружения стен и внутренних сводов камеры; применение высококремнистого чугуна («ферросилида») в качестве материала для изготовления осадительных труб и системы коронирующих

электродов; применение конструкции многозвенных сочлененных коронирующих электродов.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ М – МОКРЫЕ.** Предназначены для мокрой очистки печных газов от тумана серной кислоты, окислов мышьяка и селена в производстве контактной серной кислоты. Обычно устанавливаются после промывных башен в две последовательные ступени, с промежуточным охлаждением газа в увлажнительной башне. Уловленный шлам удаляется с осадительных электродов путем периодической пропарки электрофильтра, с доведением температуры до 85–90° и последующей промывкой горячей водой. Относятся к классу мокрых однополюсных двухсекционных аппаратов с шестигранными осадительными электродами и вертикальным ходом газа. Корпус и крышка электрофильтра свинцовые, на стальном каркасе.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ МТ – МОКРЫЕ, ТРУБЧАТЫЕ.** Предназначены для очистки выхлопных газов абсорбционных башен сернокислотных заводов от тумана серной кислоты. В электрофильтре улавливается 75–80 %-ная серная кислота с нитрозностью 5–7 %. Относятся к классу мокрых аппаратов трубчатого типа с вертикальным направлением газового потока. В них отсутствуют какие-либо устройства для удаления с электродов уловленной серной кислоты. Электрофильтр МТ-9,5 представляет собой односекционный аппарат в стальном корпусе цилиндрической формы с футеровкой из кислотоупорного кирпича и плитки.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ МВТ – МОКРЫЕ, ВЕРТИКАЛЬНЫЕ, ТРУБЧАТЫЕ.** Предназначены для очистки от тумана серной кислоты выхлопных газов цехов мокрого катализа. Устанавливаются после вертикального конденсатора. Крепость осаждаемой кислоты до 95 %. Относятся к классу мокрых однополюсных односекционных трубчатых аппаратов с вертикальным ходом газа. Особенностью является применение сухих изоляторных коробок: в нижнюю часть изоляторных коробок от специально установленного вентилятора нагнетается воздух, который, создавая завесу, препятствует загрязнению изоляторов кислотой. Корпус стальной, футерованный

кислотоупорным кирпичом по подслою полиизобутилена в верхней и нижней части аппарата.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ПМ – ПЛАСТИНЧАТЫЕ, МОКРЫЕ.** Предназначены для очистки выхлопных газов абсорбационных башен сернокислотных заводов от тумана серной кислоты. Улавливается 75–80 %-ная серная кислота с нитрозностью 5–7 %. Относятся к классу мокрых аппаратов пластинчатого типа с вертикальным направлением газового потока. Особенность электрофильтров ПМ-15 заключается в том, что уловленный шлам удаляется с осадительных электродов путем периодической пропарки электрофильтра с доведением температуры до 85–90° и последующей промывкой горячей водой. Представляет собой двухсекционный аппарат в стальном корпусе прямоугольной формы, футерованный кислотоупорным кирпичом по подслою полиизобутилена (в нижней части аппарата) и по кислотоупорной обмазке (в верхней части).

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ПМК – ПЛАСТИНЧАТЫЕ, МОКРЫЕ, КОНТАКТНЫЕ.** Предназначены для очистки печного газа от тумана серной кислоты, окислов мышьяка и селена в производстве контактной серной кислоты. Относятся к классу мокрых однополюсных, односекционных, вертикальных аппаратов пластинчатого типа. Особенность заключается в том, что уловленный шлам удаляется с осадительных электродов путем периодической пропарки электрофильтра с доведением температуры до 85–90° и последующей промывкой горячей водой. Представляет собой вертикальный односекционный аппарат в стальном корпусе, футерованном кислотоупорным кирпичом по подслою из полиизобутилена.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ШМК – ШЕСТИГРАННЫЕ ОСАДИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ, МОКРЫЙ, КОНТАКТНЫЙ.** Предназначены для очистки печного газа от тумана серной кислоты, окислов мышьяка и селена в контактном производстве серной кислоты. Относятся к классу мокрых трубчатых аппаратов со свинцовыми осадительными электродами шестигранного типа. Отличаются формой осадительных электродов и способами удаления селена с осадительных

электродов: путем периодической пропарки аппарата с доведением температуры до 85–90°, с последующей промывкой электрофильтра горячей водой. Представляет собой вертикальный, двухсекционный однополюсный аппарат. Корпус электрофильтра стальной, футерованный кислотоупорным кирпичом по подслою из полиизобутилена.

#### ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ СГ – САЖЕВЫЕ, ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ.

Предназначены для осаждения сажи из сажегазовой смеси, выделяющейся из сажевой печи. Степень улавливания сажи составляет 95–99 %. Устанавливаются обычно после полых скрубберов, в которых сажегазовая смесь охлаждается до 250°. Скрубберы устанавливают непосредственно у выхода из печей сажегазовой смеси. Первоначальной областью применения было производство лишь «ламповой» сажи, при осаждении которой степень улавливания достигала 99 %. Впоследствии нашли применение также и в производстве других видов сажи («форсуночной» и «печной газовой»), но с несколько меньшей степенью улавливания вследствие более высокой дисперсности этих видов сажи по сравнению с «ламповой». Относятся к классу сухих многополюсных пластинчатых аппаратов с горизонтальным ходом газа. Представляют собой горизонтальный трехполюсный односекционный аппарат в стальном корпусе прямоугольной формы.

#### ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ СМС – СОДОВЫЕ, МОКРЫЕ, СО СКРУББЕРОМ.

Предназначены для тонкой очистки от пыли неагрессивных газов. Рекомендуются применять для очистки газов, поступающих на карбонизацию в содовом производстве, но могут быть использованы и в других случаях. Обычно устанавливаются группами перед компрессорами, вне здания. Относятся к классу мокрых комбинированных пылеуловителей и состоят из скруббера с хордовой насадкой для охлаждения, увлажнения и грубой очистки газа и мокрого электрофильтра, смонтированных в общем корпусе. Удаление с электродов уловленной пыли осуществляется путем периодической промывки водой. Представляют собой вертикальные, односекционные аппараты со стальным цилиндрическим корпусом.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ДМ – ДОМЕННЫЕ, МОКРЫЕ. Предназначены для тонкой очистки от пыли горючих колошниковых газов, получающихся при выплавке в доменных печах литейного или передельного чугуна. Устанавливаются обычно после мокрых скрубберов группами в 2–3 аппарата. Относятся к классу мокрых электрофильтров трубчатого типа, с постоянной пленкой воды на поверхности осадительных электродов. Особым достоинством такого устройства является возможность непрерывно удалять осаждаемую пыль; этим предотвращается быстрое образование наростов на стенках осадительных труб и значительно удлиняются сроки межремонтного пробега аппарата. Электрофильтр ДМ-316 снабжен также устройством для периодической промывки при помощи системы установленных внутри фильтра брызгал, что позволяет поддерживать чистоту коронирующих проводов фильтра, обеспечивая высокую эффективность его работы. Представляет собой вертикальный двухсекционный трубчатый аппарат в стальном корпусе цилиндрической формы.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ С – СМОЛЯНЫЕ. Предназначены для очистки от смолы генераторных газов, от смолы и масел – газов коксохимического производства. Устанавливаются на газогенераторных станциях – после стояков и установок для грубой механической очистки газов и перед сероочисткой; на коксохимических заводах – после смоляных холодильников – до или после эксгаустеров (при очистке от смолы); после бензольных скрубберов (при очистке от масел). Рекомендуется применять для очистки газов, содержащих смолу или масло с примесью пыли, в том случае, если в газе отношение смолы к пыли составляет не менее 3:1, при котором масса легко стекает с электродов. Особенности являются: непрерывное удаление уловленного продукта через гидрозатворы, что упрощает обслуживание аппарата; равномерное распределение газа по сечению электрофильтров, обеспечиваемое специальными газораспределительными устройствами; автоматическое регулирование температуры изоляторных коробок – высоковольтных вводов. Представляют собой вертикальные однопольные односекционные аппараты в



стальных корпусах цилиндрической формы.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ПГ – ПЫЛЕВЫЕ, ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ.** Предназначены для тонкой очистки от пыли и смолы генераторных газов, получающихся при газификации кокса и антрацита. Их устанавливают обычно группами после мокрых скрубберов, в которых производится грубая очистка газа промывкой. Рекомендуется применять для очистки газов, используемых: для синтеза аммиака и спиртов; в газовых турбинах; для обогрева коксовых печей; для внутризаводского газоснабжения; в других случаях, когда требуется иметь генераторный газ с содержанием пыли не более  $5 \text{ мг/нм}^3$ , а отношение пыли к смоле превышает 1:3. Относятся к классу мокрых электрофильтров трубчатого типа. Особенности являются: способ удаления уловленной пыли – смоляной смеси – путем периодической промывки электродов водой через брызгала, установленные в верхней части аппарата; равномерное распределение газа по сечению электрофильтров, обеспечиваемое специальными газораспределительными устройствами; автоматическое регулирование температуры изоляторных коробок – высоковольтных вводов.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ Ц – ЦЕМЕНТНЫЕ.** Предназначены для очистки: аспирационного воздуха цементных мельниц; отходящих газов барабанных сушилок при сушке сырых материалов. Могут быть применены также в производстве апатита, в цветной металлургии и других отраслях промышленности. Относятся к классу сухих электрофильтров с горизонтальным направлением газового потока. Отличаются высокой эффективностью, надежностью в эксплуатации и небольшим гидравлическим сопротивлением. Обслуживание электрофильтров производится при помощи дистанционно управляемых приводов механизмов для автоматического встряхивания осадительных и коронирующих электродов и устройств для включения и выключения тока.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ УВП – УГОЛЬНЫЕ, ВЕРТИКАЛЬНЫЕ, ПЛАСТИНЧАТЫЕ.** Предназначены для сухой очистки от пыли паро-газовоздушной смеси, выделяющейся в атмосферу после паровой и газовой сушки

дробленого угля и из барабанных мельниц. Применяются на угольно-брикетных фабриках, в углеразмольных и углесушильных установках. Относятся к классу сухих пластинчатых аппаратов. Открытый выход в атмосферу вверху аппарата обеспечивает минимальное сопротивление движению газов, что создает безопасные условия работы в случае вспышек и хлопков взвешенной в газе тонкой угольной пыли, на наклонных стенках верхней части камеры электрофильтра расположены взрывные клапаны. Представляют собой вертикальные однопольные односекционные пластинчатые аппараты в стальных или железобетонных корпусах прямоугольного сечения.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ДВП – ДЫМОВЫЕ, ВЕРТИКАЛЬНЫЕ, ПЛАСТИНЧАТЫЕ.** Применяются для очистки дымовых газов котельных, сжигающих твердое топливо (бурые, каменные угли) – в пылевидном состоянии, и устанавливаются после экономайзеров и воздухоподогревателей, перед дымососами. Рекомендуется применять для очистки от золы дымовых газов в случаях, когда требуется улавливать 90 % летучей золы и когда ограничена площадь, необходимая для размещения газоочистных аппаратов. Относятся к классу сухих электрофильтров с вертикальным направлением газового потока и представляют собой вертикальные однопольные аппараты, заключенные в стальной корпус прямоугольной формы. В зависимости от производительности аппараты состоят из 2, 3 или 4 независимо работающих друг от друга секций.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ДВП-БЦ – ДЫМОВЫЕ, ВЕРТИКАЛЬНЫЕ, ПЛАСТИНЧАТЫЕ, С БАТАРЕЙНЫМИ ЦИКЛОНАМИ.** Предназначены для очистки от золы дымовых газов котельных, сжигающих твердое топливо (бурые, каменные угли) в пылевидном состоянии, и устанавливаются после экономайзеров и воздухоподогревателей, перед дымососами. Рекомендуется применять для очистки от золы дымовых газов в случаях, когда требуется улавливать до 97–99 % летучей золы, и в случаях, когда ограничена площадь, необходимая для размещения газоочистных аппаратов. Относятся к классу сухих комбинированных золоуловителей, это сочетание батарейного циклона, работающего в качестве 1-й

ступени золоулавливания, и вертикального электрофильтра ДВП – 2-й ступени золоулавливания, скомпонованных в общем корпусе. Представляют собой стальные прямоугольные камеры, перегороденные вертикальной глухой несущей разделительной стенкой на две самостоятельные секции. В нижней части корпуса расположен батарейный циклон (1-я ступень очистки), над ним расположена электрическая зона очистки (2-я ступень очистки).

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ДВП-2 – ДЫМОВЫЕ, ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ, ПЛАСТИНЧАТЫЕ, ДВУХПОЛЬНЫЕ. Предназначены для очистки от золы дымовых газов котельных, сжигающих твердое топливо (бурые, каменные угли) в пылевидном состоянии, и устанавливаются после экономайзеров и воздухонагревателей, перед дымососами. Рекомендуются для очистки от золы дымовых газов в случаях, когда требуется улавливать до 92–94 % летучей золы. Относятся к классу сухих электрофильтров с горизонтальным направлением газового потока и отличаются небольшим гидравлическим сопротивлением. Особенностью является особая система удаления осевшей на осадительных электродах золы из газового потока через карманы, устроенные в электродах. Обслуживаются при помощи дистанционно управляемых приводов для автоматического встряхивания осадительных и коронирующих электродов и устройств, включающих высокое напряжение».

### Приложение 3

Из каталога «Газоочистное оборудование» МНПО «Газоочистка», 1988 г.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА ЭГА.** Предназначены для очистки от пыли неагрессивных невзрывоопасных технологических газов и аспирационного воздуха температурой до 330° С, разрежением до 15 кПа (1500 кгс/м<sup>2</sup>).

Применяются на предприятиях: энергетической промышленности, черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов и других отраслей промышленности.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА ЭГД.** Предназначены для очистки от золы отходящих дымовых газов температурой до 160° С, разрежением до 5 кПа (500 кгс/м<sup>2</sup>) котельных агрегатов большой мощности на тепловых электростанциях в условиях ограниченных размеров котельных ячеек.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА ЭГТ.** предназначены для сухой очистки газов от пыли неагрессивных невзрывоопасных газов температурой не более 425° С. Применяются на предприятиях химической промышленности, черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА ЭВ.** Предназначены для очистки от пыли неагрессивных газов и аспирационного воздуха температурой не более 250° С. Применяются на предприятиях черной и цветной металлургии, энергетической промышленности и других отраслей промышленности.

**ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ТИПА ЭВВ.** Предназначены для улавливания угольной пыли из газов и зозовоздушных смесей в процессах сушки твердого топлива, а также из аспирационного воздуха шаровых мельниц в различных отраслях промышленности.

## Приложение 4

Из «Каталога пылеулавливающего оборудования» холдинговой группы «Кондор Эко – СФ НИИОГАЗ», 2006 г.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ЭГАВ – горизонтальные, с верхним размещением механизмов встряхивания коронирующих электродов. Предназначены для очистки неагрессивных невзрывоопасных технологических газов и аспирационного воздуха от пыли. Применимы в черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов и других отраслях. Новое конструктивное решение узлов встряхивания и их верхнее размещение, применение коронирующих элементов с пониженным напряжением зажигания коронного разряда и ряда других усовершенствований позволили улучшить технические характеристики аппаратов типа ЭГАВ по сравнению с аппаратами, разработанными до 1985 г. площадь осаждения (в объеме заданного корпуса) увеличена на 35–50 %; время пребывания в активной зоне увеличено на 35–50 %; удельная металлоемкость снижена на 6–20 %; повышена степень очистки газов до уровня, обеспечивающего современные нормы выбросов. Компоновка и размеры внутреннего механического оборудования ЭГАВ позволяют производить реконструкцию аппаратов типа ЭГБМ, ЭГА, УГ и др., устанавливая это оборудование в существующие корпуса. В зависимости от условий подвода и отвода газов, электрофильтры комплектуются соответствующими диффузорами, конфузорами и газораспределительными устройствами, расположенными внутри диффузора. Корпуса аппаратов изготавливают в одно- и двухсекционном исполнении.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ЭГВ – одно- или двухсекционные аппараты прямоугольной формы с наружной теплоизоляцией; состоят из 2-8

электрических полей, установленных последовательно по ходу газа. Шаг по осям одноименных электродов (ширина единичного газового прохода) 460 мм. Электрофильтры типа ЭГВ предназначены для очистки от пыли невзрывоопасных технологических газов и аспирационного воздуха температурой до 330° С, разряжением до 15 кПа (1500 кгс/м<sup>2</sup>). Применяются на предприятиях энергетической промышленности, черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов и других отраслей народного хозяйства.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ЭГСЭ – горизонтальные, сухие, с верхним расположением механизмов встряхивания электродных систем, предлагаются для тепловых электрических станций. Защищены рядом патентов фирмы «Кондор-Эко». Имеют значительные преимущества перед серийно выпускаемыми отечественными аппаратами, при одних и тех же условиях занимают на 40 % меньший объем и на 20 % снижена их металлоемкость. Электрофильтры имеют новую процессорную систему управления встряхиванием электродов с диапазоном регулирования от 0,2 до 10 оборотов в минуту с защитой от заклинивания молотков встряхивания. В зависимости от условий подвода и отвода газов комплектуются соответствующими диффузорами, конфузорами и газораспределительными устройствами. Для управления питанием комплектуются системами регулирования, совместимыми с АСУТП энергоблока. Гарантированные выбросы твердых частиц ниже 50 мг/м<sup>3</sup>.

КОМБИНИРОВАННЫЕ АППАРАТЫ ЭФ-РФ – электрофильтр плюс рукавный фильтр. Предназначены для очистки от пыли невзрывоопасных технологических газов и аспирационного воздуха с температурой до 170° С, разрежением до 15 кПа (1500 кгс/м<sup>2</sup>). Применяются на предприятиях энергетической промышленности, черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов и в других отраслях. Комбинированные фильтры разработаны и запатентованы фирмой «Кондор-Эко» и предназначены для очистки газа до остаточной запыленности до

20 мг/нм<sup>3</sup>. Представляют собой последовательное включение горизонтального электрофилтра и рукавного филтра в одном или в различных корпусах и могут использоваться для реконструкции действующих и строительства новых установок газоочистки.