

7р 80 н.

1950

C 119
107
1950

Б. Л. ШНЕЕРСОН

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ

МЕТАЛЛУРГИЗДАТ
1950

Лауреат Сталинской премии
Б. Л. ШНЕЕРСОН

С 119
107

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Москва 1950

АННОТАЦИЯ

В книге освещена теория и практика улавливания пыли из технологических газов и вентиляционного воздуха электрофильтрами. Дано описание конструкций применяемой электрической аппаратуры и методов нахождения повреждений и их исправлений. Приведена инструкция по эксплуатации электрофильтров.

Книга предназначена в качестве практического руководства для инженерно-технических работников металлургической, машиностроительной, химической и энергетической отраслей промышленности.



50-48881

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	5
Введение	7
Физические основы электрического пылеулавливания	10
Электрическое поле, напряжение поля, потенциал	10
Ионизация, корона. Влияние формы электродов	16
Зарядка взвешенных в газе частиц. Движение заряженных частиц	28
Теоретическая степень улавливания пыли в электрофильтре	33
Реальный электрофильтр. Механизм осаждения. Обратная корона. Запирание короны. Влияние влажности. Сепарация в электрофильтре	37
Электрическая аппаратура электрофильтра	45
Агрегат ТУ-200	45
Агрегат АФ-18	61
Выпрямление тока кенотронами	65
Однополупериодное выпрямление	66
Выпрямление трехфазного тока	68
Электромашинное отделение	72
Электрофильтры (осадительные камеры)	76
Общие положения	76
Подготовка газов	81
Степень улавливания	87
Электрическая очистка газов на предприятиях цветной металлургии и химии	90
Характеристики пыли и газов	90
Характеристика пыле-газовых систем	91
Электрофильтры, применяемые для улавливания пыли и тумана в цветной металлургии и химии	97
Электрофильтр типа ХК45	98
Аппараты ГК30	104
Аппарат СС6	112
Аппараты ХР	115
Электрофильтры для улавливания туманов и брызг	118
Электрофильтры для улавливания серной кислоты из горячих газов (тип К)	122
Очистка доменного газа от пыли	125
Общие положения и схемы очистки	125
Электрическая сухая очистка газа	128
Электрическая мокрая очистка газа	133

Улавливание золы из дымовых газов котельных	139
Общие положения	139
Аппараты типа ДВМ треста газоочистка	143
Аппарат типа ДВП	147
Электрофильтры для улавливания смолы из генераторного и коксового газа	154
Электрофильтры для улавливания пыли из газов сушилок	156
Тонкая очистка воздуха от пыли	161
Обслуживание электрофильтров	165
А. Правила обслуживания подстанций для электрофильтров	165
Б. Правила обслуживания установок электрофильтров	179
В. Правила техники безопасности при обслуживании электрофильтров	188
Отчетность по установке электрофильтров	191
Литература	192

ПРЕДИСЛОВИЕ

Мощные предприятия советской индустрии выбрасывают в воздух миллионы кубических метров отходящих газов. Газы эти уносят с собой огромное количество часто весьма ценной пыли. Существуют такие процессы, при которых вся продукция полностью уносится газами. К ним относятся: сушка материала во взвешенном состоянии, восстановительная плавка металлов на возгон на предприятиях цветной металлургии и т. д.

Понятно, что нормальная работа предприятия требует организации полного улавливания всей ценной пыли.

В некоторых случаях, например при производстве серной кислоты, в доменном производстве и т. д., основную ценность представляет газ. Использование же его невозможно без предварительной тщательной очистки от пыли.

Улавливание пыли и туманов из отходящих газов необходимо также из санитарно-гигиенических соображений, поскольку выбрасываемая в больших количествах пыль отравляет воздух в окрестностях предприятий, вызывает травматизм глаз и мешает прохождению солнечных лучей.

Улавливание мелкой пыли вызывает значительные трудности. Одним из наиболее эффективных методов пылеулавливания, не могущим иногда быть замененным другим, является электрический.

Весьма сложные физические процессы электрической очистки газов получили наиболее полную теоретическую разработку в Советском Союзе. Неудивительно, что, например, мокрая электрическая очистка доменного газа, сильно удешевившая и упростившая процесс и давшая возможность получать газ любой степени чистоты, была разработана и широко внедрена впервые на наших металлургических заводах.

Только несколькими годами позднее на основании советского опыта она была введена в практику заводов США, вытеснив дезинтеграторную очистку.

Большинство наших предприятий снабжено мощными, построенными по последнему слову техники пылеуловительными установками. Однако не на всех предприятиях эти устройства работают достаточно удовлетворительно. Наряду с предприятиями, где степень улавливания пыли лежит в пределах 97—99%, имеются предприятия, где пылеуловители работают крайне неудовлетворительно.

Одной из основных причин плохой работы пылеуловительных устройств является отсутствие на предприятиях достаточного количества соответственно подготовленных кадров. Усугубляется это еще недостаточным количеством литературы, посвященной вопросам пылеулавливания.

Электрофильтр не является особо сложным в эксплуатации пылеуловительным аппаратом. Однако процессы осаждения в нем пыли весьма сложны и требуют от обслуживающего персонала специфических знаний и ясного понимания явлений, с которыми можно встретиться на практике.

В этой книге почти совершенно не освещаются вопросы, связанные с изучением общих свойств пылей, законов их движения в газовой среде, методика определения дисперсности пыли и запыленности газовых потоков.

Также почти не затрагиваются вопросы, связанные с другими, не электрическими, методами улавливания пыли.

В книге в доступной для инженера форме изложена теория электрической очистки газов от пыли и туманов, даны методы электрической очистки газов в различных технологических процессах во взаимосвязи с характеристикой пыли, а также описаны применяемые аппараты.

В заключение дан инструктивный материал по обслуживанию электрофильтров. Эта глава написана инженерами Н. Егоровым, М. Самохиным и И. Востоковым под редакцией автора.

ВВЕДЕНИЕ

Электрическое обеспыливание газов обладает во многих случаях крупными преимуществами по сравнению с механическим, а иногда является единственно возможным. Применение циклонных аппаратов ограничено их относительно невысокой степенью улавливания мелкой пыли, а использование матерчатых фильтров ограничивается температурой газов (не выше 70—80° и не ниже точки росы газа) и их химической активностью. Мокрая же очистка (в ряде случаев она вообще неприемима) требует значительных расходов энергии.

При электрической очистке газов можно получить любую желаемую степень улавливания, часто недостижимую при другом методе. Целесообразность такой полной очистки определяется только экономическими соображениями. Расход энергии на очистку обычно весьма невелик вследствие малого потребления тока электрофильтром и ничтожного его гидравлического сопротивления. Полное улавливание устойчивых туманов (например тумана серной кислоты) возможно только в электрофильтрах. Электрофильтры могут быть легко изготовлены из кислотоупорных материалов. Следовательно, они незаменимы при очистке агрессивных газов.

В ряде случаев в электрофильтрах можно очищать газы при высоких температурах.

Начальные затраты на установку электрофильтров иногда могут быть выше, чем на установку механических пылеуловителей, и надежная их работа возможна при достаточном постоянстве основного технологического процесса, а обслуживание электрофильтров требует более квалифицированных кадров. Вместе с тем указанные выше преимущества вызвали быстрое расширение областей применения этого метода улавливания пыли и туманов.

Однако электрофильтр не является безусловно универсальным аппаратом. Чрезмерное увлечение им в 30-х годах XX века при недостаточной изученности механизма пылеулавливания приводило к тому, что электрофильтры устанавливали даже тогда, когда гораздо целесообразнее было устанавливать матерчатые фильтры (например в некоторых случаях улавливания окиси цинка), либо устанавливали мало подходящие аппараты.

Возможность воздействия электрического тока на движение пылинок, взвешенных в газе, была известна еще в начале прошлого столетия. Неудачная попытка промышленного осуществления электрического пылеулавливания была совершена в 90-х годах XIX века на одном свинцовоплавильном заводе в Англии при участии профессора физики Лоджа.

Однако электрическое пылеулавливание было практически осуществлено только тогда, когда с общим развитием техники появилась возможность просто и надежно получать выпрямленный ток высокого напряжения и когда масштабы выброса запыленных газов настолько увеличились, что по экономическим и санитарным соображениям стало необходимо улавливать уносимые ими твердые и жидкие частицы.

Первый трубчатый электрофильтр в СССР был построен в 1925 г. в Ленинграде на заводе «Красный выборжец» по проекту проф. Ю. В. Баймакова. Почти одновременно автором были поставлены исследовательские работы лабораторного масштаба, и в 1926 г. был изготовлен пластинчатый электрофильтр на заводе «Победа рабочих».

После этого в связи с быстрой индустриализацией страны широко развернулась установка электрофильтров в ряде отраслей промышленности. Естественно, что этому соответствовала постановка исследовательских работ, благодаря которым сложные явления, происходящие в электрофильтре, получили объяснение, что позволило подойти сознательно к конструированию аппаратов.

Всякий электрофильтр состоит в основном из двух частей: из осадительной камеры, через которую пропускается подлежащий очистке газ, и из высоковольтной аппаратуры, преобразующей линейное напряжение переменного тока (220—380—500 в) в высокое напряжение (до 90000 в) постоянного тока, подаваемого к камере электрофильтра.

В камерах подвешены либо плоские параллельные металлические пластины, между которыми натянута тонкая проволока, либо трубы (диаметром 150—300 мм), по оси которых натянута также тонкая проволока.

К проволокам и пластинам (либо к проволокам и трубам) подводится постоянный ток высокого напряжения. Вокруг проволоки, присоединенных к отрицательному полюсу (анод), образуется область ионизированного газа, заполненная отрицательными электронами и газовыми положительными и отрицательными ионами. Так как провод заряжен отрицательно, то положительные ионы к нему притягиваются, а отрицательные отталкиваются к стенкам труб и пластин и заполняют весь объем электрофильтра. По дороге они оседают на взвешенных

в газе пылинках и увлекают их с собой. Ионизированный слой газа светится и издает слабый шипящий звук. Этот слой называется «областью короны», или просто «коронной». Соответственно провод, вокруг которого он образуется, называется коронирующим электродом, а пластины и трубы, на которых оседает основная масса пыли, — осадительными электродами.

Время от времени осевшую пыль отряхивают в бункер.

Явления, происходящие в электрофильтре, весьма сложны и разнообразны и, накладываясь одно на другое, настолько искажают идеальные условия, что до сих пор произвести общий расчет электрофильтра невозможно. Однако без понимания механизма каждого из этих явлений и их влияния на степень очистки для различных газов и пылей нельзя грамотно обслуживать электрофильтры и получать высокие степени улавливания. Это особенно важно потому, что пока еще нет прибора, непрерывно указывающего степень улавливания в любом пылеуловителе, и эффективность его работы в данный момент можно определять только по косвенным показателям. Следует еще учесть, что изменения, происходящие в основном технологическом процессе (изменения в количестве газа, температуре, характере запыленности, влажности), могут влиять на эффективность пылеулавливания в электрофильтре, если не будут приняты соответствующие меры. Поэтому неравномерность при ведении основного процесса усложняет обслуживание электрофильтра и требует особого сознательного отношения к нему.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ

Электрическое поле, напряжение поля, потенциал

Электрический заряд Q_0 образует вокруг себя электрическое поле. Существование поля определяется тем, что всякий внесенный в него другой электрический заряд e_0 начнет либо притягиваться к первому заряду (если заряды разноименны), либо отталкиваться (если они одноименны). Сила, с которой заряд Q_0 действует на заряд e_0 , по закону Кулона обратно пропорциональна расстоянию между ними и зависит от свойств среды:

$$F = \frac{Q_0 e_0}{\epsilon r^2}, \quad (1)$$

где:

ϵ — диэлектрическая постоянная среды, в которой помещены заряды (для газов ϵ практически равняется единице и в дальнейшем вводиться не будет).

Если e_0 положителен и равняется единице, то силу, с которой на него действует в какой-либо точке поля заряд Q_0 , называем напряженностью поля в данной точке:

$$E = \frac{Q_0}{r^2} \quad (2)$$

и

$$F = E e_0. \quad (3)$$

Если сила выражена в динах, то напряженность поля E измеряется в абсолютных единицах (надо отличать напряженность или напряжение поля, выражаемое в в/см, от электрического напряжения, выражаемого в вольтах. Последнее иногда будем называть потенциалом или разностью потенциалов).

Положительные заряды, внесенные в поле, будут в нем двигаться по некоторым кривым, направление которых совпадает с направлением силы (или иначе напряженности поля) в данной точке. Эти воображаемые пути движения единицы положительного заряда называют «силовыми линиями».

Так как одноименные заряды отталкиваются, то эти линии будут выходить из положительно заряженного электрода и входить в отрицательно заряженный, или, иначе говоря, всякая силовая линия начинается на положительном заряде и кончается на отрицательном.

Силовыми линиями очень удобно пользоваться для графического изображения напряженности поля. Стрелки на них указывают направление силы, действующей на положительный заряд (или направление напряженности, что все равно), а если условиться рисовать столько линий, проходящих через 1 см^2 перпендикулярной к ним поверхности, сколько единиц в величине значения напряженности, то, сосчитав число линий, можно узнать величину напряжения в данной точке.

На рис. 1 и 2 изображены поля положительного и отрицательного зарядов. Противоположные заряды отнесены бесконечно далеко, поэтому можно считать, что

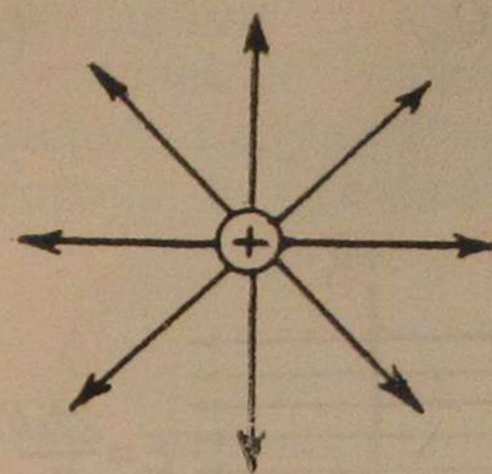


Рис. 1. Поле положительного заряда

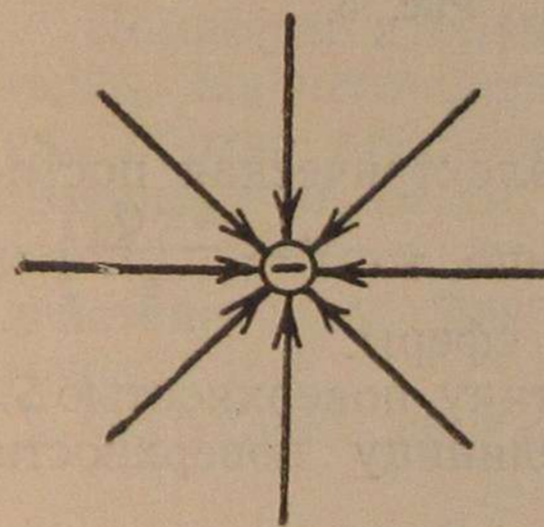


Рис. 2. Поле отрицательного заряда

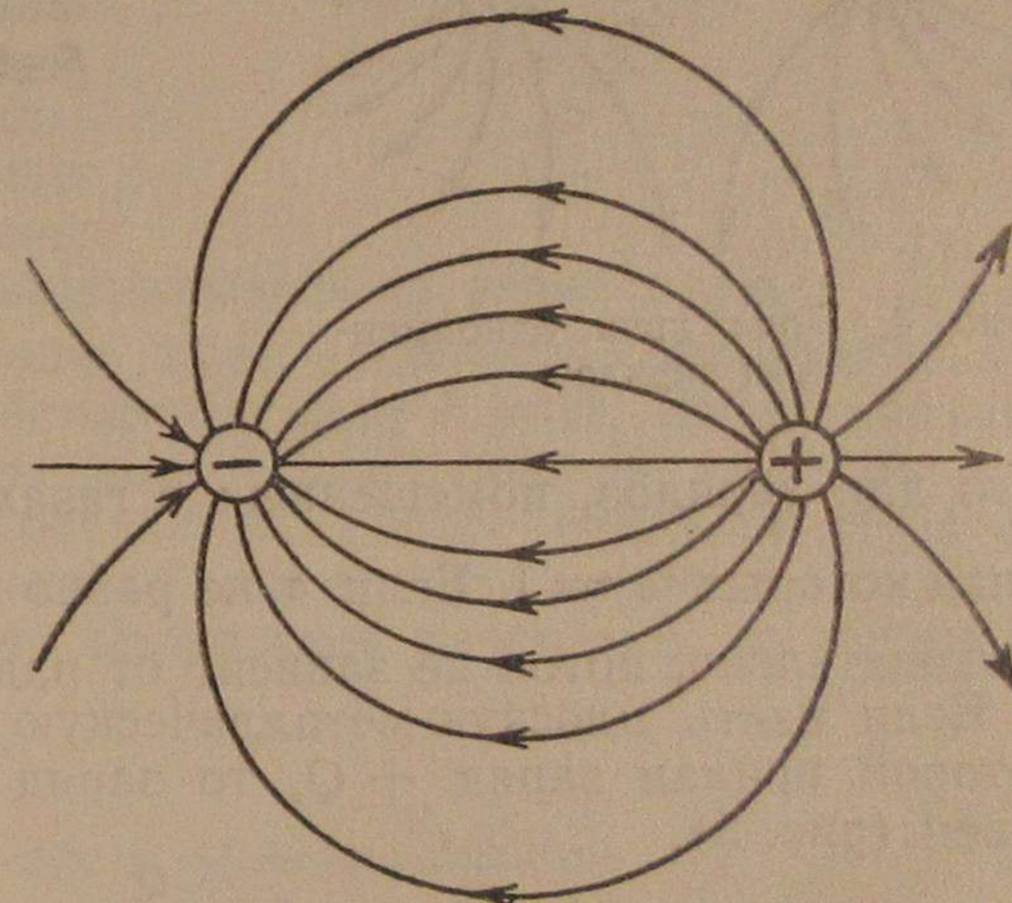


Рис. 3. Поле двух разноименных зарядов

линии выходят радиально. Чем ближе к зарядам, тем гуще силовые линии и тем больше величина напряженности поля.

На рис. 3 и 4 изображены поля двух одноименных и разноименных зарядов. Надо помнить, что силовые линии выходят из заряда во все стороны, а не только в плоскости чертежа.

Электрические поля, изображенные на рис. 1—4, называются неоднородными полями, так как в разных точках напряженность поля неодинакова (неодинакова густота силовых линий).

Общее число силовых линий, исходящих из заряда, называется силовым потоком. Величина силового потока может быть определена следующим образом.

Вокруг заряда Q_0 проводят шаровую поверхность радиусом r . Напряженность поля на поверхности сферы (или иначе, количество силовых линий, проходящих через 1 см^2 поверхности сферы) равна, согласно формуле (2):

$$E = \frac{Q_0}{r^2}.$$

Общее же число силовых линий, проходящих через сферу, поверхность которой равна $4\pi r^2$, составляет:

$$N = 4\pi r^2 E = \frac{4\pi r^2 Q_0}{r^2} = 4\pi Q_0 \quad (4)$$

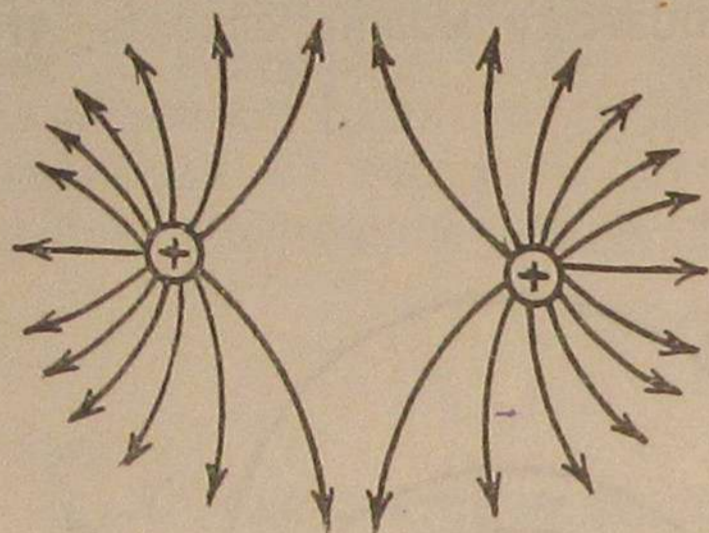


Рис. 4. Поле двух одноименных зарядов

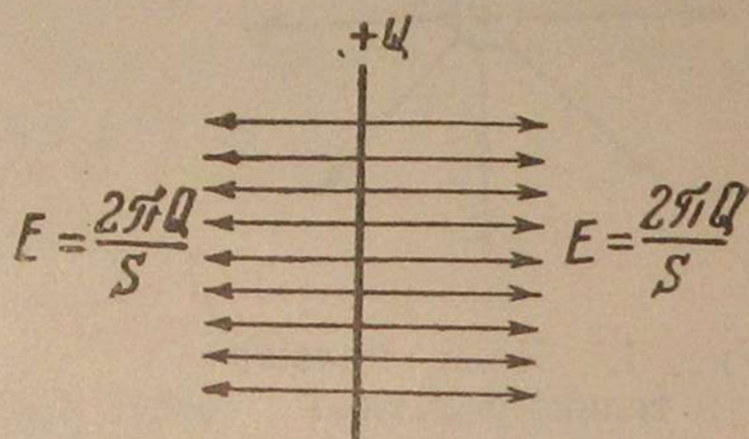


Рис. 5.

(это для зарядов, помещенных в газах, диэлектрическая постоянная которых $\epsilon = 1$. Если ϵ не равно единице, то $N = \frac{4\pi Q_0}{\epsilon}$). Следовательно, поток не зависит от радиуса сферы.

Если взять плоскую металлическую пластину, поверхностью S , которой придан заряд $+Q$, то заряд на единицу поверхности равен (рис. 5),

$$q = \frac{Q}{S}.$$

Силовые линии всегда направлены перпендикулярно к поверхности проводника и в данном случае по условиям симметрии будут параллельны друг другу (при бесконечном размере пластины).

Таким образом, из каждого квадратного сантиметра пластины в каждую сторону выйдет по

$$E = \frac{4\pi q}{2} = 2\pi q = \frac{2\pi Q}{S} \quad (5)$$

силовых линий. Напряженность поля будет одинаковой в любой точке поля, поскольку E в уравнении (5) не зависит от расстояния, и поле будет однородным. Если две пластины параллельны друг другу и заряжены первая зарядом $+Q$, а вторая $-Q$, то

около каждой образуется постоянное однородное поле, абсолютное значение напряжения которого $E = \frac{2\pi Q}{S}$, но знаки противоположны.

Так как напряжение поля — это сила, а силы можно складывать, то напряжение поля в любой точке пространства будет складываться из напряжений, созданных зарядом каждой пластины. На рис. 6 видно, что в области между пластинами напряжения, создаваемые каждой пластиной, направлены в одну сторону и складываются:

$$E = \frac{4\pi Q}{S} \quad (6)$$

В области же вне пластин напряжения полей, создаваемых каждой пластиной, равны по абсолютной величине и направлены в разные стороны. Результирующее поле равно нулю.

Поместим в равномерном поле единичный положительный заряд. На него будет действовать сила $F = E$. Передвинем заряд против действия силы поля вдоль силовой линии на расстояние x от точки 1 к точке 2. Для этого придется затратить работу, равную произведению силы на путь, пройденный вдоль действия силы. Эта работа называется разностью потенциалов точек 1 и 2.

Обозначим ее $V_{1,2}$.

$$V_{1,2} = -Ex \text{ и } E = -\frac{V_{1,2}}{x} \quad (7)$$

Знак минус указывает на то, что работа была затрачена. Очевидно, что работа, затраченная на передвижение заряда из точки 1 в точку 2, не зависит от пути, который заряд пройдет, так как всякое движение, направленное под углом к силовой линии, может быть разложено на движение, перпендикулярное к силовой линии, не требующее затраты работы (поскольку сила и путь взаимно перпендикулярны), и на движение вдоль силовой линии.

Абсолютный потенциал точек 1 и 2 определяется работой, которую нужно затратить, чтобы привести единицу положительного заряда в эти точки из бесконечно далекой точки. Измеряется разность потенциалов в вольтах (одна абсолютная единица разности потенциалов равна 300 в).

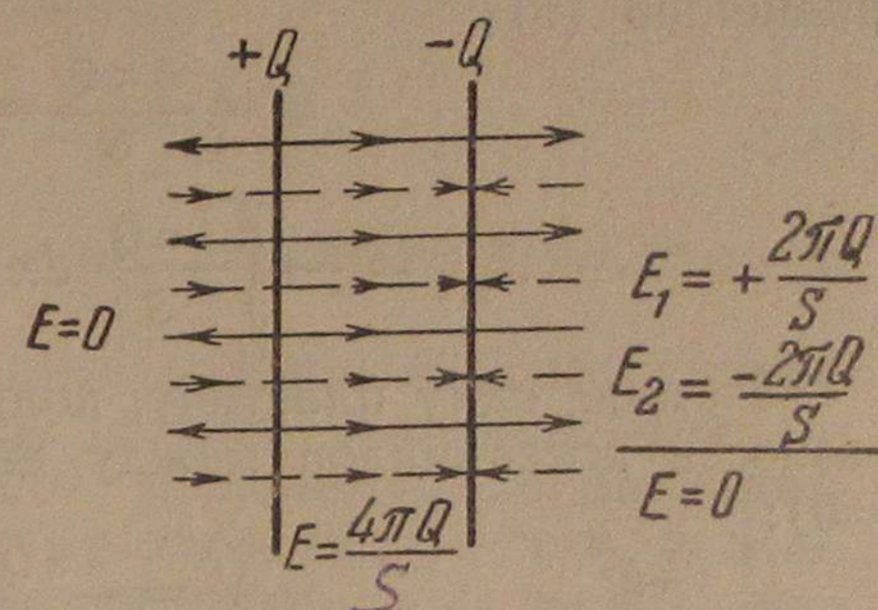


Рис. 6.

В однородном поле напряжение во всех точках одинаково. В неоднородном же поле мы можем считать напряжение постоянным в точках, бесконечно близких друг к другу, т. е. в дифференциальной форме:

$$E = -\frac{dV_{1,2}}{dx} \quad (8)$$

Для поля, образованного параллельными пластинами [по уравнению (6)]:

$$E = \frac{4\pi Q}{S} = -\frac{dV_{1,2}}{dx},$$

$$V_{1,2} = -\int_{x_1}^{x_2} \frac{4\pi Q}{S} dx = \frac{4\pi Q}{S} (x_1 - x_2).$$

Заземляя одну пластину, получим выражение, определяющее разность потенциалов между двумя пластинами ($x_1 = d$; $x_2 = 0$):

$$V = \frac{4\pi Q}{S} \cdot d = Ed,$$

а напряжение поля в любой точке между пластинами:

$$E = \frac{V}{d} \quad (9)$$

Если через точки 1 и 2 (рис. 6) провести плоскости, параллельные заряженным поверхностям, то все точки каждой плоскости будут иметь одинаковые потенциалы. Эти поверхности называются эквипотенциальными. Ясно, что работа, затрачиваемая на перенос заряда от плоскости 1 к плоскости 2, не зависит от путей, по которым эти заряды движутся, так как работа затрачивается только при передвижении по силовым линиям.

Рассмотрим поле, образованное проводящим цилиндром радиусом r и длиной l , которому сообщен заряд Q (рис. 7).

От наружной поверхности цилиндра будут радиально исходить силовые линии, образуя электрическое поле. Внутри проводника, независимо от того, сплошной он или полый, силовых линий не может быть, и напряжение поля внутри проводника равно нулю, так как заряды оттолкнутся друг от друга и передвинутся на поверхность проводника.

Очевидно, что для цилиндрического провода эквипотенциальные поверхности будут коаксиальны с проводом. Опи-

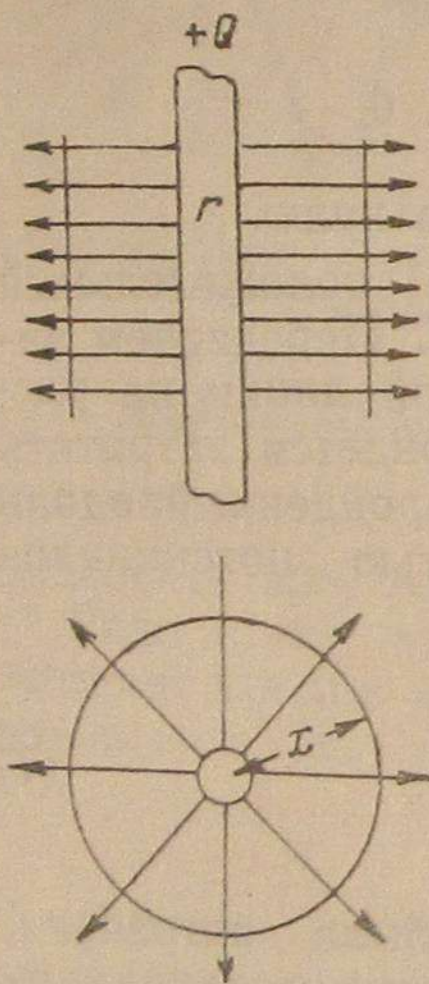


Рис. 7.

шем вокруг проводника цилиндрическую поверхность радиусом x и длиной dl ; величина поверхности равна $2\pi xdl$. Полный силовой поток через эту поверхность равен: $E2\pi xdl$.

Заряд на длине dl равен $\frac{Q}{l} dl$. Обозначим его через Q_0 . По уравнению (4) общий поток, созданный зарядом Q_0 , равен $4\pi Q_0$, и следовательно

$$E2\pi xdl = 4\pi Q_0.$$

Отсюда:

$$E = \frac{4\pi Qdl}{l2\pi xdl} = \frac{2Q}{lx} \quad (10)$$

т. е. напряженность поля обратно пропорциональна расстоянию от провода.

Если концентрическая поверхность радиуса R будет проводником и тоже заряжена, то она не изменит значения поля, создаваемого проводом, так как заряды, расположенные на цилиндре, не создают поля внутри него (независимо от того, сплошной он или полый), и поэтому напряженность поля между проводом и цилиндром на расстоянии x от провода равна:

$$E_x = -\frac{dV}{dx} = \frac{2Q}{lx} \quad (11)$$

$$V = -\int \frac{2Q}{lx} dx = -\frac{2Q}{l} \int \frac{dx}{x} = -\frac{2Q}{l} \ln x + C;$$

на поверхности провода:

$$V' = -\frac{2Q}{l} \ln r + C;$$

на поверхности цилиндра:

$$V'' = -\frac{2Q}{l} \ln R + C.$$

Разность потенциалов между проводом и цилиндром:

$$V = V' - V'' = -\frac{2Q}{l} \ln r + \frac{2Q}{l} \ln R = \frac{2Q}{l} \ln \frac{R}{r} \quad (12)$$

Вставим сюда Q из уравнения (11):

$$E_x = \frac{2Vl}{lx2\ln\frac{R}{r}} = \frac{V}{x\ln\frac{R}{r}} \quad (13)$$

Если V выражается в вольтах, то $E_x = dV/dx$ получается в вольтах на сантиметр.

В данном случае поле неравномерно и напряжение поля будет максимально при минимальном $x = r$ (рис. 8). Обозначая

напряженность у поверхности провода через E_0 , получим:

$$E_x = E_0 \frac{r}{x} \quad (14)$$

Поле, образуемое параллельными пластинами и расположенными между ними проводами, показано на рис. 9. Оно также неоднородно. Максимальное значение его на поверхности провода равно:

$$E_{\text{макс}} = \frac{V}{r \ln \frac{S}{r}}$$

где S — расстояние между проводом и плоскостью. Формула эта верна при S , значительно большем r .

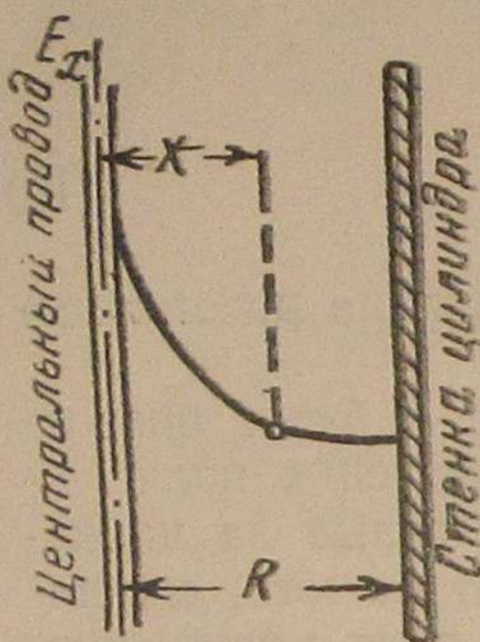


Рис. 8.

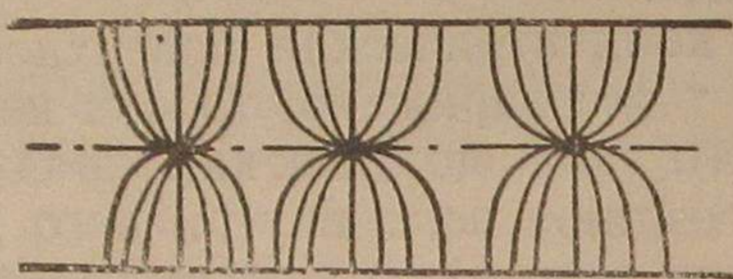


Рис. 9.

Ионизация, корона. Влияние формы электродов

Подведем к двум параллельным металлическим пластинкам некоторую разность потенциалов, включив в подводящие провода гальванометр (рис. 10 и 11). При достаточной его чувствительности мы отметим прохождение тока, несмотря на то, что пластинки разделены слоем газа. Объясняется это следующим обстоятельством. Всякая молекула состоит из положительно заряженного ядра и отрицательных электронов. Сумма зарядов орбитальных электронов равна заряду ядра, и молекула нейтральна. Под влиянием космического излучения рентгеновых и ультрафиолетовых лучей, так называемых «ионизаторов», у части молекул могут быть оторваны один или несколько электронов. В этом случае заряд положительного ядра превысит заряд электронов, и вся молекула будет вести себя, как положительно заряженное тело, превратившись в положительный ион.

Оторванные электроны (а также электроны, которые могут излучаться ионизатором) «прилипают» к нейтральным молекулам, образуя отрицательные ионы.

Вот эти-то ионы и делают газ токопроводящим. Однако сила тока, проходящего через газ, будет зависеть от интенсивности ионизатора. При полном отсутствии ионизатора (практически это невозможно) никакого тока вообще не будет, если приложенная разность потенциалов не превысит известного предела.

Чем выше приложенная к электродам разность потенциалов, тем больше напряженность поля, тем с большей силой оно действует на ионы и электроны и больше их ускорения и скорости.

Так как сила тока определяется количеством электронов, протекающих в секунду через цепь, то с увеличением разности потенциалов сила тока увеличивается. Однако увеличивается она только до известной степени, определяемой количеством образующихся под влиянием внешнего ионизатора ионов в секунду. Ток будет расти только до тех пор, пока скорость прохождения ионов не сравняется со скоростью их образования. Этот максимальный ток, ток насыщения, в обычных условиях чрезвычайно мал. Для того чтобы картина прохождения тока через газ была яснее, надо представить, что в воздухе между пластинами имеются только отрицательные электроны. В этом случае картина ясна. Электрон движется в воздухе под влиянием поля от отрицательной пластины к положительной и по проводам и источнику тока обратно к отрицательной (рис. 10).

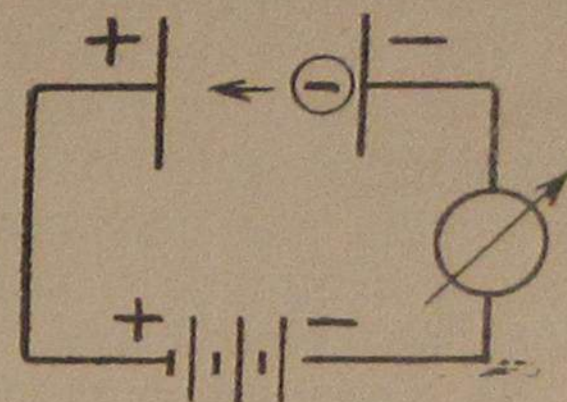


Рис. 10.

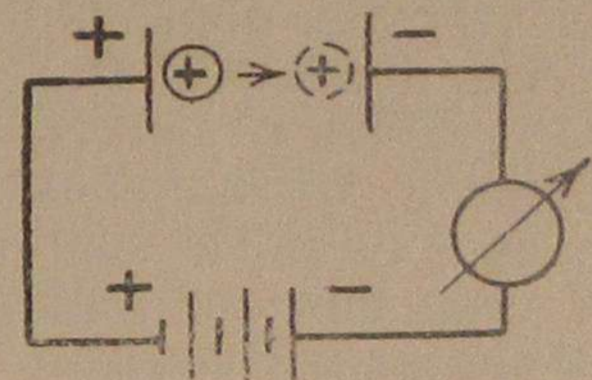


Рис. 11.

Если же между пластинами находится положительный ион (рис. 11), то он потечет в воздухе от положительной пластины к отрицательной. Одновременно от положительной пластины в обратную сторону по проводу потекут электроны в количестве, равном по величине заряду иона. Когда ион подойдет к отрицательной пластине, к ней с другой стороны подойдут электроны и разрядят ион, превратив его в нейтральную газовую молекулу. Если отрицательную пластину покрыть твердым непроводником, то ион, подойдя, не мог бы разрядиться и остался бы на непроводнике заряженным ионом. Если таких ионов много, то они создадут слой положительных ионов, которые будут действовать отталкивающе на вновь подходящие ионы. В поле могут не только образовываться ионы, но и уничтожаться при встрече с противоположно заряженными. Такое явление называется рекомбинацией. Несколько ионов могут соединиться в один тяжелый ион.

Течение тока в проводниках и электролитах (при постоянной концентрации раствора и постоянной температуре) подчиняется закону Ома:

$$I = \frac{V}{R} \quad (14a)$$

где I — сила тока, а;

V — разность потенциалов, в;

R — сопротивление, ом.

Течение же тока в газах закону Ома не подчиняется.

Будем все увеличивать приложенную к пластинам разность потенциалов. Когда эта разность потенциалов достигнет некоторой критической величины V_k , между пластинами проскочит искра — воздушный промежуток будет «пробит», и гальванометр покажет резкое увеличение силы тока. Что произошло в пространстве между пластинами?

По мере увеличения приложенной разности потенциалов увеличивалось и напряжение поля E . На ионы и электроны, находящиеся в поле, действует сила Ee (где e — заряд иона). Эта сила все увеличивалась, следовательно, увеличивались ускорения и скорость иона и электрона, а также их кинетическая энергия. При своем движении ионы и электроны сталкиваются с молекулами газа, и когда их скорость становится больше некоторой величины — критической скорости, они начинают выбивать из нейтральных атомов один или несколько орбитальных электронов, образуя положительный ион и свободные электроны. Часть последних может «прилипнуть» к нейтральному атому и образовать отрицательный ион. Вновь образованные ионы находятся в том же электрическом поле, имеющем «критическую» величину E_k , и поэтому получают также критические скорости и сами начинают ионизировать газ. Происходит лавинообразное образование новых ионов. Такая ионизация называется «ударной».

Так как поле между параллельными пластинами однородно, то во всех точках воздушного промежутка одновременно появляется большое количество ионов и электронов, могущих переносить заряды. В результате ток сильно возрастает и в пространстве между пластинами образуется искровой разряд.

Этот разряд уже не зависит от действия ионизатора и называется «самостоятельным газовым разрядом». При одном и том же напряжении сила тока может быть весьма различна в зависимости от внешней сети и формы электродов.

Включим в электрическую цепь вместо двух пластин провод радиуса r и коаксиальный цилиндр радиуса R . В этом случае процесс ионизации вследствие неоднородности поля пойдет совсем по-другому. На поверхности провода напряжение поля, согласно ранее выведенному уравнению (13), будет максимальным равным при $x = r$

$$E_{\text{макс}} = \frac{V}{r \ln \frac{R}{r}} \quad (15)$$

По мере увеличения приложенной разности потенциалов, ионы и электроны, расположенные вблизи провода, могут приобрести такие скорости, при которых они будут ионизировать нейтральные молекулы. Однако по мере удаления от провода

напряжение поля быстро падает по гиперболе (см. рис. 8), скорость ионов также уменьшается, и на некотором расстоянии от провода ударной ионизации уже не будет происходить.

То начальное напряжение поля, при котором у поверхности провода начинается ударная ионизация, называется критическим E_k , а соответствующую ему критическую разность потенциалов обозначим через V_k . При этом газ у поверхности проводника начинает слегка светиться, и слышится характерное шипение или потрескивание. Это явление носит название «коронного разряда». При дальнейшем повышении разности потенциалов сила тока увеличивается примерно по квадратичному закону. Одновременно увеличивается и светящаяся область. При дальнейшем увеличении разности потенциалов между проводами начинают проскакивать искры, количество и мощность которых все увеличиваются.

Ту разность потенциалов, при которой начинают появляться искры, называют «искровым потенциалом V_{ii} ». Для того, чтобы корона могла образоваться, необходимо, чтобы расстояние между электродами было значительно больше, чем радиус кривизны меньшего проводника. В противном случае сразу произойдет искровой пробой. В случае провода и цилиндра отношение $\frac{R}{r}$ не должно быть менее примерно трех.

Электрод меньшего радиуса кривизны (в данном случае провод) называется «коронирующим электродом». В зависимости от полярности провода корона может быть положительной и отрицательной. Положительная корона светится более равномерно. При отрицательной короне свечение сосредоточивается в отдельных, более или менее ярко светящихся точках провода. При отрицательной короне V_k и V_{ii} выше, чем при положительной. Поэтому в электрофильтрах применяется, как это будет понятно из дальнейшего, только отрицательная корона.

Кривые вольтамперных характеристик, т. е. кривые, показывающие зависимость силы тока от приложенной разности потенциалов, различны при положительной и отрицательной короне.

Величина критического напряжения поля не есть постоянная величина. Она зависит от свойств и плотности газа и размеров коронирующего электрода. Для цилиндрического проводника она может быть определена по следующей эмпирической формуле (для воздуха):

$$E_k = a + \frac{b}{\sqrt{r}} \text{ кв/см}, \quad (16)$$

где a и b — константы, зависящие от полярности короны, а r — радиус провода, см; для положительной короны $a = 33,7$; $b = 8,13 \sqrt{\delta}$; для отрицательной короны $a = 31,0$; $b = 9,54 \sqrt{\delta}$.

Здесь δ равняется отношению плотности воздуха при данных условиях к плотности его при 25° и давлении 760 мм рт. ст. (формула применима при давлениях, не намного меньших атмосферного):

$$\delta = \frac{0,392 p}{273 + t},$$

где p — давление воздуха, мм рт. ст.;
 t — его температура.

Как видим, критическое напряжение поля не зависит от радиуса внешнего цилиндра.

Критическая разность потенциалов определится по известной формуле (15):

$$V_k = E_k r \ln \frac{R}{r}. \quad (17)$$

Соединяя уравнения (16) и (17), получим для отрицательной короны, единственно применяемой при электрической очистке газов,

$$V_k = 31 \left(1 + 0,308 \sqrt{\frac{\delta}{r}} \right) r \ln \frac{R}{r}. \quad (18)$$

Экспериментально V_k определяется визуально при постепенном увеличении приложенной разности потенциалов. Однако это определение недостаточно точно, особенно при неотполированном проводе.

Иначе V_k можно определить построением редуцированной характеристики коронного разряда [2]. Вольтамперная характеристика коронного разряда имеет квадратичный характер и определяется формулой:

$$I = C (V - V_k) V, \quad (19)$$

где C — постоянная, зависящая от формулы и размеров электродов;

I — сила тока;

V — приложенная разность потенциалов;

V_k — критическая разность потенциалов.

Отсюда следует, что:

$$\frac{I}{V} = C (V - V_k). \quad (20)$$

Это выражение и есть редуцированная характеристика. Оно показывает, что отношение силы тока к приложенной разности потенциалов линейно зависит от приложенной разности потенциалов и представляет прямую линию, отсекающую на ось абсцисс при $I = 0$ величину искомого напряжения V_k . Следовательно, для определения V_k следует снять вольтамперную характеристику и по ее данным построить редуцированную.

Таким образом, после появления короны в электрофилт্রে образуются две весьма отличные друг от друга области. Вокруг коронирующего провода в небольшой сравнительно светящейся области короны образуется большое количество положительных и отрицательных ионов и электронов. Вторая область, лежащая между короной и трубой электрофилтра (или короной и пластиной в пластинчатом электрофилт্রে), и занимающая основной объем, заполнена в случае отрицательной короны только отрицательными ионами и электронами, движущимися под влиянием поля от коронирующего провода к осадительному. Свободные электроны весьма быстро «прилипают» к нейтральным молекулам газа, образуя также отрицательные ионы.

Если теперь через электрофилтр пропустить запыленный газ, то отрицательные ионы осядут на пылинках и увлекут их к осадительному электроду.

Как мы видели ранее (рис. 8), кривая зависимости напряжения поля от расстояния имеет гиперболический характер. Силовые линии идут радиально от трубы к проводу, и поле сильно неоднородно (см. рис. 7 и рис. 12, слева). После появления короны вся область электрофилтра (за исключением области короны) заполнится отрицательными ионами, которые будут связаны силовыми линиями с соответственными положительными зарядами на поверхности труб. Поле примет вид, соответствующий

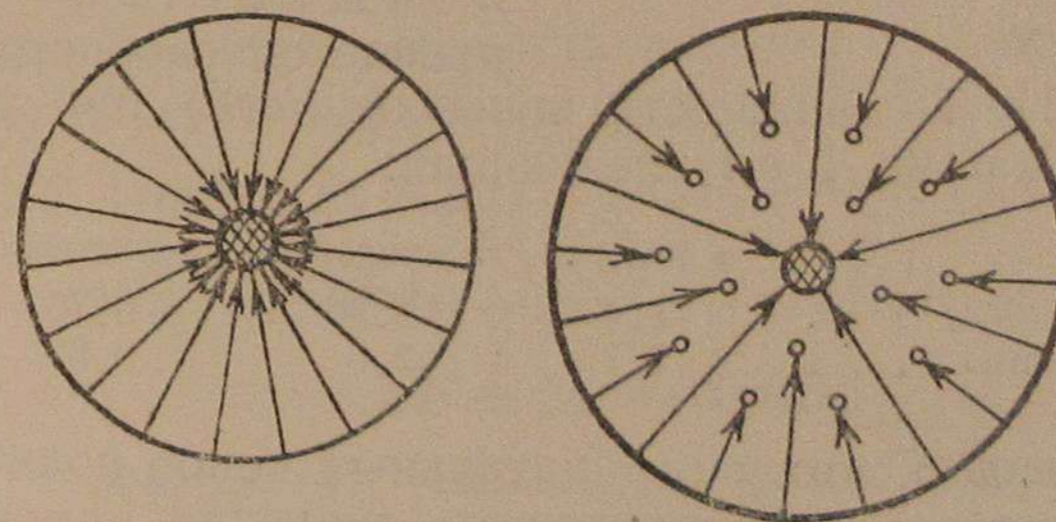


Рис. 12.

Рис. 12, справа. Из этой фигуры видно, что по мере удаления от коронирующего электрода абсолютное количество ионов будет увеличиваться и густота силовых линий (или иначе, напряжение поля) будет больше, чем это было в соответственной точке при отсутствии зарядов в объеме поля.

Кривая зависимости напряжения поля от расстояния от провода будет выпрямляться, и поле станет более однородным (в некотором отдалении от оси). Чем больше сила тока в каждый момент времени, тем более зарядов в объеме поля и тем однороднее будет поле (рис. 13), и уравнение (15) уже не будет применимо.

Плотность зарядов в единице объема поля равна произведению количества отрицательных ионов в этом объеме на величину элементарного заряда (считая, что ион однократно заряжен) $\rho = ne$. Плотность электрического тока, или иначе количество

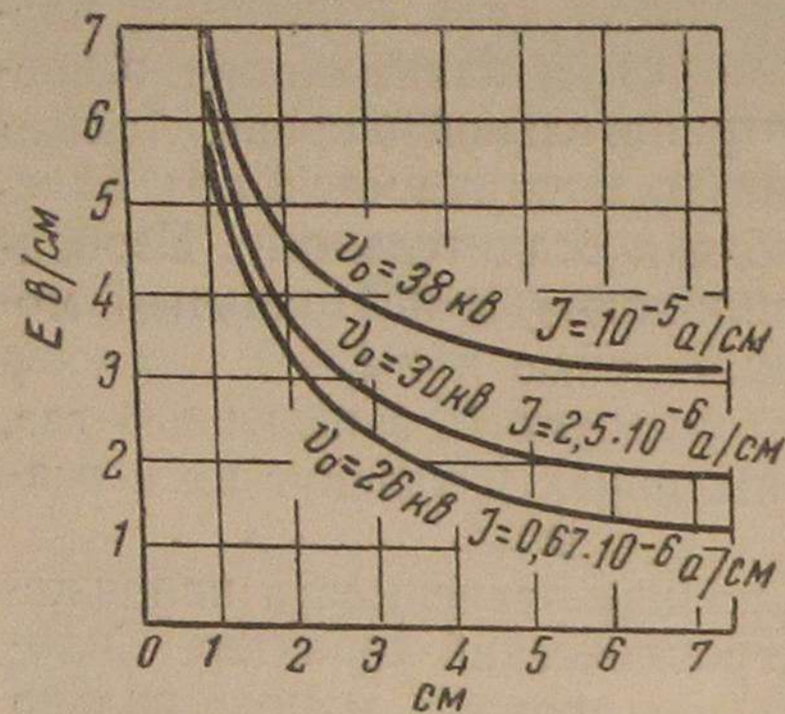


Рис. 13. Значение напряженностей поля в зависимости от расстояния от оси цилиндра при разных силах тока:

цилиндр диаметром 148 мм, провод диаметром 2 мм

зарядов, проходящих через $1 \text{ см}^2/\text{сек}$, будет равна плотности пространственного заряда, умноженной на скорость движения этих зарядов:

$$J = \rho v = nev.$$

Скорость движения ионов в электрическом поле принимают прямо пропорциональной напряжению поля

$$v = KE,$$

$$ne = \frac{J}{v} = \frac{J}{KE}. \quad (21)$$

Коэффициент K различен для положительных и отрицательных ионов и называется подвижностью иона (K равняется скорости иона в поле, где $E = 1$).

Подвижность ионов (см/сек) при разности напряжений в 1 в на 1 см следующая:

	в воздухе	в кислороде	в углекислоте	в водороде
положительные ионы . . .	1,4	1,36	0,76	6,70
отрицательные ионы . . .	2,1	2,0	0,82	8,0

Из этого видно, что у отрицательных ионов подвижность выше. Разные авторы дают различные значения для величины K . По Жебровскому и Попкову [7], более близким для отрицательных ионов воздуха в электрофильтре является значение $K = 2,1$.

Так как в трубчатом электрофильтре и при наличии объемных зарядов силовые линии идут также радиально по условиям симметрии, то плотность тока должна быть одинаковой во всех точках, равноудаленных от оси, т. е. в любой точке, лежащей на поверхности цилиндра радиуса x , коаксиального проводу, плотность тока на 1 см длины цилиндра будет одинакова и равна:

$$J = \frac{I}{2\pi x}, \quad (21a)$$

где I — сила тока на 1 см длины провода.

Рассмотрим электрическое поле заряженного цилиндра, заполненное объемными униполярными зарядами (рис. 14). Эквипотенциальные поверхности будут цилиндрическими и коаксиальными. Проведем две эквипотенциальные поверхности радиуса x и $x + dx$. Соответственно напряжение поля будет равно E и $E + dE$. В объеме между наружным и внутренним цилиндрами вследствие малости dx можно считать величину объемного заряда $\rho = ne$ постоянной.

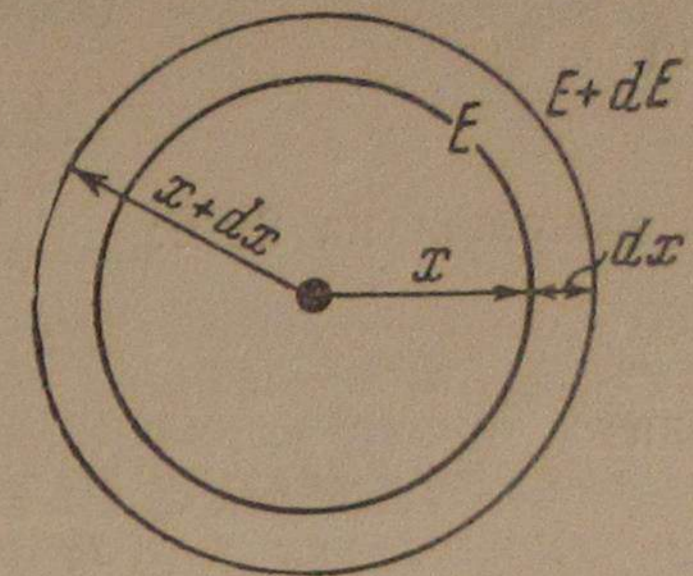


Рис. 14.

Так как напряжение на поверхности радиуса x равно E , то для цилиндра длиной в 1 см общий поток силовых линий через его поверхность равен $2\pi xE$. Поток силовых линий, дополнительно создаваемый зарядами в области dx , равен по уравнению (4):

$$4\pi ne [\pi(x + dx)^2 - \pi x^2] = 4\pi ne \pi [2x dx + (dx)^2].$$

Пренебрегая $(dx)^2$ вследствие его малости, получим, что дополнительный поток равен:

$$4\pi ne \cdot 2\pi x dx.$$

Сумма потоков через поверхность радиуса x и дополнительного равна потоку через поверхность радиуса $x + dx$:

$$(E + dE)2\pi(x + dx) = 2\pi xE + 4\pi ne \cdot 2\pi x dx$$

и

$$2\pi Ex + 2\pi E dx + 2\pi x dE + 2\pi dE dx = 2\pi xE + 4\pi ne \cdot 2\pi x dx,$$

пренебрегая бесконечно малым членом второго порядка $2\pi dE dx$ и произведя сокращение, получим:

$$2\pi E dx + 2\pi x dE = 4\pi ne 2\pi x dx,$$

деля обе части на $2\pi x dx$, получим

$$\frac{dE}{dx} + \frac{E}{x} = 4\pi ne, \quad (22)$$

так как из уравнений (21) и (21a)

$$ne = \frac{J}{KE} = \frac{I}{2\pi x \cdot KE},$$

то

$$\frac{dE}{dx} + \frac{E}{x} = \frac{2I}{xKE};$$

преобразуем это уравнение, вынеся за скобки $\frac{1}{x}$:

$$\frac{1}{x} \left(x \frac{dE}{dx} + E \frac{dx}{dx} \right) = \frac{2I}{xKE}$$

или

$$\frac{1}{x} \frac{d(Ex)}{dx} = \frac{2I}{xKE}$$

и, умножая на $2x^2E$:

$$2Ex \frac{d(Ex)}{dx} = \frac{2I}{K} \cdot 2x,$$

или

$$\frac{d(Ex)^2}{dx} = \frac{2I}{K} \cdot 2x \text{ и } d(Ex)^2 = \frac{2I}{K} \cdot 2x dx.$$

Интегрируя, получаем:

$$(Ex)^2 = \frac{2I}{K} x^2 + C.$$

Для определения C интегрируем от поверхности коронирующего слоя r_i , где напряжение короны всюду равно E_i , тогда:

$$E_x = \sqrt{\frac{2I}{K} \left(1 - \frac{r_i^2}{x^2} \right) + \frac{E_i^2 r_i^2}{x^2}}. \quad (23)$$

При прохождении тока между электродами, когда объем электрофильтра заполнен зарядами, уравнение (14) более недействительно.

Ввиду малой толщины слоя короны $r_i = r$, где r — радиус провода, заменим r_i на r и вместо E_i подставим E_K — критическое значение напряжения поля на поверхности провода.

Тогда напряжение поля в любой точке x от оси провода равно:

$$E_x = \sqrt{\frac{2I}{K} \left(1 - \frac{r^2}{x^2} \right) + \frac{E_K^2 r^2}{x^2}}. \quad (24)$$

При $x = R$ напряжение на поверхности трубы

$$E_R = \sqrt{\frac{2I}{K} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) + \frac{E_K^2 r^2}{R^2}}. \quad (25)$$

Если сила тока $I = 0$, то это уравнение приводится к известному уже нам уравнению (14), действительному для условий электростатики:

$$E = \frac{E_0 r}{R}.$$

Если, наоборот, сила тока велика, то при большом x и малом r (обычно в электрофильтрах $\frac{r}{R} = 0,008$) отношением $\frac{r^2}{x^2}$ можно пренебречь. В этом случае уравнение (24) принимает вид:

$$E_x = \sqrt{\frac{2I}{K}} = \text{const}, \quad (26)$$

поле становится более однородным, и чем больше сила тока, тем больше значение E_x и тем поле однороднее. Оно и понятно, так как с увеличением силы тока увеличивается количество ионов в объеме и согласно рис. 12 увеличивается количество силовых линий, не доходящих до коронирующего провода. Выравнивание поля при увеличении силы тока видно на рис. 13.

Скорость движения заряженной пылинки по направлению к проводу зависит от действующей на нее силы. Сила же эта равна Ene_0 , где n — число элементарных зарядов на пылинке. Так как E и n зависят от силы тока I , то для увеличения скорости движения пылинок к осадительному электроду и, следовательно, лучшего улавливания следует стремиться работать при более высоких значениях силы тока.

Надо, однако, тут же оговориться, что имеются случаи увеличения силы тока, связанные с ухудшением пылеулавливания, которые мы рассмотрим в дальнейшем.

Обычно в электрофильтре принято относить силу тока к погонному метру коронирующего электрода, выражая его $ма/пог.м$. Иногда этот удельный расход тока относят к квадратному метру осадительного электрода. Поскольку межэлектродные расстояния почти во всех электрофильтрах одинаковы, то эти величины взаимно пропорциональны.

Однако самым точным является отнесение расхода тока к объему электрофильтра и определение удельного расхода тока в $ма/м^3$. При этом учитывается и изменение межэлектродного расстояния.

Сила тока в электрофильтре будет тем выше, чем больше приложенная разность потенциалов. Для трубчатого электрофильтра она может быть вычислена по формуле:

$$I = \frac{2K(V - V_K)V}{R^2 \ln \frac{R}{r}}. \quad (27)$$

Разумеется, величина приложенной разности потенциалов должна быть ниже той, при которой между электродами начинают проскакивать искры. При искровом пробое напряжение на проводах резко падает и коронирование, а следовательно и улавливание, сильно ухудшается.

В уравнении (27) V_H зависит от плотности и давления газа и от состава газа, поэтому вольтамперные характеристики сильно меняют свой вид в зависимости от этих факторов, как это видно на рис. 15, на котором дана зависимость характеристик от температуры газа, на рис. 16, где дана зависимость от влажности газа, и на рис. 17, где дана зависимость от состава газа.

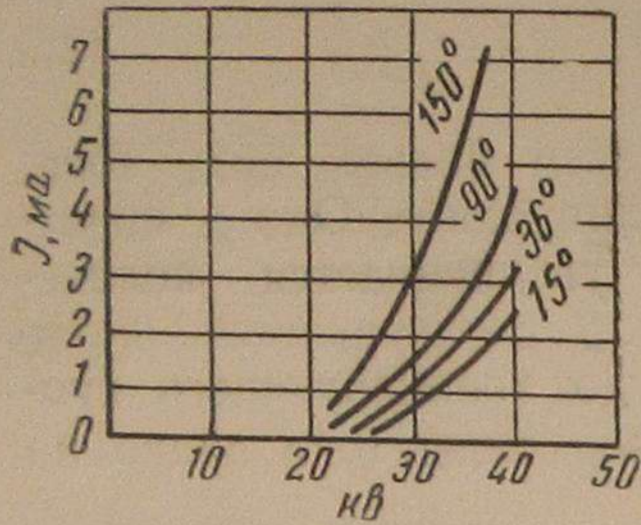


Рис. 15. Зависимость вольтамперных характеристик от температуры газа

Весьма существенно влияют на ток короны форма, размеры, а для пластинчатого электрофильтра и число коронирующих электродов. На рис. 18 дана зависимость тока от диаметра провода в трубчатом электрофильтре [7]. На рис. 19 дана зависимость силы тока от формы коронирующего электрода, а на рис. 20 — зависимость силы тока от

числа проводов в пластинчатом электрофильтре. По оси абсцисс отложено число проводов между двумя пластинами. Расстояние между пластинами 30 мм, ширина пластин 1,2 м. По оси ординат — ток короны на 1 м длины

числа проводов в пластинчатом электрофильтре. По оси абсцисс отложено число проводов между двумя пластинами. Расстояние между пластинами 30 мм, ширина пластин 1,2 м. По оси ординат — ток короны на 1 м длины

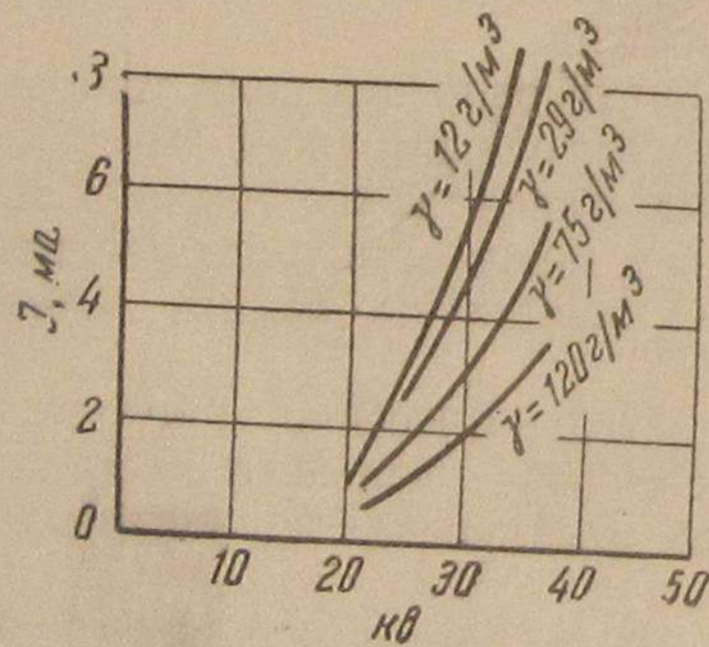


Рис. 16. Зависимость вольтамперных характеристик от влажности воздуха

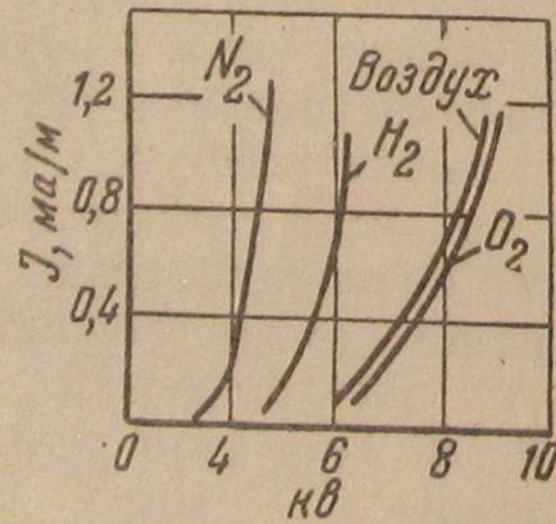


Рис. 17. Зависимость вольтамперных характеристик от состава газа

всех проводов, или, иначе говоря, на 1,2 м² двух осадительных электродов.

Как видно на кривой, сила тока сперва растет, затем быстро падает. Падение силы тока объясняется тем, что по мере увеличения числа проводов уменьшается расстояние между ними, и они начинают экранировать друг друга. В пределе,

при значительном увеличении числа проводов поле станет равномерным, и коронирование вообще прекратится.

Иногда при несоответствии мощности электроагрегата току, потребляемому камерой, может случиться, что при достижении предельной для агрегата силы тока (обычно 200 ма) величина напряжения будет меньше, чем это возможно поддерживать у камеры. В этом случае надо увеличить мощность агрегата.

Однако при невозможности ее увеличения можно повысить эффективность улавливания, увеличив диаметр провода так, чтобы при неизменном токе

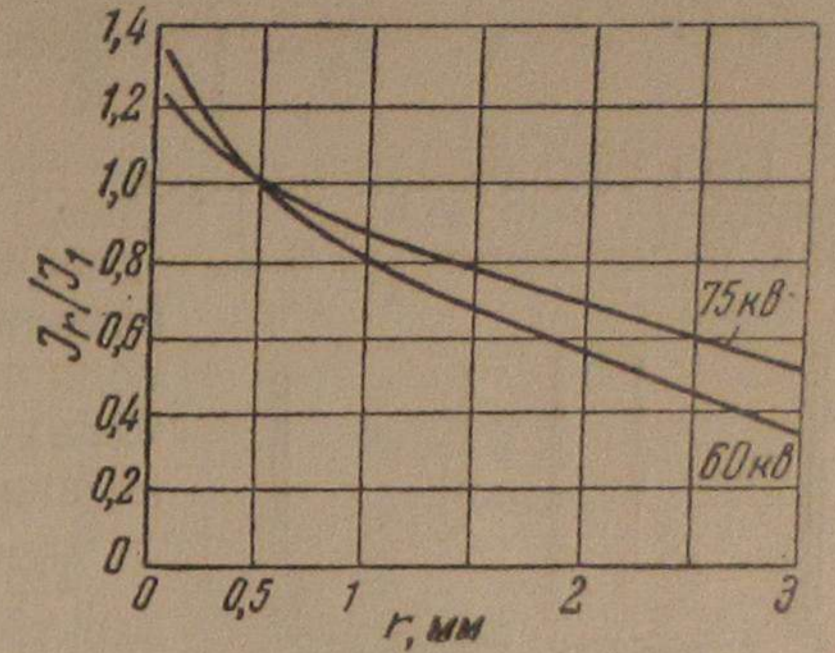


Рис. 18. Зависимость силы тока от диаметра провода:

Отношение тока I_2 при проводе радиуса r к току I_1 при радиусе 0,5 мм в цилиндре диаметром 150 мм

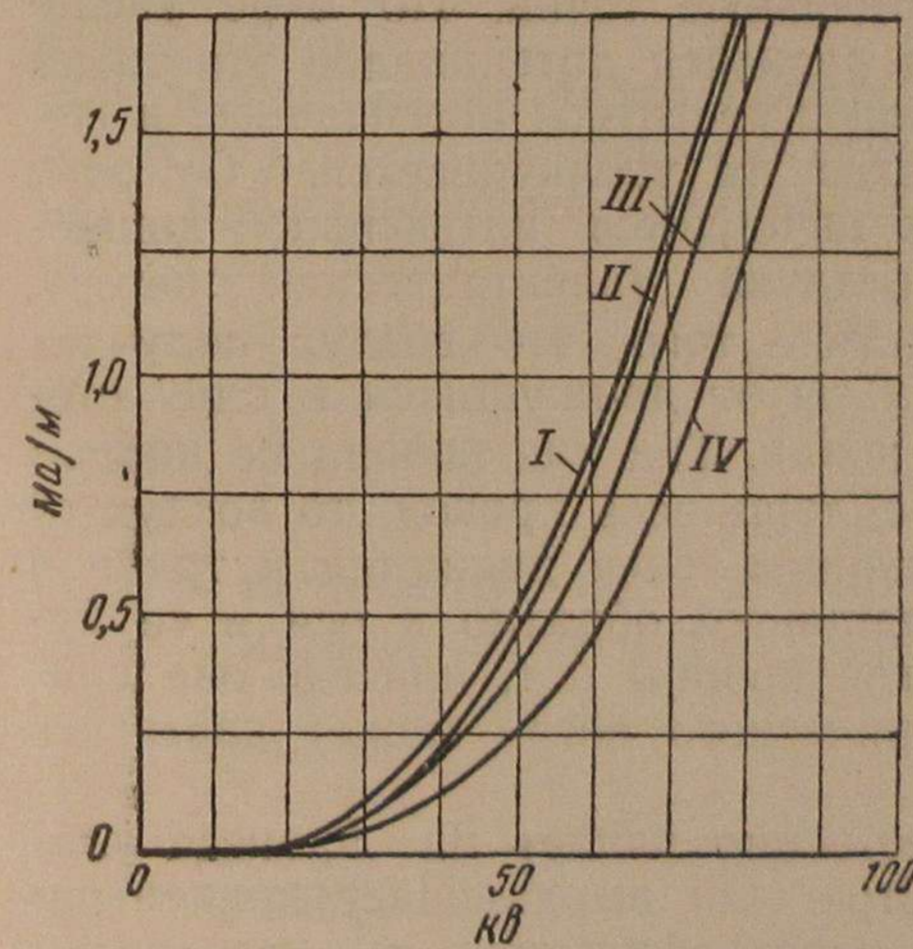


Рис. 19. Зависимость силы тока от формы электрода ($I = f(v)$ для различных коронирующих электродов):

I — провод диаметром 1 мм; II — лента 0,25×15 мм; III — провод диаметром 2 мм; IV — шестигранная звезда, описанный диаметр 9 мм в цилиндре диаметром 250 мм

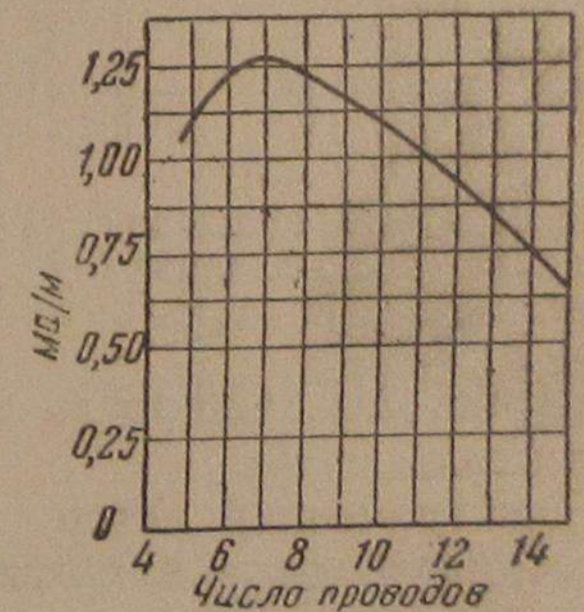


Рис. 20. Зависимость силы тока от числа проводов:

напряжение 50 кв; диаметр провода 1,5 мм, ширина осадительных пластин 1200 мм

увеличить подаваемую к камере разность потенциалов.

Согласно уравнению (18):

$$V_H = 31 \left(1 + 0,308 \sqrt{\frac{\delta}{r}} \right) r \ln \frac{R}{r}$$

и с увеличением r увеличивается также V_K , а по уравнению (17) и E_K .

Преобразуем уравнение (24), вынеся за скобки $\frac{r^2}{x^2}$:

$$E_x = \sqrt{\frac{2I}{K} + \frac{r^2}{x^2} \left(E_K^2 - \frac{2I}{K} \right)}. \quad (27a)$$

При увеличении радиуса провода r увеличиваются как E_K , так и значение $\frac{r^2}{x^2}$, и E_x увеличивается, повышая степень улавливания. Надо, однако, заметить, что величина второго члена уравнения (27a) мала по сравнению с первым, не зависящим от величины r .

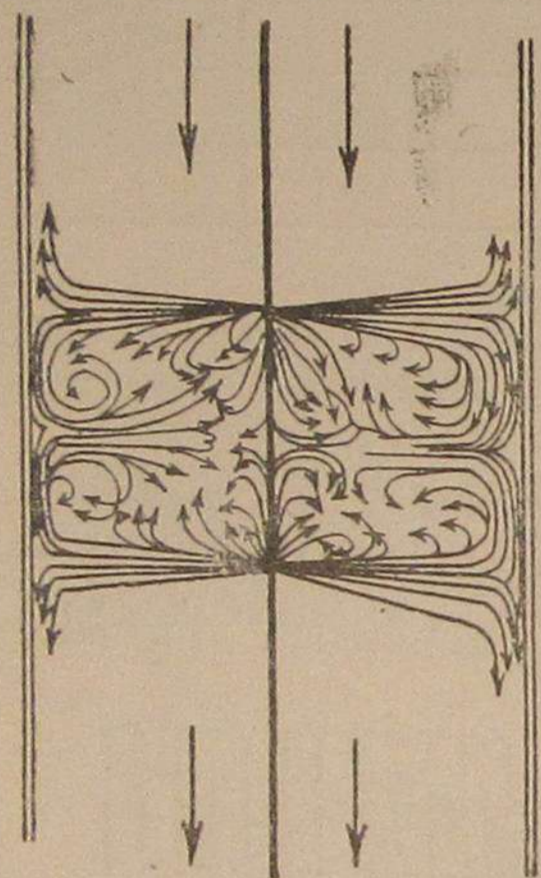


Рис. 21. Схема движения воздуха под влиянием электрического ветра

Рис. 21). Скорость электрического ветра может достигать 50 см/сек.

Электрический ветер существенно влияет на процесс улавливания пыли в электрофилт্রে. Он выравнивает концентрацию ионов и пыли в объеме электрофилтра и, передвигая пылинки в ионном потоке, быстрее доводит их электрический заряд до предельного. При радиусе частиц, меньшем 10^{-4} см, скорость уноса частиц ветром может быть больше скорости движения их под влиянием электрического поля, и такой перенос частиц к осадительному электроду улучшает условия осаждения.

Зарядка взвешенных в газе частиц. Движение заряженных частиц

На ион, подошедший достаточно близко к частице, действуют следующие силы:

1) сила поля F_1 , направленная вдоль силовой линии;

2) кулоновская сила F_2 , отталкивающая ион от уже заряженной частицы;

3) сила зеркального отображения F_3 , вызванная появлением на стороне частицы, обращенной к иону, противоположного по знаку заряда. На рис. 22 даны величины этих сил для частицы диаметром в $0,2 \mu$, на которой имеется десять элементарных зарядов [13].

Встречаясь с пылинкой, ионы оседают на ней и заряжают ее. Встреча происходит как вследствие движения газовых ионов по силовым линиям поля, так и вследствие беспорядочного теплового движения иона.

Для мелких частиц радиусом до 1μ предельный заряд зависит только от теплового движения ионов и их плотности и не зависит от наличия поля. Заряд этот прямо пропорционален диаметру частиц.

Предельный же заряд частиц, радиус которых больше микрона, пропорционален квадрату радиуса и равен:

$$ne_0 = PEa^2, \quad (28)$$

где:

$$P = 1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2};$$

E — напряжение поля в абсолютных единицах

$$\left(1 \text{ CGSE} = \frac{300 \text{ в}}{\text{см}} \right);$$

e — элементарный заряд в CGSE;

ϵ — диэлектрическая постоянная (для металла $P = 3$, так как $\epsilon = \infty$);

a — радиус частицы, см.

Для газов $\epsilon = 1$; для кварца, серы 4; для гипса 5; для окислов металлов 12—18; для металлов ∞ .

Время достижения предельного заряда при существующих в реальном электрофилт্রে напряжениях поля измеряется долями секунды.

Таким образом, для того чтобы предельный заряд частиц, радиус которых меньше 1μ , был возможно больше, необходи-

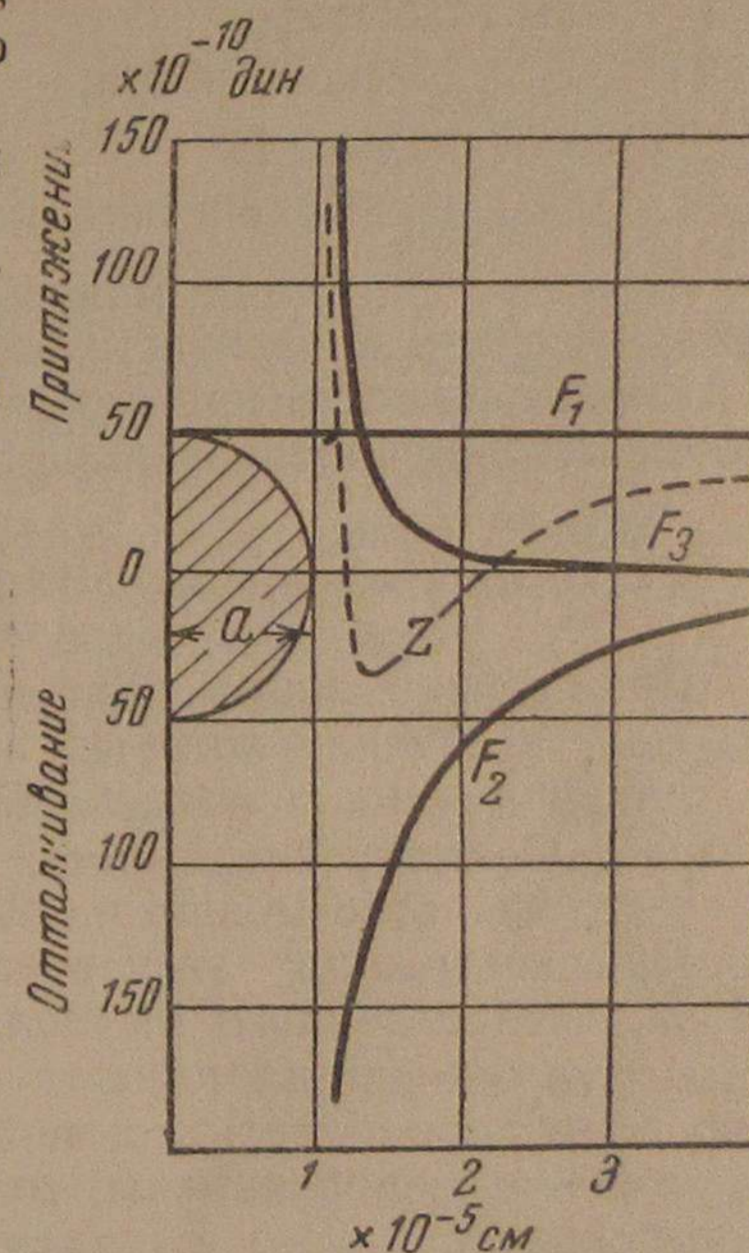


Рис. 22. Силы, действующие на частицу:

Z — результирующая сила; a — радиус провода

мо иметь в объеме электрофилтра возможно большую плотность ионов или, иначе говоря, возможно большую силу тока.

Для того, чтобы заряд более крупных частиц был возможно больше, необходимо поддерживать в электрофилтре также возможно большее напряжение поля E [по уравнению (28)]. Однако, согласно уравнению (26), для этого опять-таки необходимо увеличивать силу тока, проходящего через электрофилтр.

Частица, взвешенная в газе, может в электрофилтре притти в движение под влиянием:

- 1) силы тяжести;
- 2) электрического ветра;
- 3) силы индукции;
- 4) силы взаимодействия поля и заряда частицы.

Скорость движения мелкой частицы под влиянием силы тяжести очень невелика, ниже приведенные сведения дают зависимость скорости падения в спокойном воздухе частицы, плотность которой равна единице:

диаметр частицы, μ 100	10	1
скорость падения, см/сек 30	0,3	0,003

Время пребывания газа в электрофилтре не превышает 10 сек., в течение которых пылинка диаметром менее 20 μ упадет под влиянием силы тяжести всего на несколько сантиметров. Поэтому с влиянием этой силы на движение частицы в электрофилтре можно не считаться.

При испытании электрофилтра с горизонтальным ходом газов, установленного на Балхашском заводе для улавливания пыли из отходящих газов сушильных барабанов, оказалось, что если не подавать на него ток и использовать его в качестве осадительной камеры, то он улавливает только 15% пыли, поступающей в него с газами, хотя скорость газа равна всего 0,7 м/сек.

О влиянии электрического ветра мы говорили раньше. Основное его значение в выравнивании концентрации пыли и ионов.

Если в электрическое поле поместить какое-либо тело, и если тело — проводник, то свободные электроны сосредоточатся в нем в том конце тела, где силовые линии в него входят, и соответственно другой конец окажется заряженным положительно. Если тело — непроводник, то опять-таки на разных его концах появятся противоположные заряды вследствие поворота молекул под влиянием поля (рис. 23).

Появившиеся заряды взаимодействуют с полем. Если поле однородно, то силы, действующие на тело в разных его концах, равны по величине и противоположны по направлению.

Поэтому они могут только повернуть тело и ориентировать его вдоль силовых линий. Если же поле неоднородно, то силы не равны, и тело будет двигаться в сторону большего значения напряжения поля, как это следует из рис. 24.

В электрофилтре поле достаточно однородно в значительной части объема, и с этой силой можно не считаться. Однако

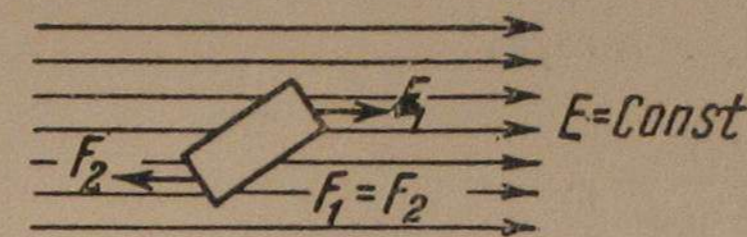


Рис. 23. Силы, действующие на частицу в однородном поле

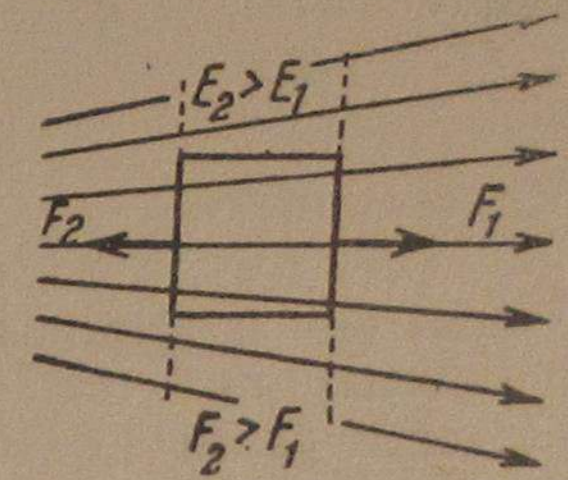


Рис. 24. Силы, действующие на частицу в неоднородном поле

вблизи коронирующего провода неоднородность поля уже сказывается: пылинки начинают двигаться к проводу в сторону больших напряженностей и оседают на нем. Это явление весьма нежелательно. Основной силой, действующей на частицу в электрофилтре, является сила действия поля на ее заряд.

$$F = ne_0 E_x,$$

где n — число элементарных зарядов e_0 , находящихся на частице. Если E_x выражается в вольтах на сантиметр, а $e_0 = 4,77 \cdot 10^{-10}$ эл. ст. ед., то

$$F = 1,66 \cdot 10^{-9} n E_x \text{ дин.} \quad (29)$$

Эта сила вне области короны всегда направлена к осадительному электроду. В небольшой же области короны, где имеются положительные ионы, часть пылинок зарядится положительно и будет двигаться к проводу.

При своем движении частицы будут испытывать сопротивление воздуха.

По закону Стокса, действительному для частиц диаметром от 2 до 50 μ при обычных скоростях их движения в электрофилтре относительно газа, сила сопротивления равна:

$$6 \pi \eta a V. \quad (30)$$

Для частиц диаметром от 0,1 до 2 μ необходимо вводить поправку:

$$V_0 = V \left(1 + A \frac{S}{d} \right),$$

где:

- a — радиус частицы;
- η — вязкость газа;

V — скорость по Стоксу;

A — постоянная (от 14 до 20);

S — средний свободный путь молекулы, равный для газа 10^{-5} см.

При движении заряженной частицы сила действия на нее поля весьма быстро уравнивается силой сопротивления среды:

$$ne_0 E_x = 6 \pi \eta a V$$

и

$$V = \frac{ne_0 E_x}{6 \pi \eta a} \quad (31)$$

Здесь η — коэффициент внутреннего трения газа (вязкость), g (массы) \cdot см $^{-1}$ \cdot сек $^{-1}$ (пуазы). Для воздуха при 0° коэффициент вязкости равен $1,8 \cdot 10^{-4}$ пуаза. Надо заметить, что в отличие от жидкостей вязкость газов повышается с повышением температуры.

Для больших сил токов E_x можно считать постоянным по уравнению (26) и, подставляя его в уравнение (31), получить значение V .

Время, в течение которого частица пройдет путь x , равно

$$T = \frac{x}{V} \text{ сек.}$$

Максимальным будет время осаждения частицы, вошедшей в электрофильтр у оси трубы, где $x = R$ и

$$T = \frac{R}{V} \text{ сек.}$$

Подсчитаем время осаждения частицы с диэлектрической постоянной $\epsilon = 4$ в трубчатом электрофильтре при $R = 12,5$ см и силе тока в 0,25 ма на 1 пог. м провода $= 7,5 \cdot 10^5$ CGSE/м $= 7,5 \cdot 10^3$ CGSE/см ($1a = 3 \cdot 10^9$ CGSE), $K = 600$ CGSE или 2 см/сек на в/см: $\eta = 1,8 \cdot 10^{-4}$ CGS:

$$E = \sqrt{\frac{2I}{K}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7,5 \cdot 10^3}{600}} = 5 \text{ CGSE} = 5 \cdot 300 = 1500 \text{ в/см,}$$

максимальный заряд по уравнению (28) равен

$$ne_0 = E \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right) a^2 = 5 \cdot 2 \cdot a^2 = 10a^2,$$

подставляя значения E , ne_0 и η в уравнение (31), получим:

$$V = \frac{10a^2 \cdot 5}{6\pi \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} a} \approx 1,5 \cdot 10^4 a. \quad (31a)$$

Составляем табличку:

Таблица 1

Радиус частицы a		V см/сек	Максимальное время осаждения τ сек.
см	μ		
$2 \cdot 10^{-3}$	20	30	0,42
$1 \cdot 10^{-3}$	10	15	0,83
$5 \cdot 10^{-4}$	5	7,5	1,65
$1 \cdot 10^{-4}$	1	1,5	8,25
$3 \cdot 10^{-5}$	0,3	1,4	9,0

Для частицы радиуса 0,3 μ величина максимального заряда подсчитана не по уравнению (28), а исходя из теплового движения ионов.

Для частиц радиуса менее 2 μ действительные скорости осаждения выше расчетных, что в основном объясняется влиянием электрического ветра и коагуляцией частиц.

Скорость газа в электрофильтре должна быть подобрана так, чтобы все пылинки успели достичь осадительного электрода. Кроме того, она не должна превышать той величины, при которой уже осевшая пыль будет снова срываться газовым потоком.

Теоретическая степень улавливания пыли в электрофильтре

Степенью улавливания (коэффициентом полезного действия — к. п. д.) мы называем отношение веса уловленной пыли к весу всей пыли, содержащейся во входящем в электрофильтр газе:

$$\eta = \frac{q - q_1}{q} = 1 - \frac{q_1}{q},$$

где:

q — содержание (концентрация) пыли в 1 м 3 газа в граммах на входе в электрофильтр;

q_1 — то же на выходе.

Полагая, что в каждом поперечном сечении электрофильтра концентрация пыли одинакова по всему сечению, мы можем подсчитать эффективность пылеулавливания для монодисперсной пыли, т. е. для пыли, частички которой имеют одинаковые размеры.

По мере осаждения пыли концентрация ее у стенки трубы будет падать, но тотчас же выравниваться по сечению. Вслед

ствие этого в каждом следующем поперечном сечении концентрация пыли будет понижаться.

Обозначим через x — расстояние от начала трубы;

q_x — концентрацию пыли в расстоянии x ;

L — длину трубы;

w — скорость газов в трубе;

v — скорость движения заряженных пылинок к поверхности трубы;

R — радиус трубы.

Уменьшение концентрации пыли у стенки трубки на единицу длины окружности трубы за время dt будет:

$$-dq = q_x v dt,$$

путь, который пылинка проходит вдоль трубы:

$$dx = w dt,$$

отсюда

$$-dq = q_x v \frac{dx}{w}.$$

Количество пыли, осевшей вдоль всей длины окружности трубы, равно

$$-2\pi R dq = -2\pi R q_x \frac{v}{w} dx.$$

Уменьшение количества пыли при переходе от одного сечения к другому на расстоянии dx от него равно $\pi R^2 dq$ и равно количеству осевшей пыли:

$$\pi R^2 dq = -2\pi R q_x \frac{v}{w} dx,$$

откуда

$$dq = -q_x \frac{2v}{Rw} dx;$$

$$\frac{dq}{q_x} = -\frac{2v}{Rw} dx.$$

Интегрируя, находим

$$[\ln q_x]_q^{q'} = \left[-\frac{2v}{Rw} x\right]_0^L,$$

или на выходе из трубы, где $x=L$:

$$q' = q e^{-\frac{2v}{w} L},$$

и степень очистки:

$$\eta = 1 - \frac{q'}{q} = 1 - e^{-\frac{2v}{w} L}. \quad (32)$$

Кривая изменения η в зависимости от L при постоянных v , R и w показана на рис. 25. Из этой формулы следует, что сперва степень очистки растет быстро с увеличением длины фильтра, а затем все медленнее.

Уравнение выведено в предположении, что пыль монодисперсна. Если частицы пыли имеют различные размеры, то меняется w в формуле (32).

Из уравнения (32) следует, что, зная степень улавливания данной пыли при заданных w , v , R и L , можно определить степень улавливания этой же пыли при других значениях указанных величин. К сожалению, значения v и R , как уже раньше было показано, взаимно связаны довольно сложным образом. Поэтому это уравнение остается верным в достаточной мере только для разных значений L .

Для разных w это уравнение применимо только в ограниченном интервале значений, при которых форма газового потока не меняется.

Положим, что степень улавливания данной пыли в данном электрофильтре составила η_1 , при данных w , v , R и η_1 .

Определим η_2 при изменении длины электрофильтра до L_2 при прочих постоянных. Обозначаем:

$$-\frac{2v}{Rw} = k;$$

$$1 - \eta_1 = e^{-kL_1}; \quad (32a)$$

$$1 - \eta_2 = e^{-kL_2}.$$

Делим второе уравнение на первое и определяем η_2 :

$$\eta_2 = 1 - (1 - \eta_1) e^{k(L_2 - L_1)}.$$

Логарифмируя уравнение (32a), получим

$$\ln(1 - \eta_1) = -kL_1 \text{ и } k = \frac{\ln(1 - \eta_1)}{L_1},$$

Отсюда

$$\eta_2 = 1 - (1 - \eta_1) e^{\left(\frac{L_2}{L_1} - 1\right) \ln(1 - \eta_1)}. \quad (32b)$$

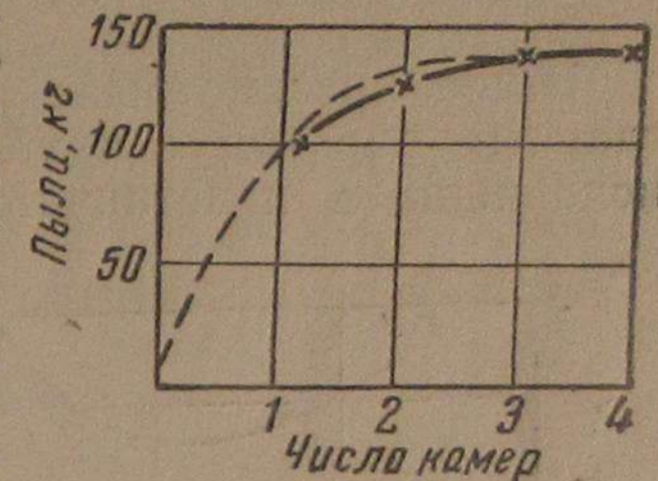


Рис 25. Зависимость степени улавливания от длины электрофильтра (пунктиром показана теоретическая кривая)

Пример. Допустим, что в опытном аппарате с длиной электрического поля, равной 2 м, степень улавливания составила 0,9 (90%). Определить степень улавливания в промышленном электрофильтре с длиной электродов, равной 4 м.

$$\eta_2 = 1 - (1 - 0,9) e^{(2-1) \ln(1-0,9)} = 0,99 \text{ (99\%)}$$

Выше рассмотрены физические явления, происходящие главным образом в трубчатом электрофильтре. Явления, происходящие в пластинчатом электрофильтре, принципиально не

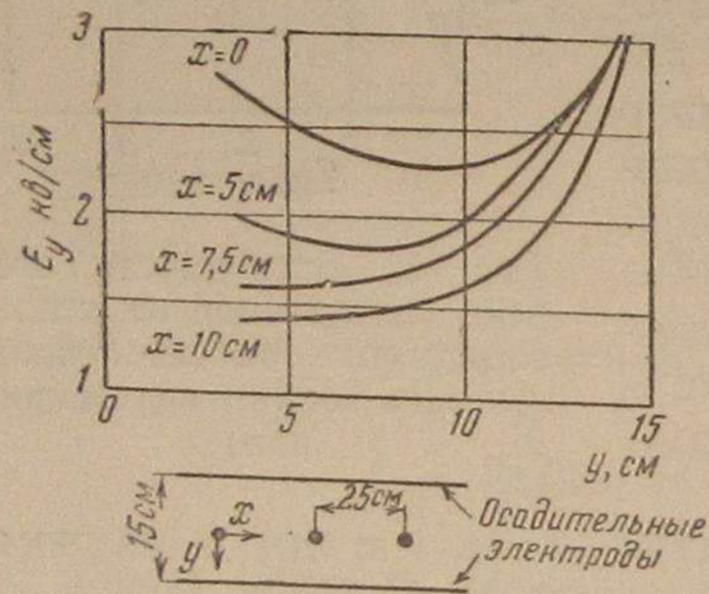


Рис. 26. Напряженность поля в пластинчатом электрофильтре

отличаются от описанных. Подробное изучение их выходит за пределы данного курса и представляет интерес только для специалиста-исследователя и конструктора. Основное отличие заключается в том, что поле пластинчатого электрофильтра неоднородно не только по одному направлению от коронирующего провода к осадительному электроду, но и по перпендикулярному к нему направлению. В любой плоскости, параллельной осадительному электроду, напряженность поля в пластинчатом электрофильтре будет иметь наименьшее значение на середине расстояния между проводами. На рис. 26 показано изменение составляющей напряженности поля, перпендикулярной к осадительному электроду в зависимости от расстояния от оси провода для различных сечений, перпендикулярных осадительному электроду на расстоянии X от оси провода (X — параллельно осадительному электроду для случая, когда расстояние от коронирующих к осадительным электродам равно 15 см, расстояние между проводами равно 25 см, диаметр провода 0,75 мм и приложенная разность потенциалов равна 50,5 кВ).

Во всех случаях напряженность поля увеличивается у осадительного электрода и уменьшается при одних и тех же расстояниях от него, по мере удаления от провода. Из этого следует, что в сечениях, параллельных осадительному электроду, на заряженную частицу будут действовать разные по величине силы, в то время как в трубчатом электрофильтре они одинаковы на концентрических поверхностях.

Поэтому (а также и потому, что среднее напряженность поля, отнесенное к поверхности осадительного электрода, выше

в трубчатом электрофильтре) трубчатый электрофильтр при прочих равных условиях работает при более высокой степени улавливания. Из этого, конечно, не следует, что нельзя и в пластинчатом электрофильтре получить желаемую степень очистки при соответствующей его конструкции.

Реальный электрофильтр. Механизм осаждения. Обратная корона. Запирание короны. Влияние влажности. Сепарация в электрофильтре

Все частицы пыли или тумана, входящие в электрофильтр, движутся вместе с газовым потоком, увлекаются в беспорядочное движение электрическим ветром и, заряжаясь, получают под влиянием поля направленное движение к осадительным электродам. Ничтожное количество пыли или тумана, попавшего в область короны, частично оседает на коронирующем проводе.

Подойдя к осадительному электроду, частицы отдают свои заряды.

Если твердая частица хорошо проводит ток и контактное сопротивление (т. е. сопротивление прохождению тока в месте контакта частицы с электродом и друг с другом) невелико, то заряд отдается мгновенно, частица получает заряд электрода и может оттолкнуться от него обратно в газовый поток. Там частица снова получает заряд, снова подходит к осадительному электроду, разряжается, отталкивается и т. д., пока не унесется потоком газа из электрофильтра.

Если частица жидкая и хорошо смачивает осадительный электрод, то она может прилипнуть и не попадет обратно в газовый поток.

При подходе к осадительному электроду полностью непродвинутой пыли картина будет совершенно иной.

Вследствие непроводимости пыли заряды прочно закреплены в тех точках поверхности частицы, на которых они осели, и при касании пылинки осадительного электрода заряды не стекают с частицы, вследствие чего она непрерывно поджимается силой поля к электроду, образуя плотный слой.

Новые ионы и заряженные частицы, оседающие на первый слой, еще больше уплотняют его, поджимая к осадительному электроду. Однако по мере увеличения толщины слоя в нем накапливаются большие отрицательные заряды, которые отталкивают вновь подходящие частицы, заряженные также отрицательно. Иначе говоря, заряженный слой пыли, осевшей на электродах, противодействует основному полю. В результате, если пыль абсолютно непроводяща, то дальнейшее осаждение ее прекратится.

Оба приведенных случая являются крайними. На самом деле не существует такой пыли, у которой контактное сопротивление равнялось бы нулю, еще труднее представить себе полностью непроводящую пыль. Поэтому практически очистка не сводится к нулю, но иногда резко ухудшается.

Бороться с вредным влиянием заряженного слоя пыли на осадительном электроде можно, либо организовав непрерывное его удаление с электрода (главным образом отряхиванием), либо меняя проводимость слоя и соответственно скорость отдачи заряда. Первый способ, всегда применяемый, один не дает достаточно удовлетворительных результатов, и даже при непрерывном отряхивании необходимо заботиться об уменьшении величины заряда в слое.

Проще всего влиять на проводимость слоя, изменяя его влажность. Даже небольшое повышение влажности пыли резко увеличивает проводимость слоя.

Сравнительно простой метод увлажнения пыли основан на свойствах заряженных частиц адсорбировать на своей поверхности молекулы паров воды даже при температуре газа, несколько превышающей температуру точки росы (т. е. ту температуру газа, при которой начинают конденсироваться содержащиеся в нем пары воды).

Поэтому в горячем газе до его поступления в электрофильтр мелко распыляется форсунками под большим давлением вода. Температура газа понижается, относительная влажность увеличивается.

Понятно, что температура газа не должна быть снижена ниже точки росы в электрофильтре и во всем следующем газовом тракте во избежание залипания электродов и стенок газопроводов грязью, что сделает невозможным дальнейшее улавливание и вызовет сильную коррозию аппаратуры.

Однако лабораторные работы показали, что при улавливании, например, золы чрезмерная влажность пыли уже иногда ухудшает улавливание, так как пыль становится слишком проводящей и плохо удерживается на осадительном электроде.

При увлажнении газов, из которых улавливается хорошо проводящая угольная пыль (после мельниц и сушилок угля), контактное сопротивление частиц, наоборот, увеличивается и улавливание улучшается. Следовательно, в зависимости от проводимости слоя пыли влияние влажности будет различно.

Надо заметить, что у пылинки, адсорбировавшей пары воды, увеличивается диэлектрическая постоянная и радиус, поэтому по уравнению (28) увеличивается и величина заряда.

Если в газе содержится серный ангидрид, что имеет место при окислительном обжиге сульфидных руд и концентратов, то проводимость слоя пыли увеличивается за счет адсорбции

SO_3 и нет надобности во вводе воды. Однако если в газе имеется много активной окиси щелочных металлов, то количество SO_3 бывает недостаточным для сообщения пыли проводимости. В этих случаях, как показывает опыт, необходимо либо увлажнение водой, либо установка вместо электрофильтров рукавных фильтров.

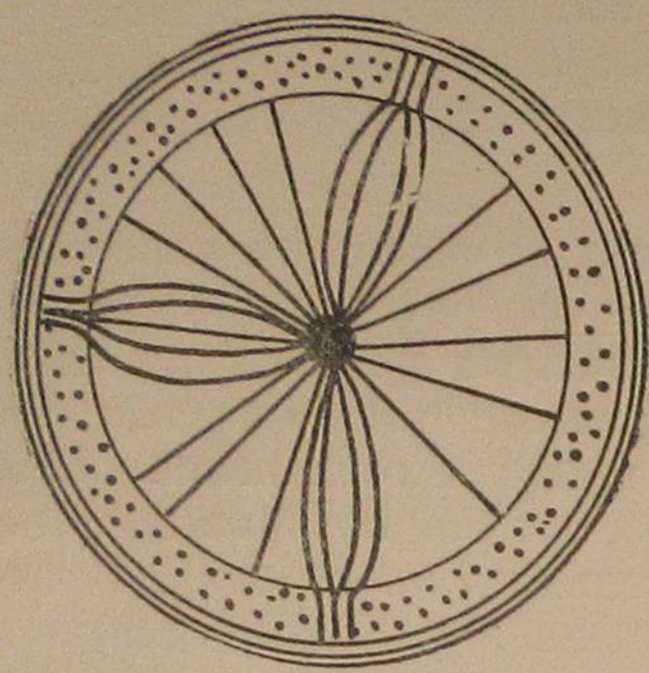
Влияние непроводящего слоя пыли, осевшего на поверхности осадительного электрода, на вольтамперную характеристику различно и зависит от плотности слоя. На поверхности слоя, обращенной к коронирующему проводнику, потенциал тем выше, чем толще слой и чем меньше проводимость пыли. При хорошо проводящей пыли (антрацит), потенциал равен нулю (по отношению к поверхности осадительного электрода). Плотные непроводящие слои (картон, парафин, ликоподий) сдвигают вольтамперную характеристику вниз, т. е. при одном и том же напряжении сила тока уменьшается при наличии такого слоя. Проводящие напыленные слои влияют на вольтамперную характеристику так же [2]. Подавляющее же большинство пылей в реальном электрофильтре (да и в экспериментальных работах) сдвигают вольтамперную характеристику вверх.

Объясняется это тем, что слой непроводящей пыли на осадительном электроде вызывает появление так называемой «обратной короны». Так как слой пыли всегда порист и диэлектрическая постоянная пыли значительно выше диэлектрической постоянной газа в порах, то в этих порах сгущаются силовые линии (рис. 27, а), напряжение поля становится больше критического и воздух в порах начинает коронировать. В этом случае корона уже положительна, и из нее в объем электрофильтра выбрасываются в большом количестве положительные ионы. Эти положительные ионы движутся навстречу отрицательно заряженным частицам пыли и газовым ионам и нейтрализуют их, ухудшая улавливание. Одновременно растет сила тока и понижается пробойное напряжение. Это явление резко ухудшает эффективность улавливания.

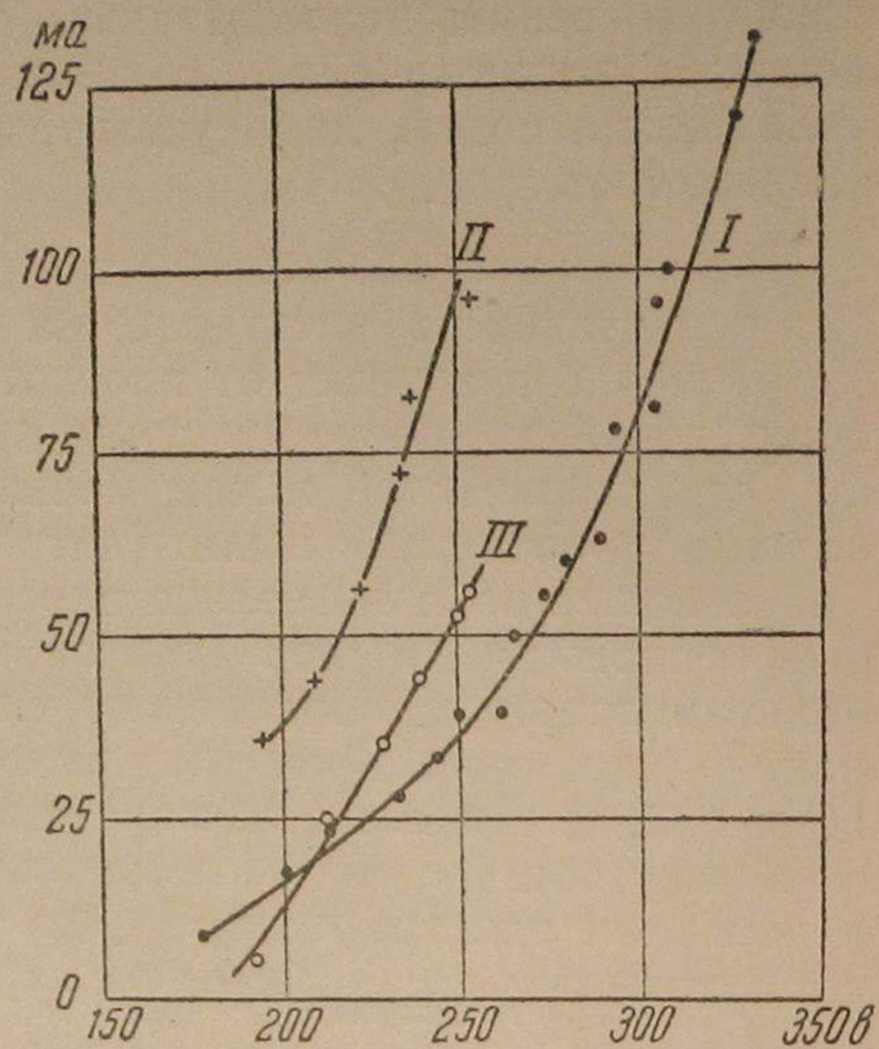
Свечение отдельных точек на поверхности осадительного электрода при «обратной короне» замечается глазом только при значительной величине ее и значительно позже, чем миллиамперметр отмечает увеличение силы тока в электрофильтре. Необходим большой опыт и внимание, чтобы отличить это вредное увеличение силы тока за счет обратной короны.

Таким образом, увеличение тока не всегда влечет улучшение очистки, и надо тщательно учитывать, за счет чего увеличилась сила тока: за счет ли повышения приложенной разности потенциалов изменения температуры или влажности газов или за счет появления обратной короны.

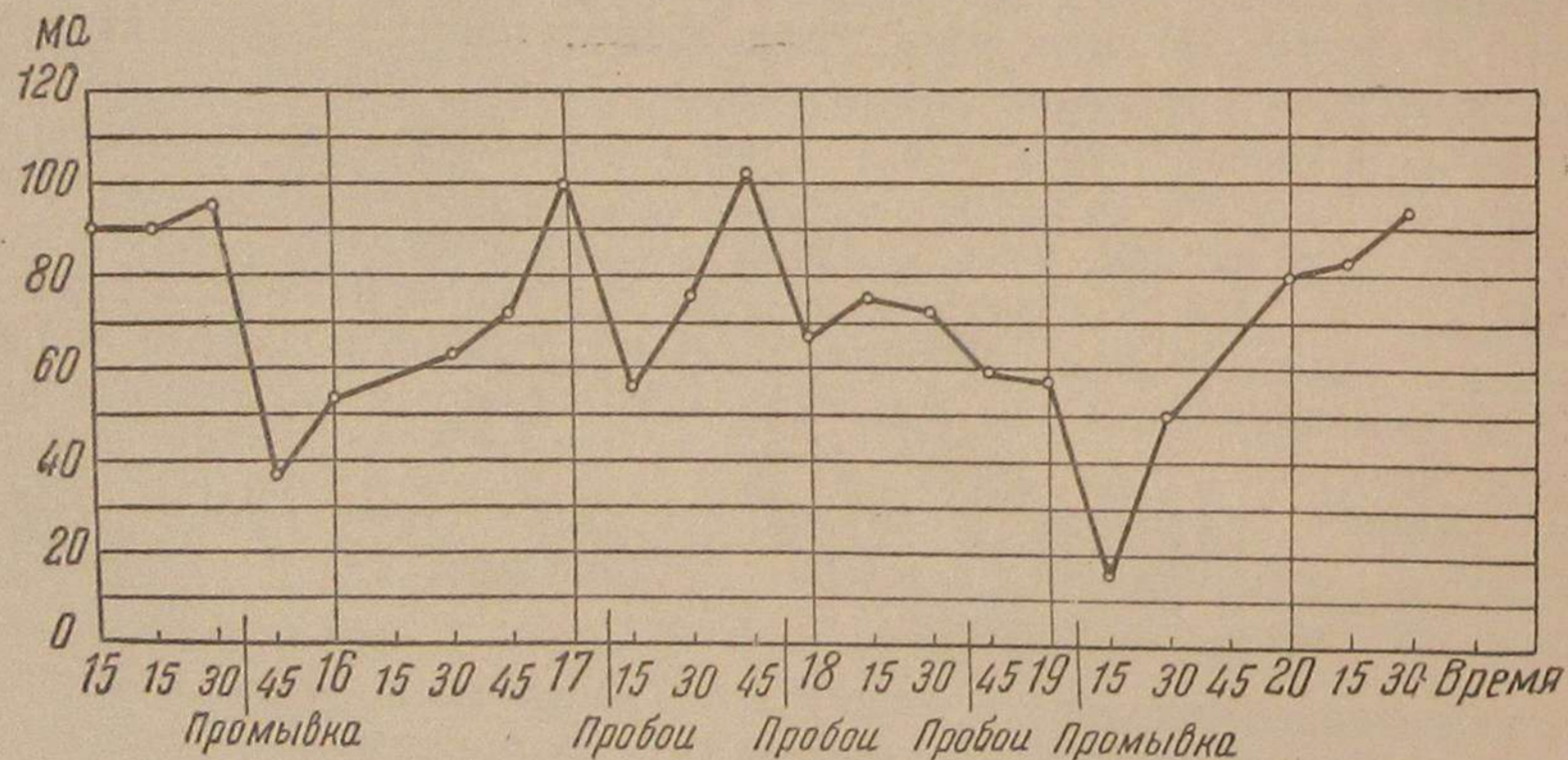
Увеличение проводимости слоя при увлажнении, естественно, уменьшает возможность появления обратной короны.



a



б



в

Рис. 27. Поле при обратной короне

Однако, даже в мокрых электрофильтрах при периодической промывке электродов обратная корона имеет иногда ясно выраженный характер. На рис. 27, б показаны вольтамперные характеристики такого аппарата, снятые Г. Гордон (Гинцветмет). Кривая I снята на воздухе, II — на газе перед промывкой, III — на газе после промывки. До промывки вольтамперная кривая лежит значительно выше таковой после промывки, что

может быть объяснено только образованием значительной обратной короны в слое пыли, обсохшей на осадительных электродах.

На рис. 27, в показана зависимость силы тока от времени при постоянном напряжении для того же аппарата. Как видно, после промывки сила тока уменьшается за счет прекращения обратной коронирования и постепенно увеличивается со временем; одновременно ухудшается очистка газов. Пробои, возникавшие одновременно в ряде параллельно работавших аппаратов, вызваны, вероятно, изменением концентрации серного ангидрида в газе. Отсюда видно важное значение влияния обратного коронирования на процесс пылеулавливания. В частности мокрые электрофильтры должны быть по возможности оборудованы непрерывной промывкой электродов.

Часть пыли, попавшей в область короны, оседает на коронирующем проводе. Хотя пыли этой немного, но и поверхность провода невелика, поэтому на нем могут образоваться значительные отложения (колбасы).

Если пыль проводяща, то ее осаждение эквивалентно увеличению радиуса коронирующего провода. При этом, чтобы коронирование не прекращалось, как это следует из уравнения (18), необходимо повысить приложенную разность потенциалов, что сделать не всегда возможно, так как обычно и в нормальных условиях ее поддерживают достаточно близкой к пробойной величине.

Если пыль непроводяща, то провод покрывается изолирующим слоем, и коронирование прекращается.

Таким образом, безусловно необходимо при конструировании и эксплуатации электрофильтра тщательно следить за чистотой электродов.

Самый механизм удержания пыли на электроде еще недостаточно изучен. Помимо указанных выше причин, без сомнения, влияет еще и форма частиц пыли (особенно ее размеры), а также состояние поверхности: чем дисперснее пыль, тем крепче она прилипает к электродам и тем труднее ее отряхнуть.

До подачи пыли в электрофильтр ток переносится от одного электрода к другому газовыми ионами, движущимися с большой скоростью. После подачи пыли часть ионов оседает на пыли, и так как масса пылинки несравненно больше массы газовой молекулы, то при той же действующей силе скорость передвижения этих ионов будет очень мала. Чем больше число пылинок в газе или, иначе, чем больше дисперсность пыли и ее концентрация, тем большая часть ионов оседает на пылинках.

Таким образом, ток в межэлектродном пространстве будет складываться из движения быстрых газовых ионов и медленных

заряженных пылинок. Хотя вторая часть тока невелика, но, созданная медленно движущимися зарядами, долго остающимися в поле, она может образовать пространственные заряды больше тех, которые созданы газовыми ионами.

Обозначим через I_{Γ} силу тока, вызванную газовыми ионами, а через I_{Π} — силу тока, вызванную переносом ионов пылью. Напряжение поля (для больших значений пространственных зарядов) должно остаться одинаковым как при чистом газе, так и при запыленном, что подтверждено и экспериментально [7]. Обозначая подвижность «пылевых зарядов» через K_{Π} , можно уравнение (26) написать в виде:

$$E = \sqrt{\frac{2I_{\Gamma}}{K_{\Gamma}} + \frac{2I_{\Pi}}{K_{\Pi}}} = \text{пост.}$$

Обозначим плотность пространственного заряда ионов через ρ_{Γ} , то же для зарядов, сидящих на пылинках, — через ρ_{Π} , и суммарную плотность пространственного заряда ρ . Тогда суммарный ток в электрофилт্রে (см. ур-ние 21 и предыдущее)

$$I = I_{\Gamma} + I_{\Pi} = 2\pi x \rho_{\Gamma} K_{\Gamma} E + 2\pi x \rho_{\Pi} K_{\Pi} E,$$

$$\rho = \rho_{\Gamma} + \rho_{\Pi} = \frac{I_{\Gamma}}{2\pi x K_{\Gamma} E} + \frac{I_{\Pi}}{2\pi x K_{\Pi} E} = \frac{1}{4\pi x E} \left(\frac{2I_{\Gamma}}{K_{\Gamma}} + \frac{2I_{\Pi}}{K_{\Pi}} \right),$$

где:

x — расстояние от коронирующего провода цилиндрического электрофилтра.

Из этих уравнений следует, что:

$$\rho = \rho_{\Gamma} + \rho_{\Pi} = \text{пост.}$$

Суммарный пространственный заряд остается постоянным, и при увеличении заряда пыли ρ_{Π} настолько же уменьшается заряд газовых ионов ρ_{Γ} . Так как подвижность (скорость) заряженных пылинок чрезвычайно мала, то сила тока уменьшается. Наконец, может наступить такой момент, при котором все ионы, выходящие из области короны, осядут на пылинках. Скорость передвижения ионов, или, иначе говоря, сила тока, может при этом упасть почти до нуля.

Такое явление называется «запиранием короны».

С увеличением концентрации пыли (или ее дисперсности) сила тока сперва мало уменьшается. Затем наступает столь резкое уменьшение силы тока, что его нулевое значение можно приурочить к определенной концентрации пыли.

Такое положение часто встречается на практике и особенно резко выражено при улавливании дисперсного тумана серной кислоты. При увеличении скорости газов в электрофилт্রে (это равноценно увеличенной концентрации, так как увеличивается

секундное содержание тумана в объеме электрофилтра) сила тока резко падает до нуля.

На рис. 28 дана кривая зависимости силы тока от содержания тумана серной кислоты в газе при первичном напряжении в 380 и 330 в.

Запирание короны имеет место на определенной длине электрода.

Степень очистки при этом снижается. Борьба с этим снижением можно, увеличивая максимально приложенную разность потенциалов, так, чтобы увеличить скорость движения заряженных частиц, т. е. силу тока и количество ионов, генерируемых в области короны. Однако это не всегда приводит к желательным результатам. В таком случае необходимо уменьшить скорость газов.

Так как осаждение пыли в электрофилт্রে во многом зависит от свойств частицы, ее размеров, диэлектрической постоянной, проводимости, формы и свойств поверхности, то при улавливании смешанной пыли можно в ряде случаев добиться обогащения части пыли какой-либо ее компонентой.

Так, например, при улавливании в электрофилт্রে золы из отходящих газов котельной неуловленная пыль значительно обогащается углеродом, как это видно из следующего (топливо АШ, пылеугольное сжигание):

	Углерод в золе, %		
до электрофилтра	45,8	26,34	17,2
после электрофилтра	82,9	80,01	49,9

На одном заводе газы печей обжига цинковых концентратов проходили через три последовательные камеры электрофилтра. При этом пыль, уловленная в третьей камере, настолько обогатилась свинцом и кадмием, что они могли быть рентабельно извлечены, в то время как извлечение этих металлов из концентратов было невозможно. На рис. 29 показано содержание различных металлов в пыли вдоль газового тракта для описанного случая.

При улавливании в электрофилтрах цементной пыли она оказывается иногда сильно обогащенной поташом.

Эта возможность сепарирования пыли в электрическом поле применяется и в специальных обогатительных установках.

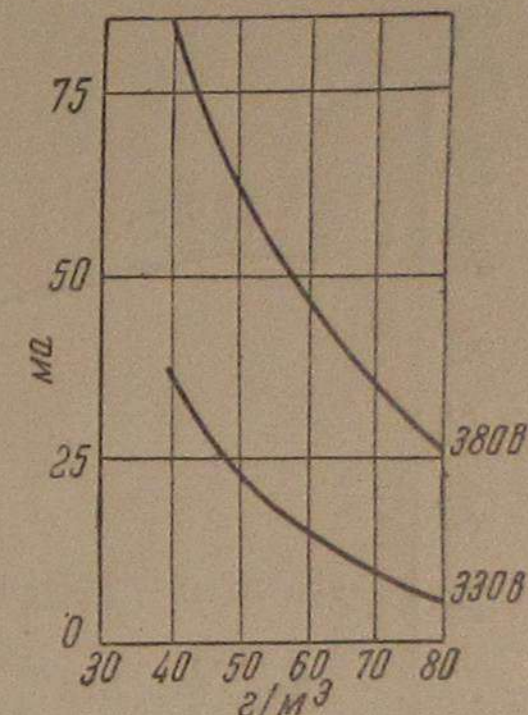


Рис. 28. Зависимость силы тока от содержания тумана серной кислоты при напряжениях 330 и 380 в

Во всяком электрофилт্রে, с одной стороны, вследствие значительной напряженности поля у поверхности провода генерируются ионы, с другой стороны, благодаря наличию электрического поля эти электроны двигаются к осадительному электроду, захватывая с собой частицы пыли или тумана.

Весьма заманчивым кажется разделение этих функций. Принцип устройства такого аппарата показан на рис. 30. Газ проходит ионизатор, состоящий из ряда чередующихся толстых стержней и тонких проводов, к которым подведено высокое напряжение постоянного тока. Тонкие проволоочки коронируют, и пыль заряжается. Газ, со-

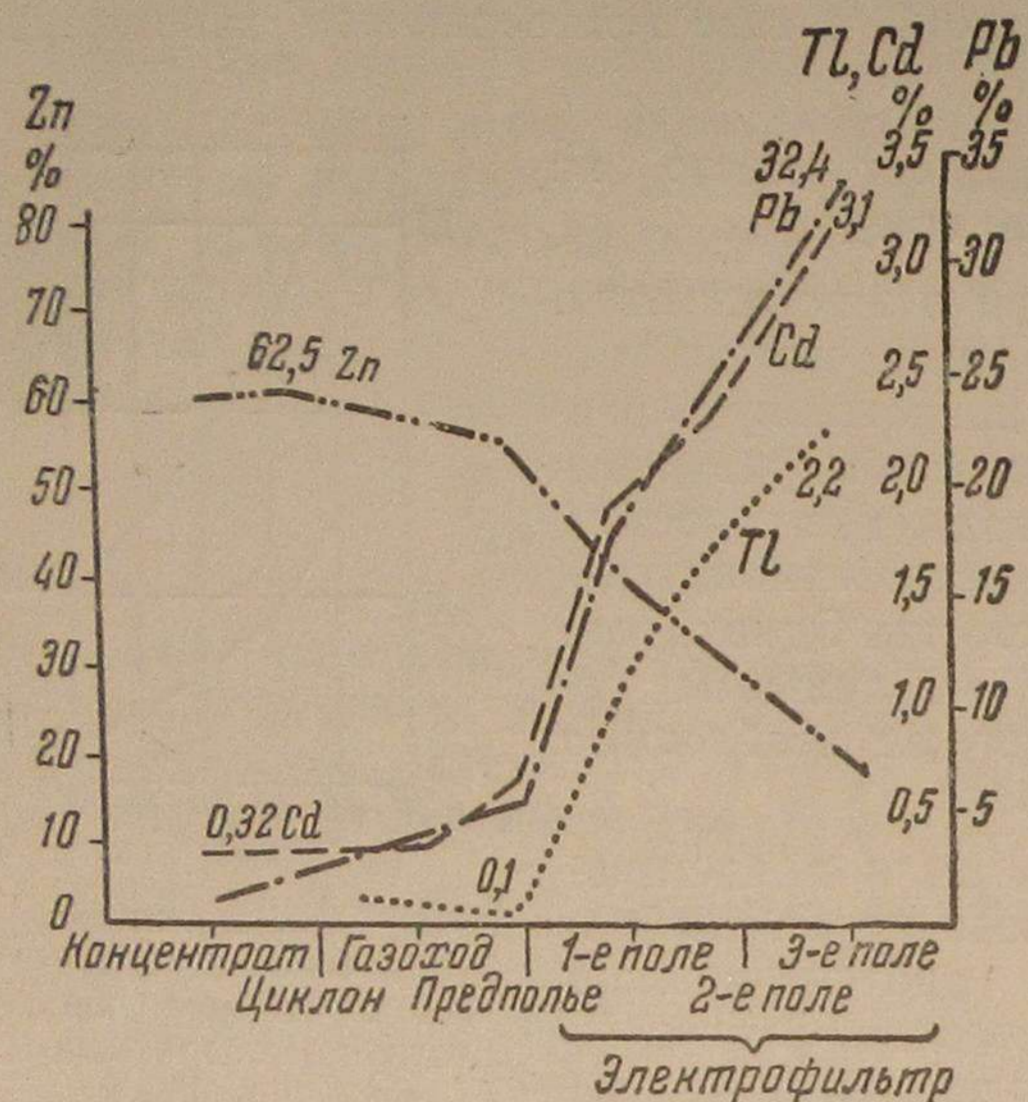


Рис. 29. Обогащение пыли металлами в электрофилт্রে

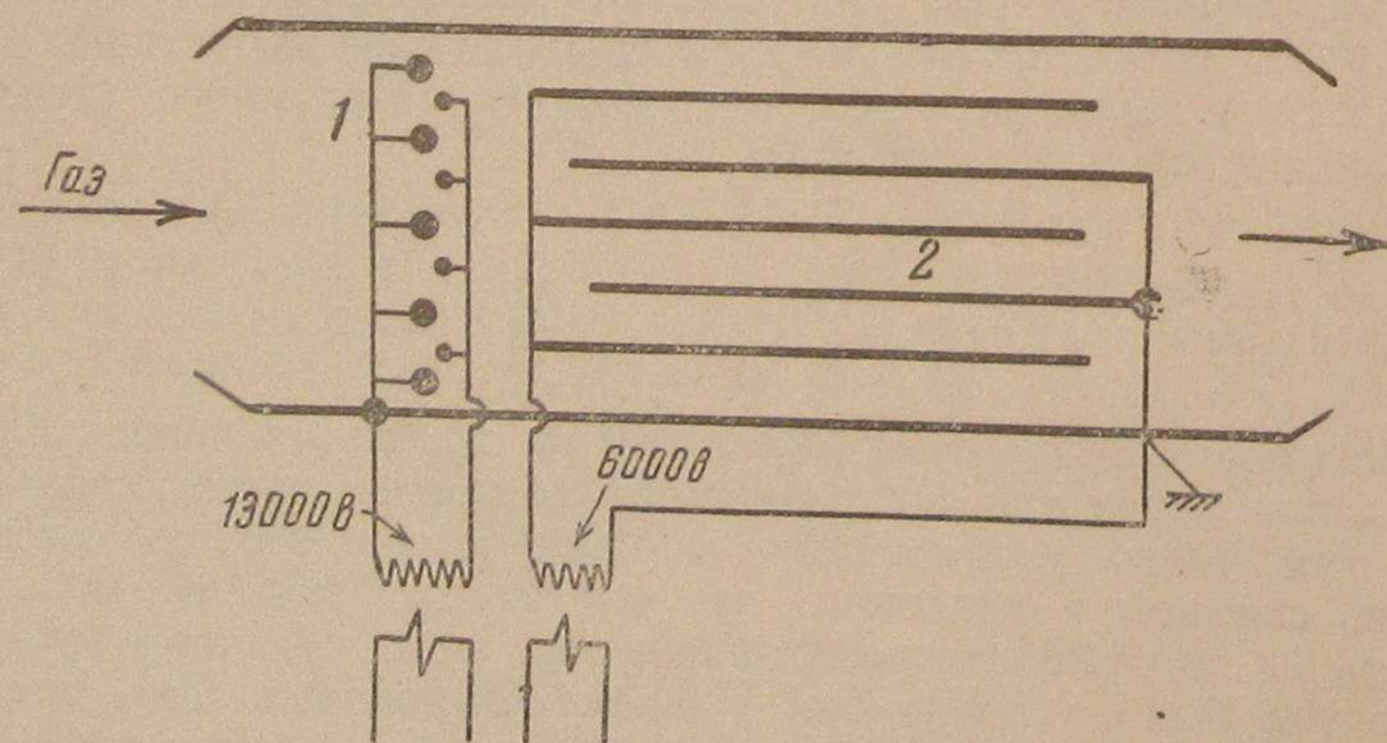


Рис. 30. Раздельные ионизация и улавливание пыли:
1 — ионизатор; 2 — осадительные пластины

держащий заряженную пыль, попадает в плоскопараллельное поле пластин, расстояние между которыми относительно велико.

Максимальная величина средней напряженности поля в обычном электрофилт্রে не превышает 8 кв/см из-за появления искрового разряда. В плоскопараллельном поле, как известно, пробивная напряженность поля равна примерно 30 кв/см . Вследствие этого скорость осаждения значительно увеличивается. В этом аппарате, однако, пыль, осевшая на пластине и отдавшая ей заряд (даже медленно), не удерживается более электрическими силами из-за отсутствия ионной подзарядки. Поэтому эти аппараты получили распространение только при тонкой, практически полной очистке воздуха, где осадительные пластины периодически или непрерывно смачиваются маслом для удержания подошедших пылинок.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА

Для создания значительного напряжения поля, необходимого в электрофилт্রে как для образования короны, так и для увеличения скорости движения заряженных частиц, к электродам следует подать постоянный по направлению ток при высоком напряжении. Причем это напряжение необходимо регулировать по величине.

Необходимость регулирования напряжения вызывается двумя обстоятельствами:

Повысительно-выпрямительные электроагрегаты выпускаются одного типа, в то время как рабочее напряжение на электрофилтрах различно. Кроме того, даже на одном и том же аппарате приходится регулировать напряжение в зависимости от изменений, происшедших в основном технологическом процессе (количества и температуры проходящего газа, концентрации пыли или тумана), и от состояния аппарата и т. д.

Агрегат ТУ-200

Здесь более подробно описывается агрегат ТУ-200, установленный в большом количестве на наших предприятиях (аппарат ТУ-335, устанавливавшийся при напряжении сети $220\text{—}380 \text{ в}$, отличается от него только устройством регулировочного автотрансформатора и добавочным автотрансформатором для мотора), менее подробно — новый тип, выпускаемый нашей промышленностью, и импортные трехфазные агрегаты.

Непосредственное получение постоянного тока высокого напряжения в генераторах довольно сложно. Поэтому предпочитают повышать переменное напряжение сети в трансформаторе

а полученный переменный ток высокого напряжения уже выпрямлять в специальном выпрямителе.

Принцип устройства трансформатора достаточно известен. На сердечник, набранный из тонких листов железа, намотаны две обмотки: первичная с малым числом витков и вторичная — с большим числом витков из тонкой проволоки.

К первичной обмотке подводится сетевое напряжение. Вторичное напряжение, полученное на концах вторичной обмотки, равно:

$$V_2 = V_1 \frac{n_2}{n_1},$$

где:

n_1 и n_2 — числа витков первичной и вторичной обмотки.

На рис. 31 дана синусоидальная кривая переменного напряжения. По оси абсцисс отложено время, по оси ординат — величина напряжения.

Если к концам источника синусоидального напряжения присоединить омическую нагрузку, то сила тока изобразится такой же синусоидальной кривой. Над линией времени (осью абсцисс) отложены значения тока при его течении в одну сторону, под ней — то же при течении в обратную сторону. Отрезок времени между значениями напряжения или тока, равными нулю, называется полупериодом; он равен $1/100$ сек. Два полупериода составляют период длительностью $\frac{1}{50}$ сек. Число

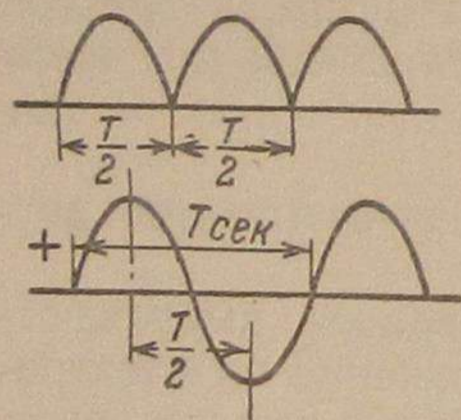


Рис. 31

периодов в секунду равно 50 ($C=50$). На этом же рисунке сверху изображена идеальная кривая выпрямленного тока.

В самом деле полностью выпрямлять напряжение не удастся, и при малых значениях напряжение не выпрямляется. К этому особенно и не следует стремиться, так как при малых значениях напряжения в электрофильтре не будет коронирования.

Для выпрямления полученного на концах вторичной обмотки трансформатора высокого напряжения служит механический выпрямитель.

Он состоит из асинхронного трехфазного мотора, в железе ротора которого выфрезеровано четыре полюса. Вследствие этого мотор при небольших нагрузках делает строго синхронное число оборотов. Напомним, что синхронное число оборотов

$$n = \frac{60 C}{p},$$

где:

C — число периодов сети, равное 50, и

p — число пар полюсов статора (в данном случае $p=2$ и $n=1500$).

Мотор установлен на крышке бака трансформатора.

На верхнем конце вертикального вала мотора насажена втулка, к которой крестообразно привернуты четыре лопасти из пертиакса или сухого, пропитанного лаком дерева (рис. 32);

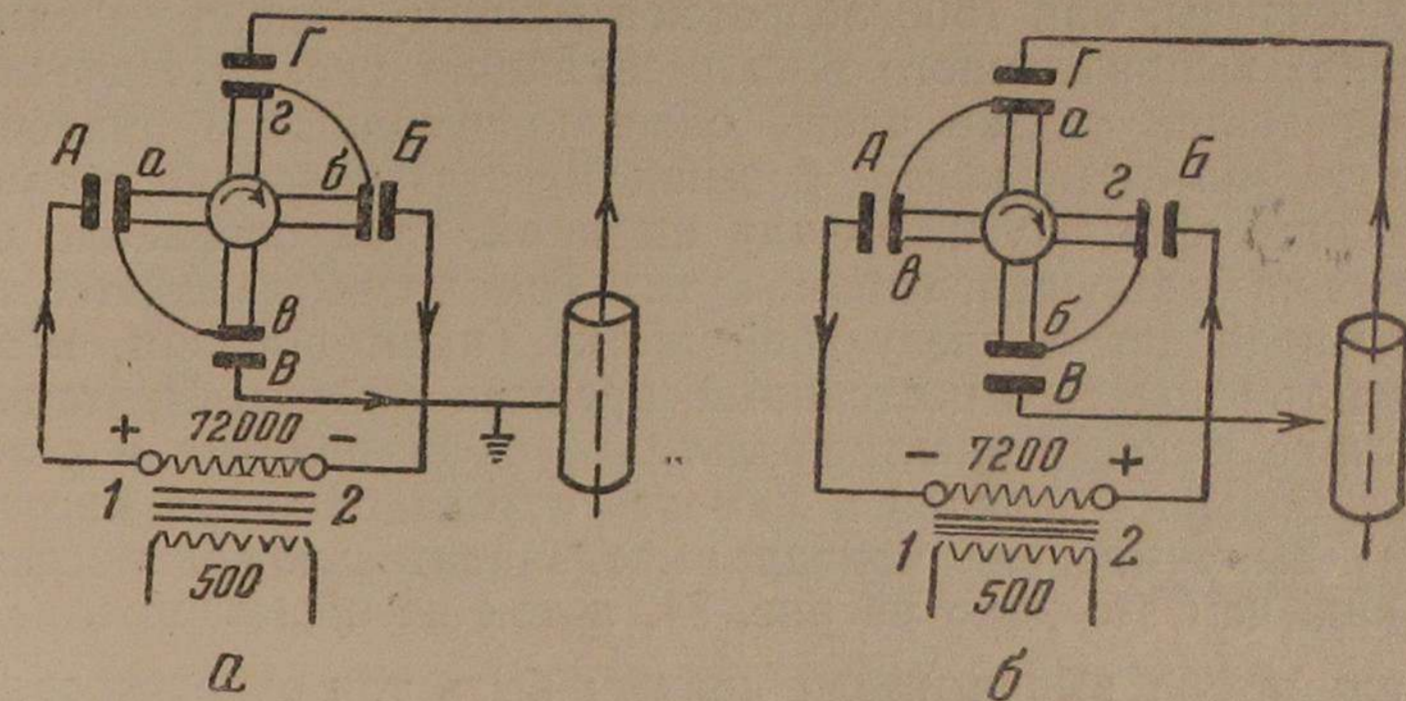


Рис. 32. Схема выпрямителя

на концах лопастей прикреплены алюминиевые башмаки $a, б, в, г$. Башмаки соединены попарно проволокой или алюминиевой дужкой. На крышке бака установлены четыре проходных изолятора с укрепленными на них щетками $A, Б, В$ и $Г$. Через два противоположных изолятора пропущены штыри, к которым крепятся концы вторичной обмотки трансформатора. Щетки двух других изоляторов присоединены соответственно к коронирующим и осадительным электродам. Для безопасности обслуживания и упрощения проводки положительный осадительный электрод всегда заземлен.

Допустим, что в данный момент (рис. 32, a) зажим 1 положителен, а зажим 2 отрицателен. Ток пойдет от зажима 1 к A , затем пройдет небольшой воздушный промежуток, попадет в башмак a , по проволоке к башмаку $в$, к щетке $В$, к осадительному электроду, через ионизированный объем электрофильтра, к коронирующему электроду и возвращается к зажиму 2 трансформатора (в самом деле электроны движутся в обратном направлении как по проводу, так и в электрофильтре; однако принято помечать движение тока в обратном направлении).

На зажимах трансформатора ток переменный, с числом периодов $C=50$. Это значит, что через полпериода, т. е. через сотую

долю секунды, ток должен потечь в обратную сторону. Предположим, что за это же время крест повернулся на четверть оборота. На этот раз путь тока (от плюса к минусу) будет 2—Б—г—б—В — осадительный электрод — коронирующий электрод — Г—а—в—А—1. Проследив за движением тока по стрелкам, мы увидим, что в то время как в трансформаторе и проводах 1—А и 2—Б направление движения тока меняется, в электрофильтре ток течет в одном направлении. Это будет в том случае, если вал с сидящим на нем крестом делает четверть оборота за одну сотую секунды, или 1500 оборотов в минуту. Кривая (идеализированная) выпрямленного тока имеет вид по рис. 31. Конечно, из нее вырезается только часть, обведенная сплошной линией, так как в те моменты, когда башмак креста подойдет примерно к середине промежутка между щетками, ток оборвется, из-за увеличения воздушного промежутка. Ток вновь замкнется когда башмак подойдет к следующей щетке. Таким образом, к электрофильтру подается постоянный, прерывистый ток. Практически вследствие емкости электрофильтра (из-за наличия в газовом объеме больших зарядов в момент отхода башмака креста от щетки) выпрямленная кривая имеет значительно более сглаженный вид, чем это дано на рис. 31, и ток не обрывается.

Вал мотора выпрямителя должен быть так ориентирован во времени, чтобы срезать верхушки кривой напряжения. Заранее знать правильное положение башмаков креста относительно щеток нельзя, так как оно зависит от нагрузки, длины кабеля и т. п. Поэтому весь корпус мотора (статор) может поворачиваться вокруг своей вертикальной оси с помощью ручного привода.

При правильном положении креста ток, протекающий через электрофильтр, максимален, и поворот статора мотора в любую сторону уменьшает величину тока, измеряемую миллиамперметром.

В зависимости от положения креста в момент включения тока (правильное положение или отличное на 180°) будет найдена полярность проводов, идущих к электрофильтру.

После включения тока в электрофильтр можно по отклонению стрелки миллиамперметра (прибор постоянного тока) определить полярность проводов электрофильтра.

Однако заранее знать полярность невозможно. Для определения ее после включения мотора, но до включения рубильника трансформатора, выпрямляют ток со стороны низкого напряжения и подают его к неоновой лампе (рис. 33). Последняя (похожая на обычную электрическую лампочку) заполнена неоном и имеет два электрода. При пропускании через нее постоянного тока в ней светится только катод.

Выпрямитель сетевого напряжения (220 в) состоит из двух медных полуколец (рис. 33), укрепленных по валу мотора изолированно от него и друг от друга. Их касаются две рядом стоящие щетки. Они будут замкнуты между собой только тогда, когда они касаются одного и того же полукольца. При синхронном вращении вала мотора это будет происходить всегда в одном и том же положении, и через каждые пол-оборота лампа будет приключена к сети в один и тот же момент времени, т. е. через лампу будет идти ток одного направления.

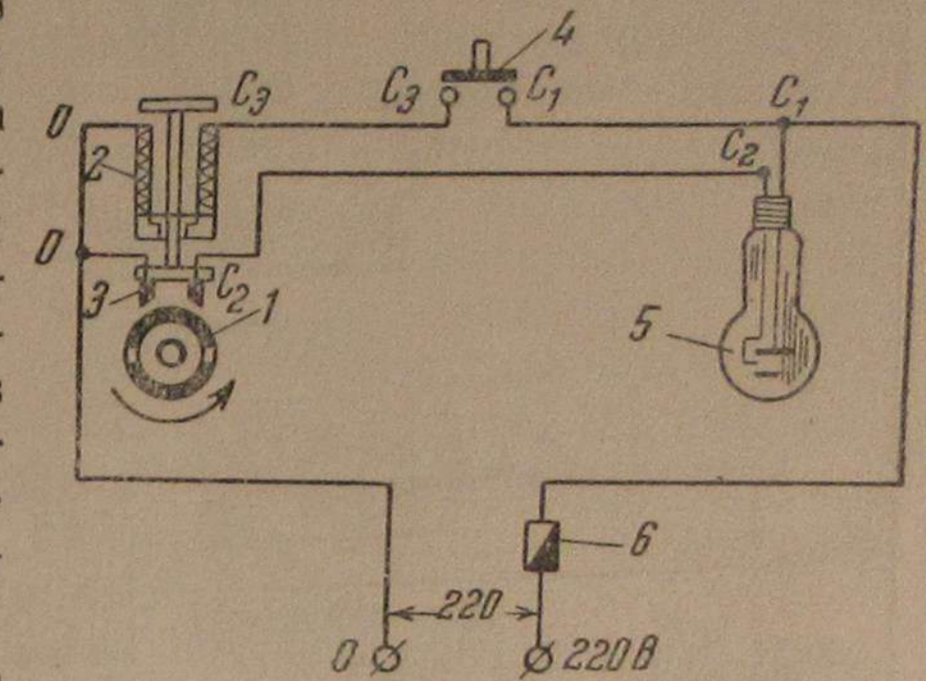


Рис. 33. Включение неоновой лампы: 1 — коллектор; 2 — электромагнит; 3 — щетки; 4 — выключатель; 5 — неоновая лампа; 6 — предохранитель

Для того чтобы щетки быстро не стирались и для уменьшения забивания угольной пылью щеток зазора между полукольцами, они касаются кольца только при пуске, притягиваясь электромагнитом, включаемым кнопкой.

Так как крест и полукольца жестко связаны друг с другом валом, то нетрудно установить опытным путем (по виду короны или миллиамперметру) полярность выпрямленного тока высокого напряжения по свечению неоновой лампы.

У переключателя направления тока (см. далее схему) отмечают, свечению какого электрода неоновой лампы соответствует то или иное положение переключателя.

Обмотка магнита, поджимающего щетку к кольцам, рассчитана на очень кратковременную нагрузку и легко перегорает; поэтому ее включают только на несколько секунд.

Далее рассматривается развернутая схема тока (рис. 34), приводится основная и описывается вспомогательная аппаратура. Из сети трехфазный ток 380 в подводится к щитку, далее к главному рубильнику и затем к реактивному синхронизированному мотору выпрямителя. Две фазы подведены к концам обмотки автотрансформатора. Обмотка автотрансформатора имеет отпайки, присоединяемые к 21-му контакту коммутатора. Автотрансформатор с коммутатором служат для регулирования напряжения, подаваемого к первичной обмотке высоковольтного трансформатора. В зависимости от положения ручки коммутатора меняется число витков во вторичной цепи автотрансформатора, и напряжение, подаваемое к трансформатору, может ме-

няться от 120 до 380 в. Необходимость регулировать первичное напряжение, подаваемое к трансформатору (соответственно меняется вторичное напряжение), вызывается тем, что не только различные электрофильтры работают при разных напряжениях, но на один и тот же электрофильтр может быть подано разное напряжение в зависимости от изменений газо-пылевого режима. Кроме того, к одному и тому же электроагрегату могут быть приключены два или три электрофильтра. При этом происходит увеличение силы тока в обмотках трансформатора, увеличивается падение напряжения внутри трансформатора и понижается напряжение у электрофильтров. Чтобы скомпенсировать это понижение, необходимо повысить подаваемое напряжение.

Прежде чем попасть в первичную обмотку трансформатора, ток проходит через реостат, амперметр, максимально нулевой автомат и переключатель направления тока.

Концы высоковольтной обмотки присоединены к двум дроссельным катушкам, погруженным в масло в баке трансформатора, и затем к противоположным щеткам выпрямителя. От одной из прочих щеток линия идет к подвесной радиодроссельной катушке и высоковольтным кабелем или голой шиной на изоляторах подается к коронирующим проводам.

От другой щетки ток идет через дроссельную катушку в баке трансформатора, миллиамперметр, шунтированный конденсатором и рубильником, к осадительным электродам. Проводка к осадительным электродам — голой железной заземленной шиной. Эта же щетка соединена с пробойным предохранителем, другой контакт которого заземлен. Вольтметр, включенный перед автоматическим рубильником, измеряет напряжение на первичной обмотке трансформатора. Параллельно ему включены последовательно два конденсатора. Средняя точка между ними заземлена.

Назначение этих конденсаторов — отводить токи высокой частоты в землю. Эти токи частоты образуются при многократном разрыве тока на кресте выпрямителя тока и мешают радиоприему.

Конденсаторы, не пропуская тока низкой частоты, представляют малое сопротивление для высокочастотного тока.

Дроссельные катушки, о которых говорилось ранее, представляют, наоборот, большое сопротивление току высокой частоты. Установленные на выходах тока высокого напряжения после выпрямителя, они не дают высокочастотному току попадать в проводку к электрофильтру и распространяться по ним, как по антеннам. Дроссели, установленные в масле на выводах трансформатора, препятствуют току высокой частоты попадать в низковольтную сеть.

4*

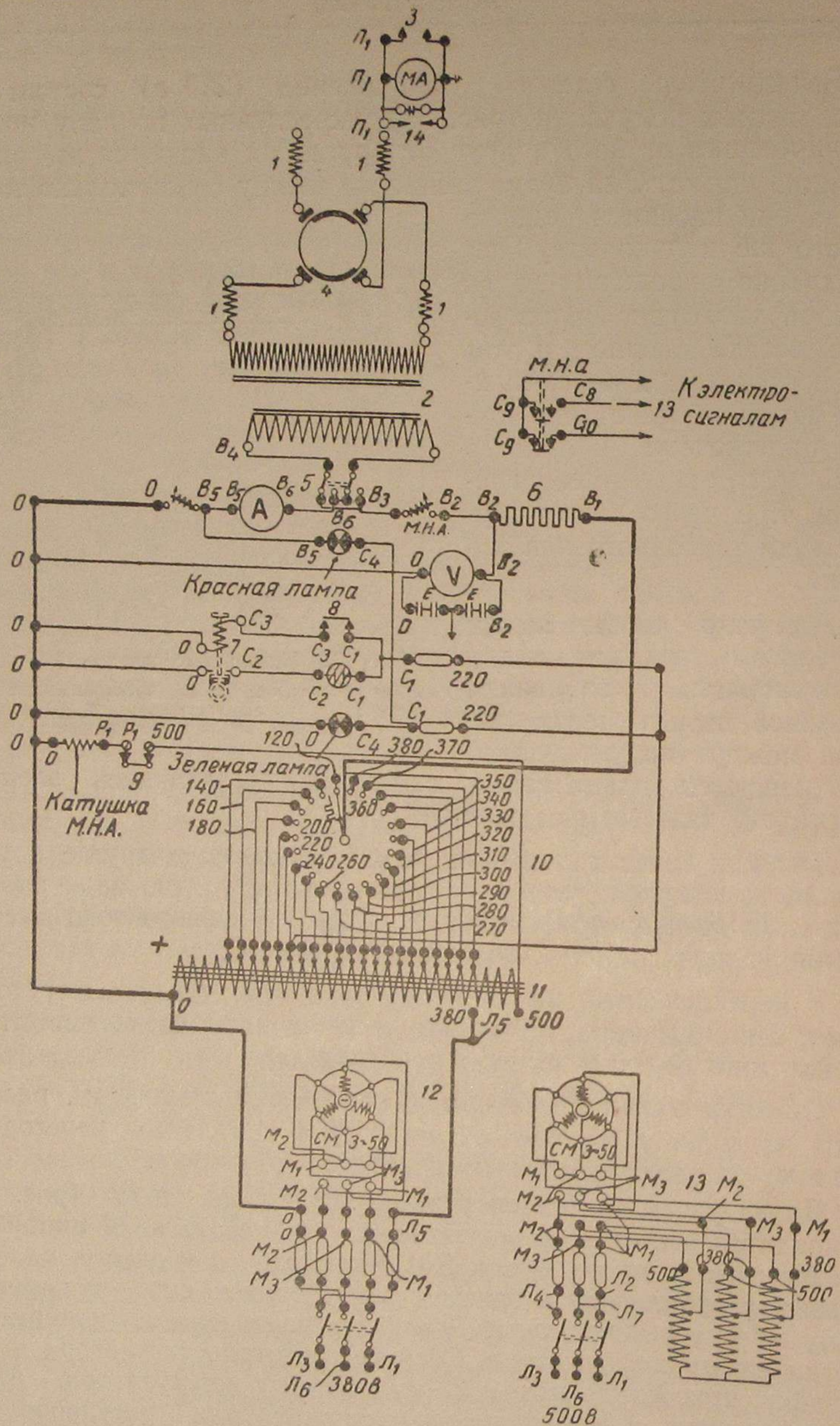


Рис. 34. Развернутая схема тока:

- 1 — дроссель; 2 — трансформатор; 3 — замыкатель миллиамперметра; 4 — механический выпрямитель; 5 — переключатель направления тока; 6 — буферное сопротивление; 7 — синхронизатор; 8 — замыкатель синхронизатора; 9 — блокировка двери щита; 10 — коммутатор; 11 — трансформатор; 12 — мотор механического выпрямителя; 13 — схема включения мотора выпрямителя к сети 500 в через автотрансформатор; 14 — разрядник

На щите установлена зеленая лампа, зажигающаяся при включении главного рубильника, и красная, зажигающаяся при включении автоматического рубильника, указывая на то, что подано высокое напряжение. На схеме показано также включение неоновой лампы и магнитного включателя щеток и синхронизатора, уже описанные нами.

Теперь рассмотрим подробнее устройство всех аппаратов. Высоковольтный трансформатор (ЭТВ-220) (рис. 35) имеет железный (набранный из листов) сердечник, прикрепленный к

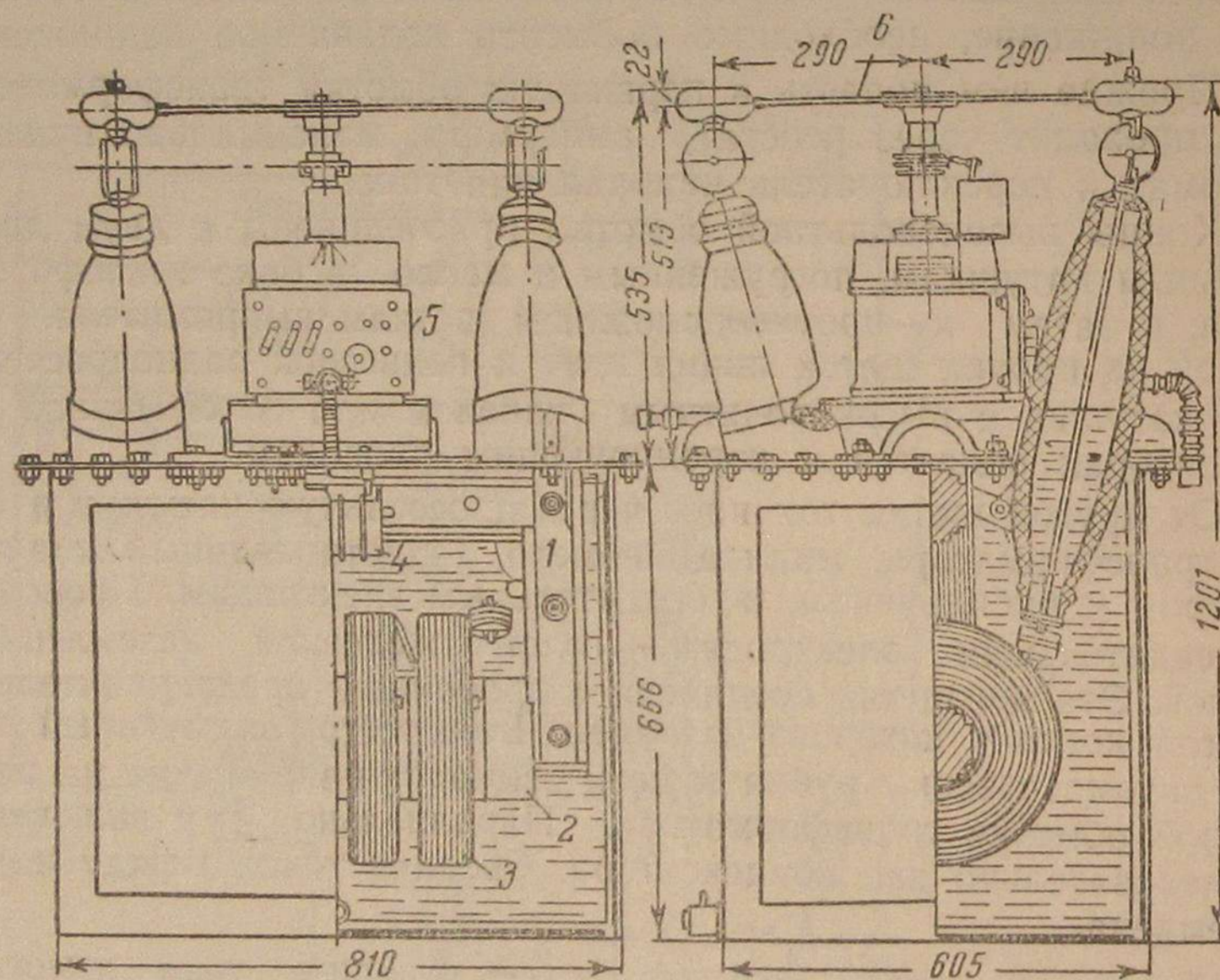


Рис. 35. Высоковольтный трансформатор с выпрямителем:

1 — сердечник; 2 — первичная обмотка; 3 — вторичная обмотка; 4 — радиодроссель; 5 — мотор; 6 — крест

крышке бака с маслом, в которое он погружен. На сердечник (кern) надета первичная толстая обмотка из провода ПБД, сечением $4,4 \times 4,4$ мм (192 витка). На нее надвинут гетинаксовый цилиндр, изолирующий ее от вторичной обмотки. На цилиндр надета вторичная обмотка, состоящая из четырех последовательно соединенных катушек. Каждая катушка имеет 9045 витков из провода ПЭЛ, диаметром в 0,41 мм. Крайние 405 витков сделаны из провода ПБД диаметром 1 мм.

На крышке бака установлены четыре проходных фарфоровых изолятора. Через два из них проходят токоведущие стержни, к которым крепятся дроссельные катушки и концы вторичной обмотки (рис. 36). К токоведущему стержню третьего изолятора крепится радиодроссель, другой конец которого выведен также на крышку бака, через низковольтную втулку. Четвертый изолятор не имеет токоведущего стержня.

На всех изоляторах укреплены наверху шапки со щетками выпрямителя. На крышке бака трансформатора установлен мотор выпрямителя с насаженными на вал крестом и полукольцами указателя направления тока. Концы всех изоляторов, опущенных в масло в баке, открыты. Таким образом, масло, нагревающееся при расширении, может подниматься в изоляторы. Чтобы выпускать воздух, сжимаемый при этом, в шапках изоляторов имеются отверстия, в которые завернуты пробки. Перед пуском установки эти пробки следует отвернуть.

В баке имеются пробки для заливки и спуска масла.

В эксплуатации следует следить за плотностью бака, за температурой масла и раз в 6 мес. следует проверять пробойную прочность масла.

Мощность трансформатора 18 кв; первичное напряжение 380 в; вторичное 72 000 в; ток первичный 50 а; вторичный 200 ма; общий вес (с маслом) 425 кг.

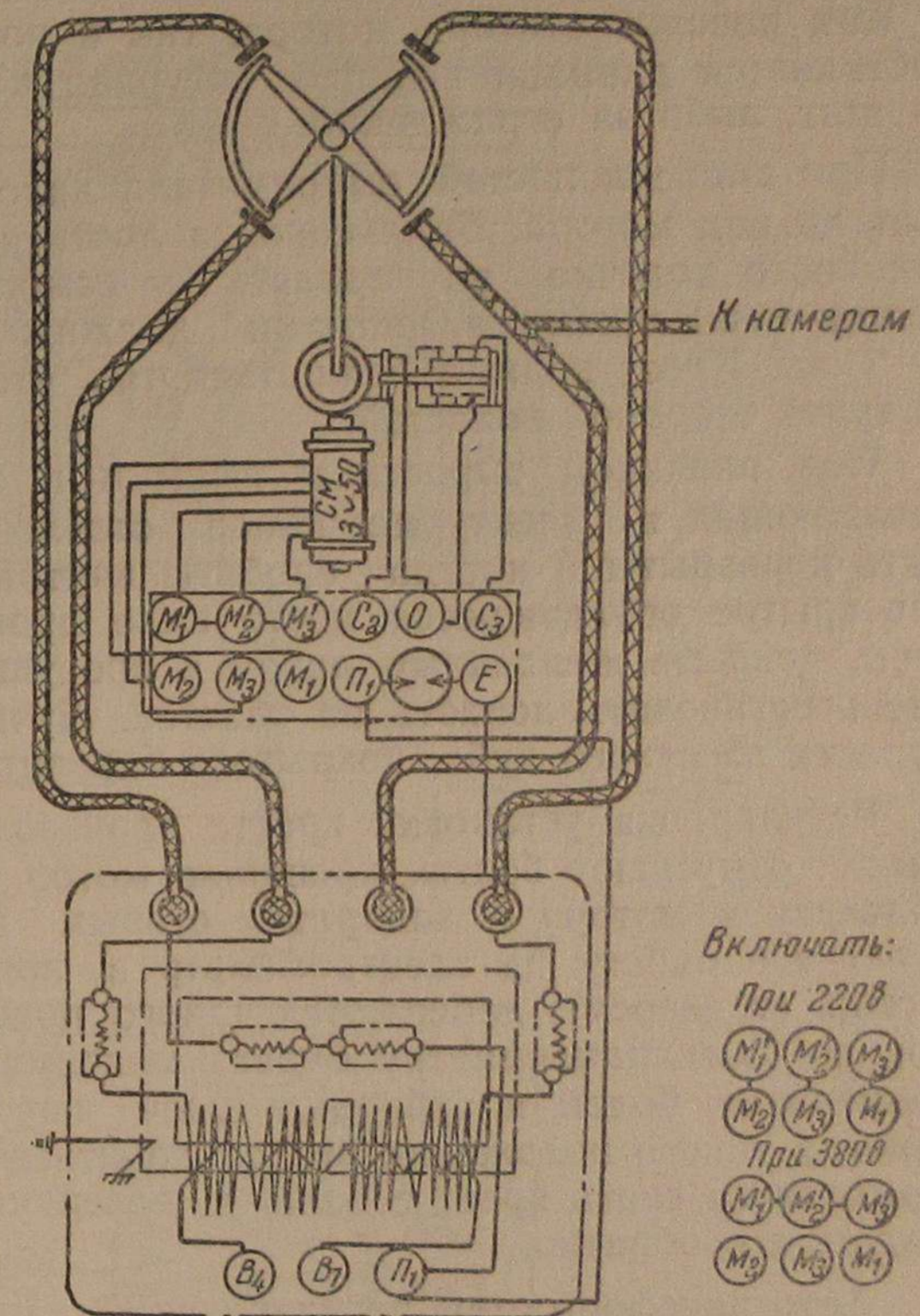


Рис. 36. Схема соединений трансформатора и выпрямителя

В ранее выпускавшихся типах аппаратов мотор устанавливался на баке трансформатора горизонтально и щетки выпрямителя крепились на четырех изоляторах, установленных на кольцевой траверсе. Последняя могла поворачиваться вокруг корпуса мотора, к которому она крепилась.

Как поворот статора мотора, так и поворот траверсы осуществляется длинной штангой, штурвал которой выведен либо на щит, либо за ограждение.

При смене лопастей выпрямителя надо следить за тем, не бьет ли вал мотора. Балинсировка достигается установкой проволочного колечка на лопасть у самого башмачка. Зазоры между башмачками и щетками должны лежать в пределах 1—2 мм. Крест должен вращаться так, чтобы воздух рассекался тупой стороной лопастей.

Под влиянием сырости и пыли и в особенности кислоты, попадающих в электромашинное отделение, лопасти могут быть перекрыты и иногда пробиты внутри. В первом случае перекрытое обуглившееся место надо процарапать острым ножом, покрыть шеллачным лаком и просушить. Во втором случае восстановить лопасть не удастся. Лучше всего изготовлять лопасти из сухого дуба, покрытого бакелитовым лаком.

Регулировка установки креста производится следующим образом: спускают болты, крепящие мотор к крышке бака (или траверсу к мотору в аппаратах старых выпусков), включают агрегат в работу на электрофилтр и, поворачивая штурвалом мотор (траверсу), добиваются такого положения, при котором ток по миллиамперметру будет максимальным. После этого закрепляют болты и убирают ключ поворотного механизма. Иногда такого положения нельзя добиться поворотом траверсы, приходится снять крест с вала и, повернув на некоторый угол, надеть его обратно.

Автотрансформатор, регулирующий напряжение, подаваемое к первичной обмотке высоковольтного трансформатора, установлен в щите управления. На керн поверх изоляционной втулки намотана обмотка с отпайками (рис. 37). Автотрансформатор может быть включен в сеть 380 или 500 в. Отпайки обмотки присоединены к соответственным контактам коммутатора. При повороте ручки последнего движется сидящая на другом конце вала щетка по его контактам, причем один конец первичной обмотки трансформатора присоединяется к тому или иному витку автотрансформатора, и постепенно, небольшими ступенями повышается (или понижается) напряжение.

Если щетки коммутатора уже промежуток между его контактами, то ток будет прерываться при движении щетки, и контакты будут искрить и обгорать. Если же щетка шире, то она

будет при передвижении замыкать накоротко часть витков автотрансформатора.

Так как напряжение между соседними контактами равно либо 10, либо 20 в, то сила тока короткого замыкания доволь-

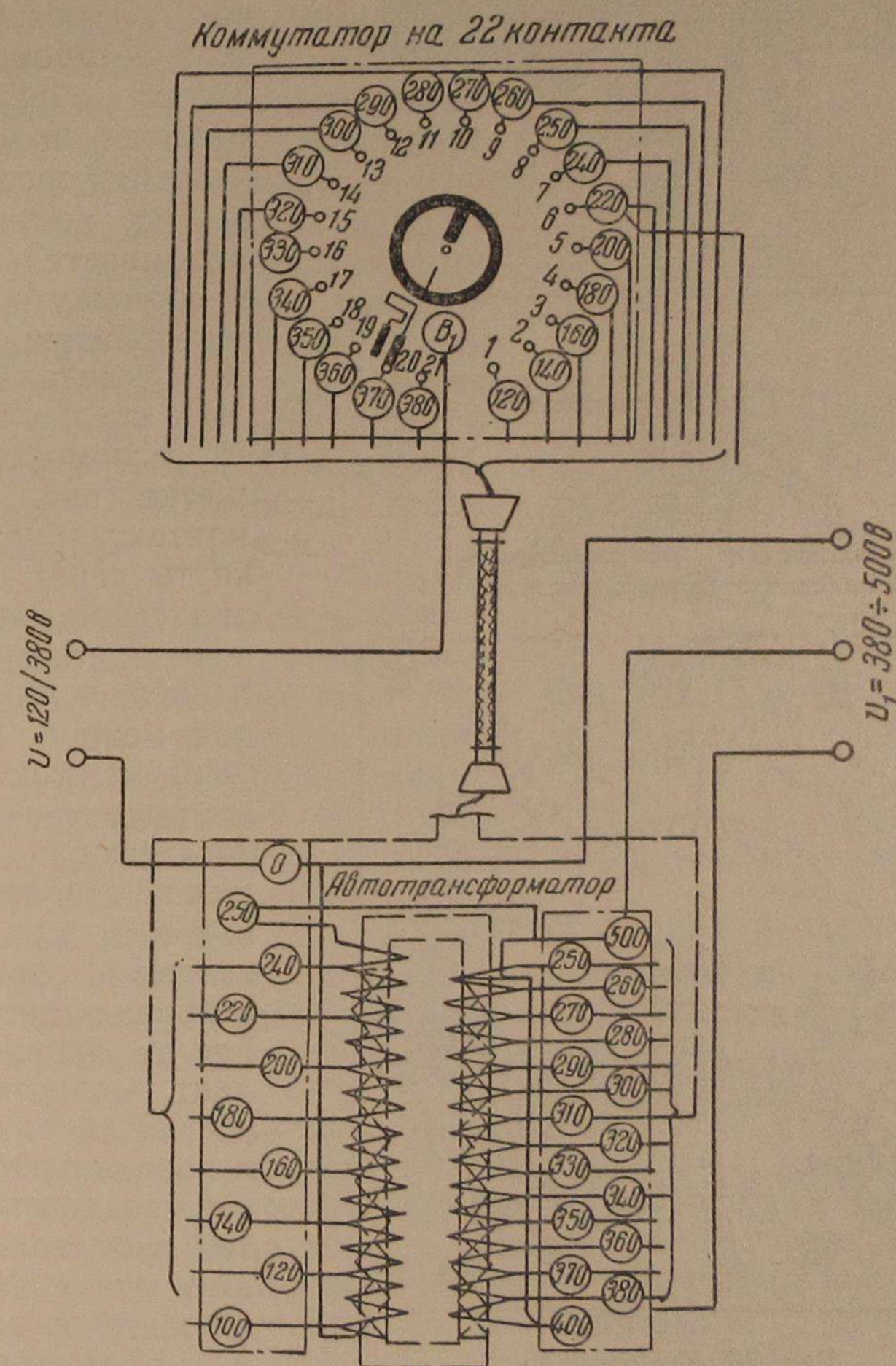


Рис. 37. Схема автотрансформатора с коммутатором

но велика, и эта часть обмотки сгорит. Во избежание этого рядом с основной щеткой крепится вспомогательная, соединенная с основной сопротивлением, укрепленным на ручке

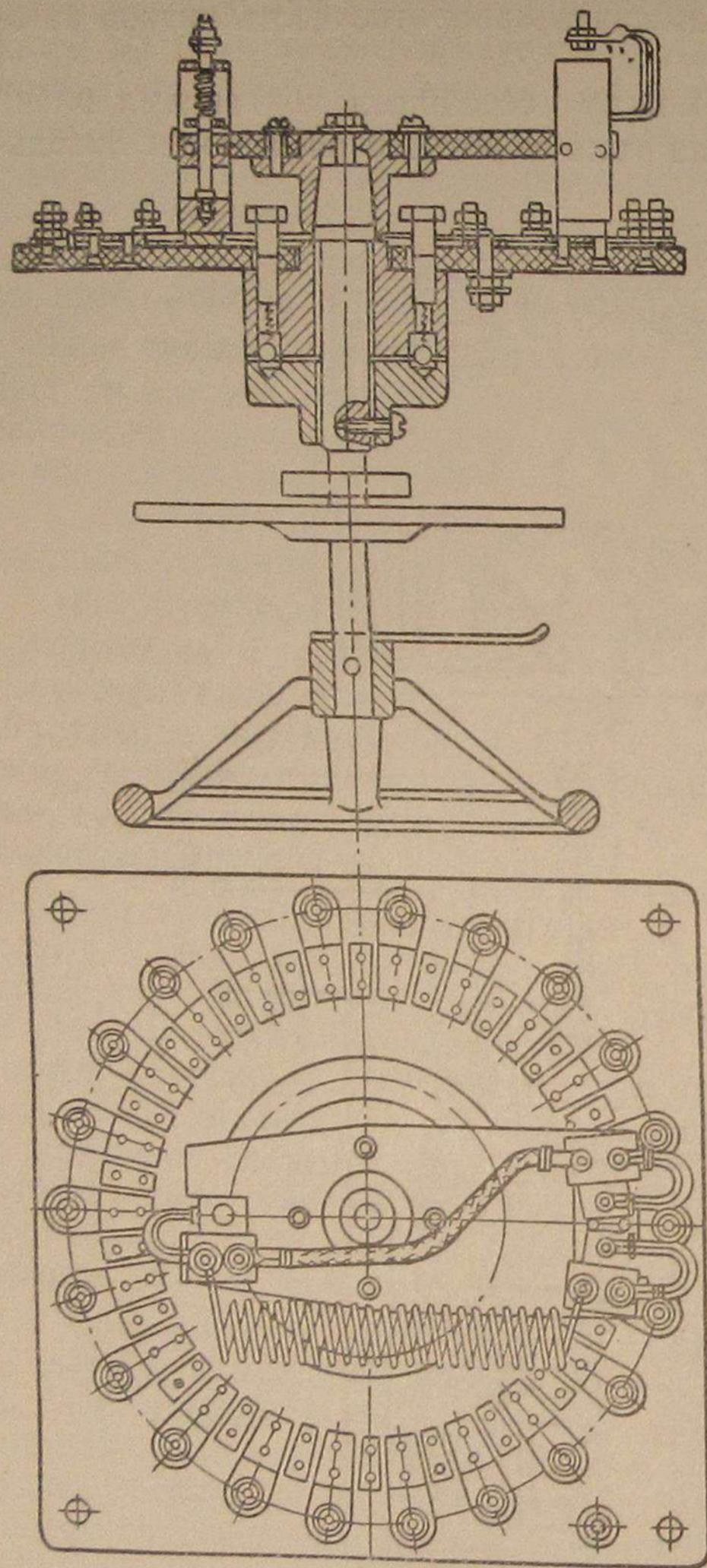


Рис. 38. Коммутатор

(рис. 38). Ширина основной щетки меньше промежутка между контактами. Обе же щетки вместе перекрывают этот промежуток. Таким образом, в рабочем положении основная щетка стоит на контакте, а вспомогательная — в промежутке. При передвижении щеток на соседний контакт сперва попадает вспомогательная щетка (рис. 39), оба контакта будут замкнуты через сопротивление. Затем основная щетка попадает в промежуток между контактами и ток будет замкнут через вспомогательную щетку и сопротивление, и, наконец, при дальнейшем движении основная щетка станет на средний контакт. Сопротивление рассчитано на кратковременную работу в несколько секунд, так что если оставить ручку на продолжительное время в положении, при котором ток идет

через сопротивление, то она сгорит и может испортить коммутатор.

Контакты укреплены на мраморной доске. Щетки прижимаются к контактам пружинами. Для того чтобы щетки не проваливались в межконтактные промежутки, между ними укреплены холостые пластинки. Ток из контакта поступает в

главную щетку и по соединительному проводу — к щетке, скользящей по медному кольцу. От кольца ток идет в трансформатор. Вспомогательная щетка, стоящая рядом с главной, соединена сопротивлением со щеткой на кольце.

Выше была отмечена недопустимость продолжительной задержки вспомогательной щетки на контакте. Правильное положение щеток ощущается при повороте штурвала, благодаря отщелкивающему механизму. Последний (рис. 38) состоит из двух шариков, которые пружинами прижимаются к шайбе, вращающейся вместе со щетками. В ней высверлены лунки. Когда главная щетка стоит на контакте, шарики находятся в лунках. При повороте шарики отжимаются, и это легко ощущается рукой.

Со временем контакты подгорают. Для ремонта необходимо снять траверсу со щетками (отвернув болт, которым втулка шайбы подтягивается на конус вала штурвала) и притереть контакты самой мелкой стеклянной бумагой, наклеенной на деревянный шаблон. При сильном обгорании и износе контактов нужно снять весь коммутатор и проточить контакты на станке, подтянув предварительно болты крепления контактов. Полезно слегка смазывать контакты вазелином.

При обратной установке траверсы следить за соответствием отщелкивающему механизму. Нужно тщательно следить за тем, чтобы межщеточное сопротивление не провисало, не касалось других частей и было хорошо зажато в креплениях. Коммутатор необходимо во избежание коробления щитка предохранять от сырости (если он собран на пектинаксе).

Мощность автотрансформатора 18 кВА. Напряжение первичной обмотки 380 или 500 В, вторичной 100—380 В. Обмотка проводом ЛВОО 3,8 × 6,9 мм, а с изоляцией 4,3 × 7,4 мм. Количество витков первичной обмотки 296, вторичной 174.

Межщеточное сопротивление никелиновое, диаметр проволоки 2 мм, длина 1570 мм, величина сопротивления 0,2 Ом.

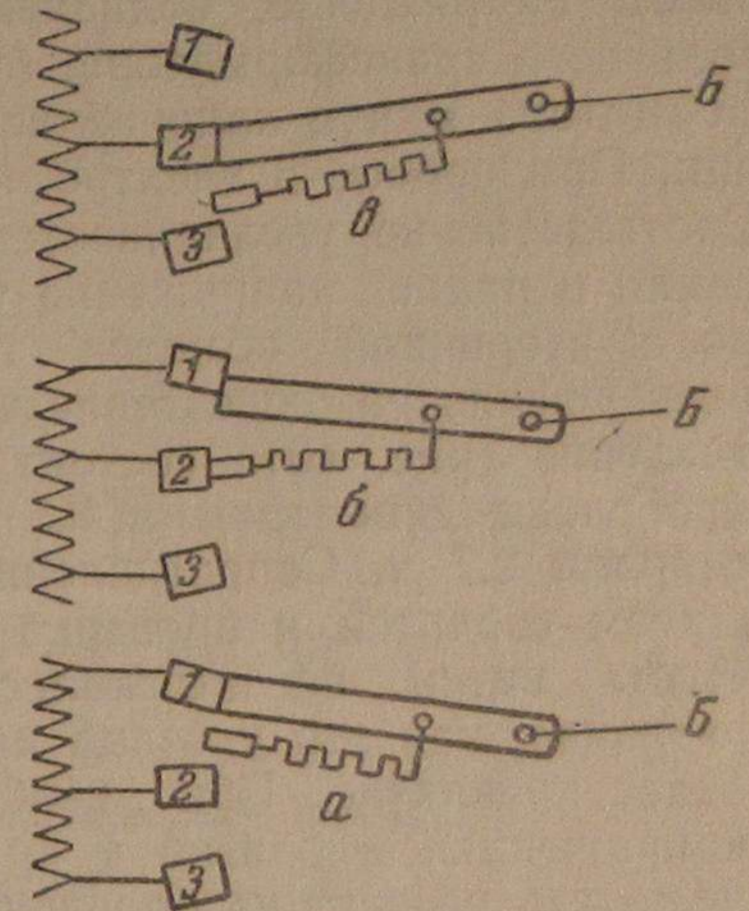


Рис. 39. Три последовательных положения щетки коммутатора

Сопротивление, включенное последовательно в главную цепь, служит для ограничения величины тока искрового или дугового разряда между коронирующим и осадительным электродами. Такие случайные разряды могут происходить при обвалах пыли, случайном повышении напряжения сети и пр.

По закону Ома падение напряжения в сопротивлении равно IR , где I — сила тока, a , R — сопротивление, *ом*. Таким образом напряжение, подаваемое к первичной обмотке высоковольтного трансформатора, будет равно напряжению автотрансформатора минус падение напряжения в защитном сопротивлении. При пробое в электрофилтре сила тока резко возрастает, соответственно увеличивается падение напряжения в сопротивлении и падает напряжение у зажимов первичной, следовательно, и вторичной обмоток трансформатора и на электродах электрофилтра, вследствие чего возникшая дуга гаснет. Сопротивление (рис. 40) состоит из 15 спиралей константановой проволоки диаметром в 2,5 мм. Длина проволоки в каждой спирали 2,7 м. Сопротивление спирали 0,266 *ом*. Уход за реостатом сводится к проверке контактов и наблюдению за тем, чтобы витки не замыкались. Спирали могут приключаться различно, как это указано на рис. 40. При этом сопротивление будет различно. При необходимости работать при высоких напряжениях и близко к пробойным его значениям следует включать реостат на большее сопротивление.

Максимально нулевой автоматический рубильник служит для автоматического выключения при: а) повышении силы тока выше 50 *a*; б) при понижении напряжения питающей сети на 30—50% и ниже. Отключение производит электромагнитное реле, включенное на напряжение сети и удерживающее защелку выключающего механизма. При понижении или выключении напряжения защелка отпадает, и пружина выключает автомат. Катушка реле включена в сеть через контакт, установленный на двери ограждения трансформаторной ячейки. При открывании двери катушка обесточивается, и автомат выключает трансформатор.

При автоматическом выключении автомат замыкает контакты сирены и сигнальной лампы. При включении автомата одновременно включается красная лампа.

Нулевая катушка мотается из проволок ПЭ. При напряжении сети в 220 в 4400 витков из проволоки 0,31 мм, при напряжении 380 в 7600 витков из проволоки 0,20 мм, при напряжении 500 в 10 000 витков из проволоки 0,20 мм.

Миллиамперметр со шкалой 50 и 250 *ма*, указывающий силу тока, проходящую через электрофилтры, включен в за-

земленный провод. Так как собственное сопротивление миллиамперметра очень мало, то разность потенциалов между щеткой выпрямителя и землей (IR) очень мала, и прибор может быть без опасности для обслуживающего персонала вынесен на щит.

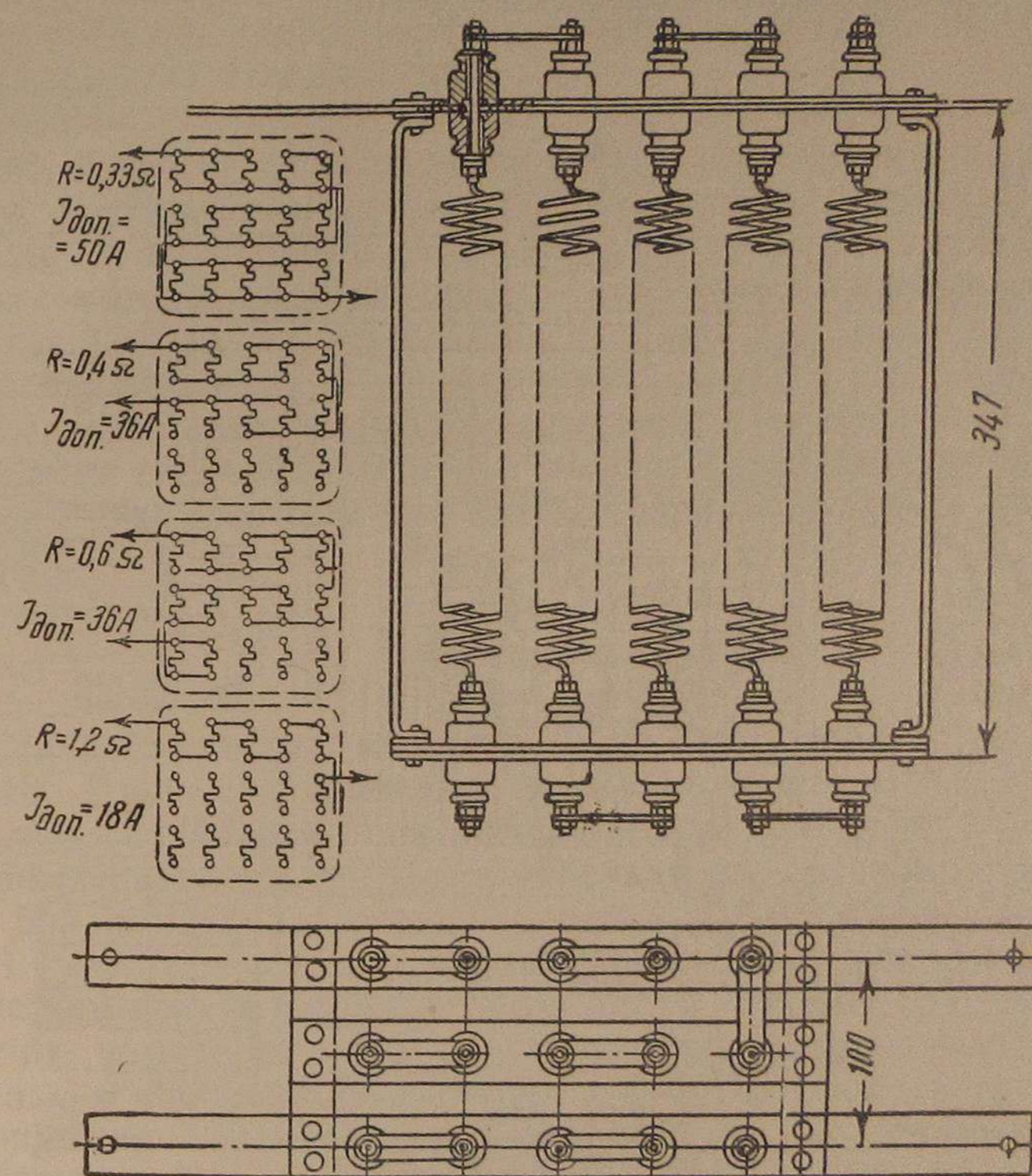


Рис. 40. Защитное сопротивление

Однако если почему-либо провод между миллиамперметром и землей оборвется (R равняется бесконечности), то разность потенциалов может достигнуть величины, опасной для обслуживающего персонала.

Чтобы этого не могло произойти, между щеткой и землей включается пробойный предохранитель. Он представляет обычный пробковый предохранитель. Однако между контактом пробки и контактом корпуса пробки проложен тонкий листик слюды с отверстиями. При обрыве цепи щетка — земля возрастает напряжение на контактах предохранителя; отверстия

в слюде пробиваются искрой, и щетка соединяется с землей, минуя миллиамперметр. Предохранитель установлен на трансформаторе.

Неисправное состояние предохранителя (влажная слюда, грязь и пр.) вызывает утечку тока через него. Одновременно уменьшаются показания миллиамперметра.

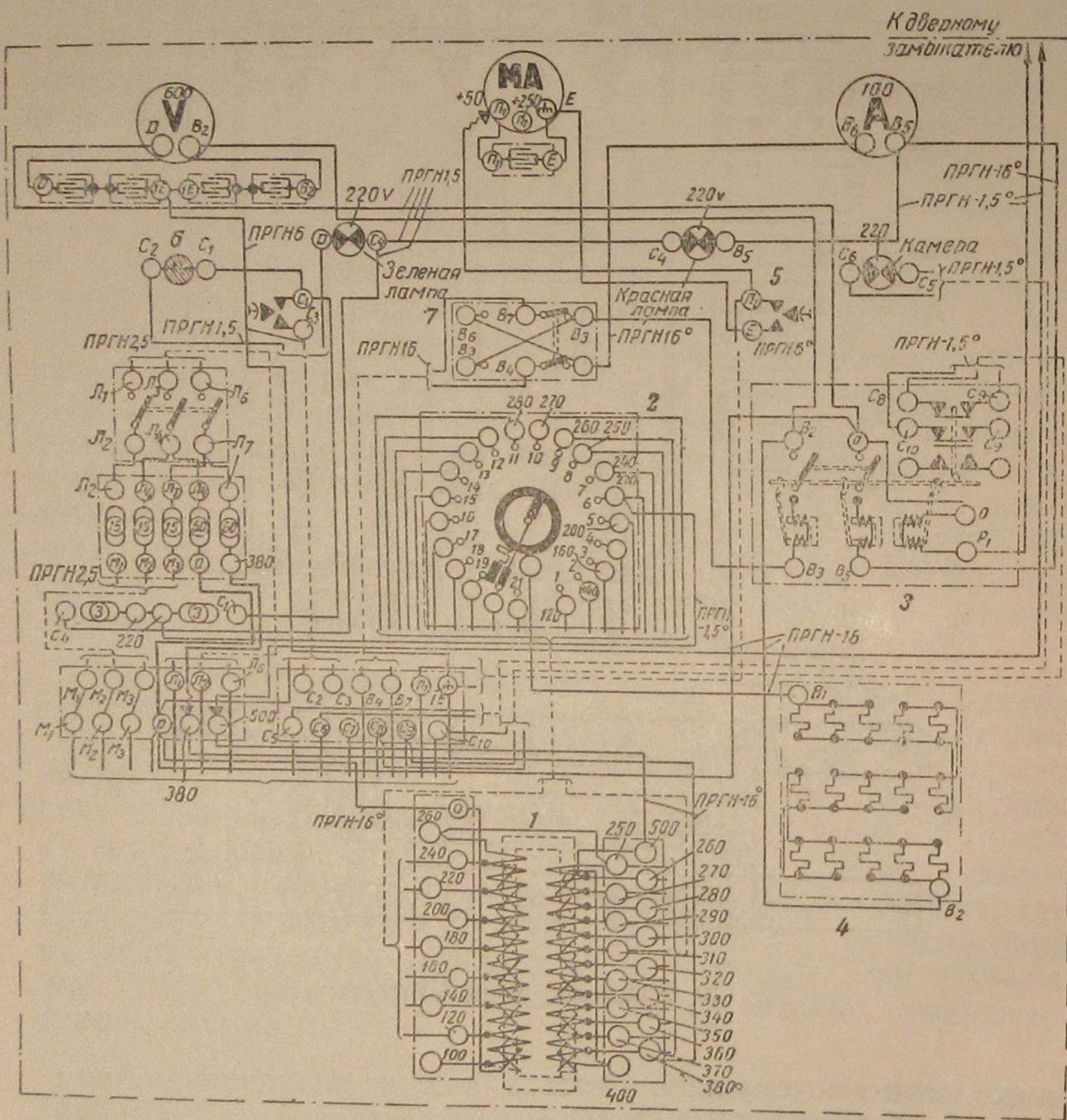


Рис. 41. Полная монтажная схема:

1 — автотрансформатор; 2 — коммутатор (присоединяется к автотрансформатору проводом ПРГН6); 3 — максимально-нулевой автомат; 4 — реостат; 5 — замыкатель миллиамперметра; 6 — синхронизатор; 7 — переключатель направления тока

Параллельно миллиамперметру включен конденсатор емкостью в 0,5 мкф и замыкатель. Первый служит для защиты миллиамперметра от токов высокой частоты, так как витки

катушки миллиамперметра, имеющие значительную индуктивность, представляют значительное сопротивление для тока высокой частоты, конденсатор же, наоборот, малое. Миллиамперметр должен быть включен только во время отсчета показания. В остальное время ток идет мимо него, через замыкатель.

Вольтметр со шкалой на 450 в шунтирован четырьмя последовательными конденсаторами емкостью в 0,5 мкф каждый. Средняя точка заземляется.

Полная монтажная схема агрегата ТУ-200 изображена на рис. 41. Этот агрегат может быть приключен к сети 380 или 500 в. В последнем случае, так как мотор устанавливается на 220/380 в, необходима установка автотрансформатора для питания мотора, понижающего напряжения с 500 до 380 в. Агрегат ТУ-335, подключаемый к сети 220 в, отличается только устройством регулировочного автотрансформатора.

Выпускавшиеся ранее Московским рентгеновским заводом агрегаты типа ТУ-16 и др. мало отличаются от описанного типа ТУ-200. Поэтому они здесь описаны не будут.

Агрегат АФ-18

Сейчас вместо аппаратов ТУ-200 выпускаются агрегаты АФ-18. Мощность машины осталась та же (18 ква). Максимальное значение выпрямленного напряжения 90 кв при силе выпрямленного тока 200 ма. Напряжение питающей сети 380 или 500 в. При включении в сеть 220 в мощность снижается на 6 ква. Для регулирования напряжения установлен автотрансформатор с коммутатором на 15 ступеней регулирования. Первые четыре ступени повышают напряжение через 20 в, остальные одиннадцать — через 10 в. Пределы регулирования напряжения 120—300 в или 200—380 в на стороне низшего напряжения.

В отличие от агрегата ТУ-200, механический выпрямитель установлен на отдельной подставке. Вследствие этого размеры ячейки в плане, понятно, значительно увеличились.

Высоковольтный трансформатор стержневого типа с масляным охлаждением. Номинальное напряжение вторичной обмотки 70 кв эффективных, первичной 380 в. Керн крепится к крышке бака и поднимается вместе с крышкой. Первичная обмотка сидит на керне. Вторичная обмотка отделена от первичной толстостенным гетинаксовым цилиндром и состоит из четырех отдельных последовательно соединенных секций. Концы вторичной обмотки соединены с выводами через дроссельные катушки. Высоковольтные изоляторы служат также расширителями для масла. В шапках изоляторов имеются винты для выпуска воз-

духа. Перед включением (после монтажа) следует винты вывернуть на три-четыре оборота. В баке имеются пробки для слива масла и забора проб масла на испытание.

Механический выпрямитель приводится трехфазным мотором типа ТИГ-52, мощностью 1,5 ква, 220/380 в с выфрезерованными в роторе четырьмя пазами. Мотор установлен горизонтально на стальной сварной подставке. На вал мотора насажены лопасти выпрямляющего креста. В отличие от выпрямителя ТУ-200, где для регулирования выпрямления поворачивается статор мотора выпрямителя, в описываемом выпрямителе поворачивается кольцевая траверса с укрепленными на ней изоляторами, на концах которых насажены токосъемные щетки. Вследствие того что вращаются изоляторы со щетками, связь последних с высоковольтными выводами трансформатора должна быть осуществлена гибким соединением.

Поворот траверсы с изоляторами (максимальный угол поворота 50°) осуществляется зубчаткой, сцепленной с зубчатым сектором траверсы, сидящей на конце вала, поворачиваемого рукояткой.

В выпрямителе ТУ-200 крест может быть закреплен на валу в любом положении. В агрегате же АФ-18 втулка креста крепится на валу шпонкой. Поэтому порядок подключения концов мотора к сети должен быть согласован с порядком присоединения к сети первичной обмотки трансформатора. По валу мотора крепится также коллектор выпрямителя неоновой лампы.

Так же, как и в аппарате ТУ-200, все пусковые и измерительные приборы и защита, а также коммутатор и автотрансформатор укреплены на распределительном щите (схема рис. 42). В отличие от аппарата ТУ-200 включение трансформатора в сеть производится контактором. Для измерения тока в цепи низкого напряжения установлен амперметр на 100 а. В цепи выпрямленного тока установлен магнитоэлектрический миллиамперметр постоянного тока с пределами измерения 0—50 и 0—200 ма. Миллиамперметр шунтирован конденсатором в 0,5 мкф для защиты его от токов высокой частоты. Замыкатель шунтирует миллиамперметр и выключает его из работы тогда, когда замеры силы тока не производятся. Цепь неоновой лампы также снабжена замыкателем (обычно включенным). Напряжение измеряется вольтметром на 450 в. Он шунтирован четырьмя последовательно включенными конденсаторами по 0,5 мкф каждый. Средняя их точка заземлена. Конденсаторы служат как для защиты вольтметра, так и для отвода токов высокой частоты на землю для уменьшения радиопомех.

Напряжение на мотор выпрямителя и щит подается трехполюсным рубильником. На щите установлены также переключатель направления тока, максимальное реле с пределами регулирования 25—100 а, минимальное реле (реле напряжения)

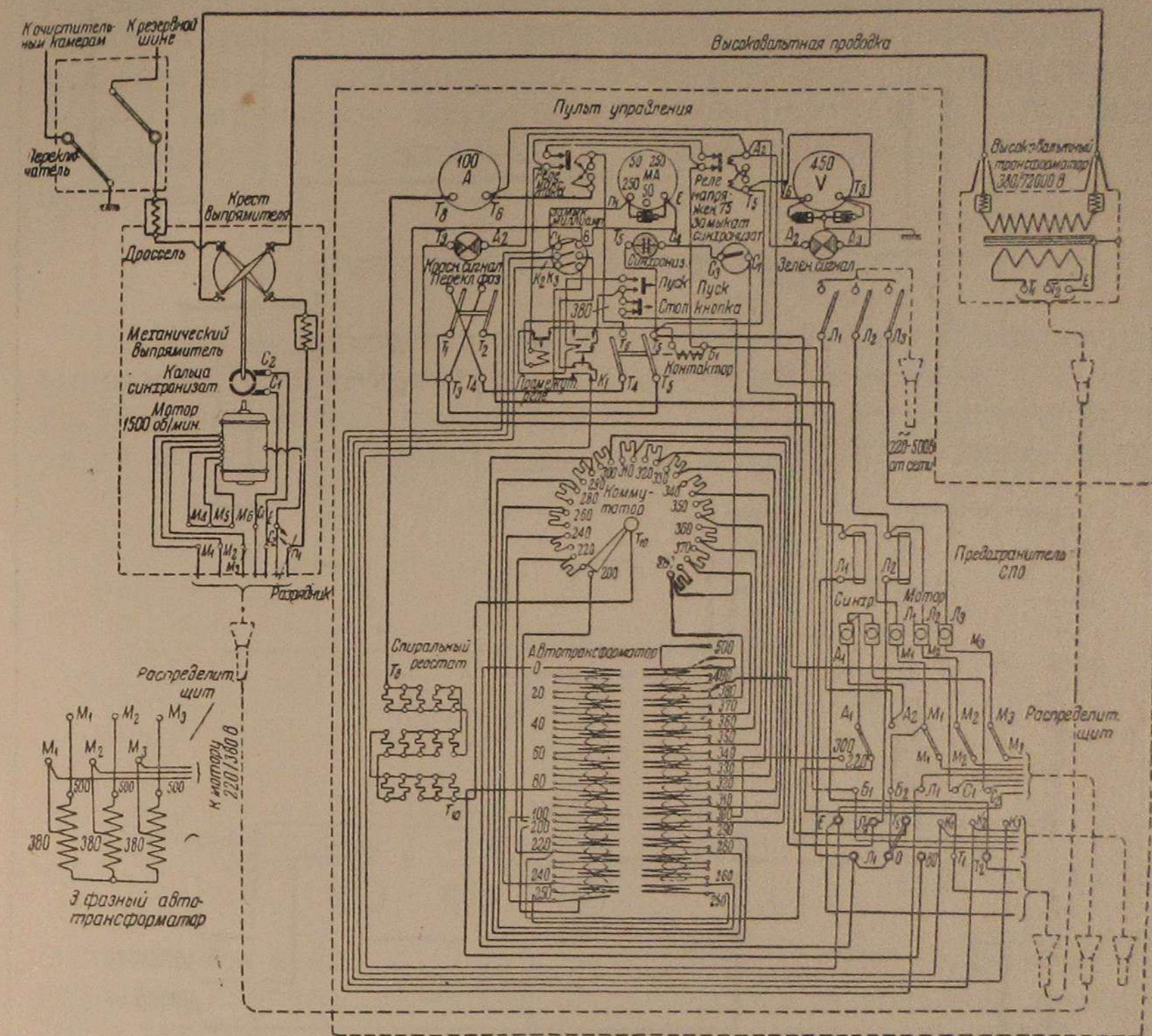


Рис. 42. Схема агрегата АФ-18

с пределами регулирования 50—350 в, промежуточное реле и конденсатор с кнопками включения и выключения.

Кроме того, на щите установлены: 1) зеленая лампа, зажигающаяся при включении главного рубильника и, следовательно, мотора; 2) красная лампа, зажигающаяся при включении контактора и подачи напряжения на трансформатор; 3) неоновая лампа.

Схема включения контактора и сигнальных ламп и сирены дана на рис. 43. При нажатии кнопки «пуск» ток от контакта

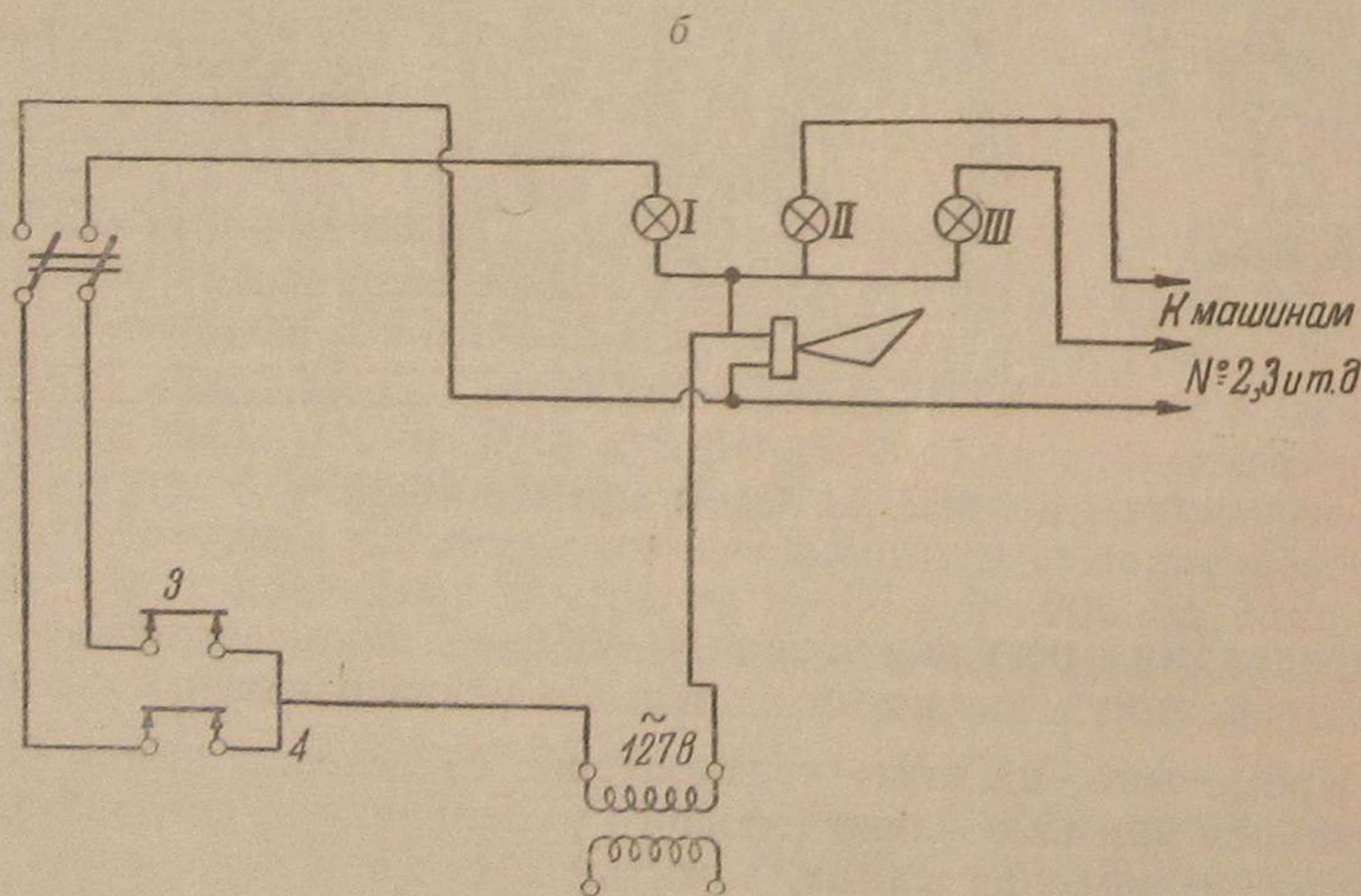
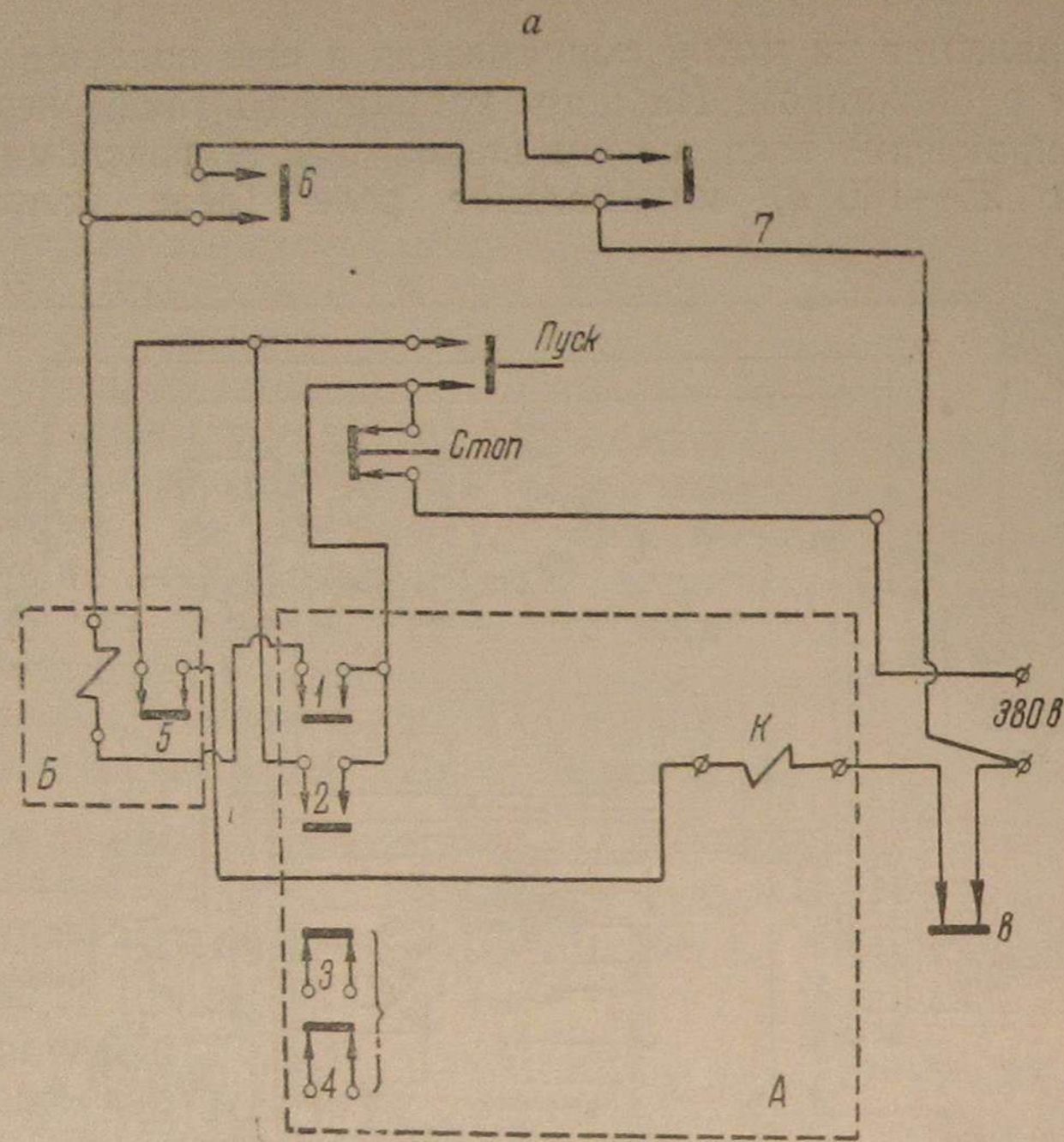


Рис. 43а и б. Схема включения контакторов и сигналов

380 коммутатора проходит через замкнутые контакты кнопки «стоп», через замкнутые контакты 5 промежуточного реле и оживляет катушку контактора *K*. При этом замыкаются контакты 1 и 2 и размыкаются контакты 3 и 4. Контакты 1 подают ток на катушку промежуточного реле. Контакт 2 шунтирует кнопку «пуск». При замыкании контакта 6 максимального реле или контакта 7 минимального реле, катушка промежуточного реле 5 оживляется, контакты 5 размыкаются, и контактор *K* выключает ток. Контакты 3 и 4 замыкают при этом сигнальную сеть.

Выпрямление тока кенотронами

Помимо механических выпрямителей, иногда применяют для выпрямления тока катодные лампы — кенотроны (рис. 44). При нагреве нити катода от батареи или специального трансформатора он испускает электроны, которые под влиянием поля будут



Рис. 44. Кенотрон:
1 — приемник тока; 2 — вторичная обмотка трансформатора; 3 — батареи накала

переноситься к аноду. Если к электродам трубки приложить переменное напряжение, то ток будет протекать только в течение той полуволны, когда к нити подан отрицательный полюс. Ток будет прерывистый, и выпрямится только половина волны. Другая половина будет полностью срезана. Для выпрямления обеих половин волны применяют либо два кенотрона и выводят среднюю точку высоковольтной обмотки трансформатора, или, применяя обычный трансформатор, устанавливают четыре кенотрона.

По первой схеме (рис. 45) ток протекает следующим образом. Верхняя половина волны идет, например, через левый кенотрон, тогда на аноде правого кенотрона будет минус, и ток через него не идет. Когда вторая половина волны идет через правый кенотрон, левый не работает. В обоих случаях ток в электрофильтре постоянен.

Нагрев кенотронов происходит от трансформатора накала, первичная и вторичная обмотки которых должны быть изоли-

рованы друг от друга на полное напряжение основного трансформатора.

При применении обычного трансформатора устанавливаются четыре кенотрона по схеме рис. 46.

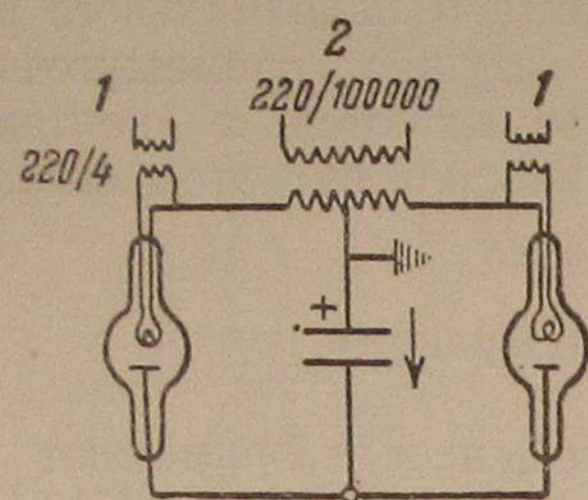


Рис. 45. Выпрямление тока двумя кенотронами: 1 — трансформатор накала; 2 — высоковольтный трансформатор

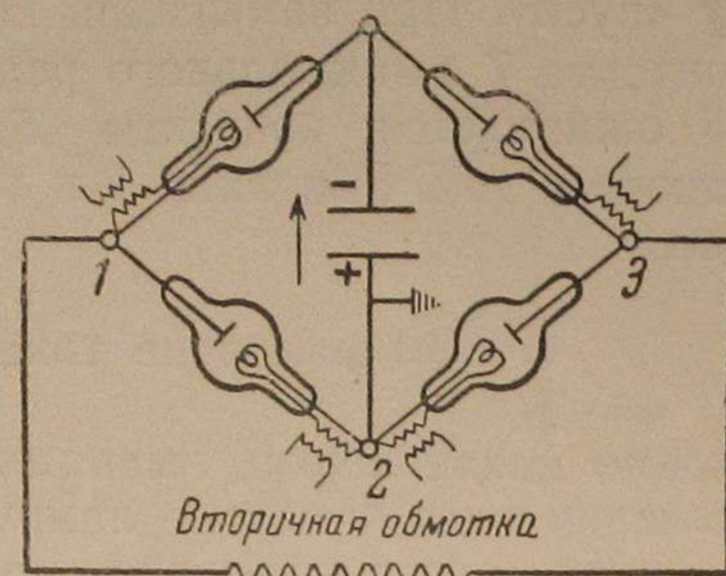


Рис. 46. Выпрямление четырьмя кенотронами

Когда плюс в точке 1, ток идет по цепи 1—2—4—3; когда плюс в точке 3, ток идет по пути 3—2—4—1, т. е. в обоих случаях в электрофилтре ток постоянен по направлению. Кенотроны спокойнее в работе механических выпрямителей, не вызывают излучения высокой частоты, но они дороже в установке и вследствие сравнительно непродолжительного срока службы дороги в эксплуатации.

Предполагается применить для выпрямления тока селеновые выпрямители, установленные в масле и соединенные по схеме рис. 46.

Однополупериодное выпрямление

При улавливании плохо проводящей пыли на поверхности осадительных электродов скапливаются вместе с пылью большие заряды, скорость перехода которых к электроду может быть меньше скорости подхода новых зарядов. Поэтому непрерывная подача тока становится не только бесполезной, но иногда и вредной вследствие уменьшения скорости движения ионов (что равноценно уменьшению силы тока) и увеличения объемных зарядов, вызывающих выравнивание напряжения поля и уменьшение коронирования. Поэтому возникла мысль подавать ток в электрофилтр прерывисто — в течение одного полупериода.

Для использования полной мощности устанавливаемого электроагрегата одна половина волны выпрямленного тока по-

дается в одну секцию электрофилтра, другая половина в другую секцию (или другой электрофилтр). При этом удается поднять напряжение на камере, не вызывая искрообразования. Улавливание пыли не ухудшается, а иногда и улучшается. Расход мощности на очистку, естественно, падает, а установленная мощность лучше используется.

В табл. 2 даны сравнительные результаты работы электрофилтра ХК-45, работающего на однополупериодном и двухполупериодном питании (работа инж. Востокова, НИИГАЗ) при очистке газа обжиговых печей, работавших на пирите.

Таблица 2

Показатели	Питание электрофилтров	
	однополупериодное (два электрофилтра)	двухполупериодное (один электрофилтр)
Первичное напряжение, в	305	280
Сила тока в первичной цепи, а	47	48
Мощность на один электроф., ква	7,15	12
cos φ	0,78	0,70
Скорость газа в электрофилтре, м/сек	1,0	0,8
Запыленность очищенного газа, г/м ³	0,23	0,20

На электрофилтре, работавшем на очистке газов агломерационных машин на свинцовом заводе (т. е. пыль была менее проводяща, чем в ранее описанном случае), были получены следующие результаты при переводе его на питание по однополупериодной схеме (работа инж. Елисеева). Первичное напряжение повысилось со 130 до 300 в. Расход тока на 1 пог. м коронирующего провода поднялся с 0,177 ма до 0,3 ма, и степень очистки повысилась с 60,4 до 87,4%.

Сперва подача тока по полупериоду на каждый аппарат осуществлялась установкой на валу мотора выпрямителя второго креста, подобного основному (рис. 47). Первый крест выпрямляет ток, второй распределяет его между двумя секциями электрофилтра. При этом ток проходит в выпрямителе шесть искровых промежутков, что связано с дополнительной потерей напряжения. Поэтому была разработана схема рис. 48. На вал мотора насаживаются две лопасти одна под другой. Их концы связаны проволокой.

Для нижней лопасти используются щетки, установленные на изоляторах трансформатора. Для верхней лопасти устанавливаются дополнительные четыре изолятора со щетками. Менее сложны переделки выпрямителя ТУ-200 по схеме рис. 49 [17].

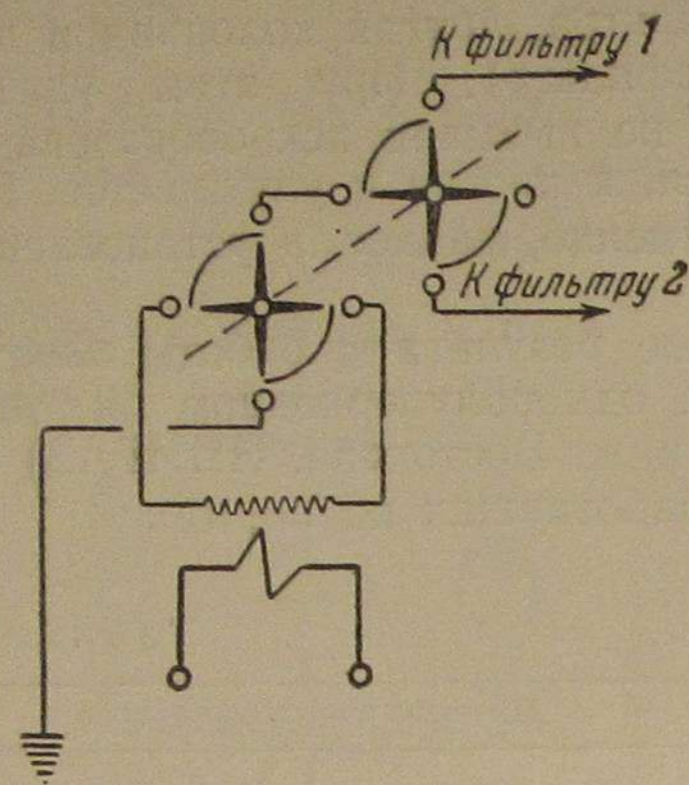


Рис. 47. Полуволновое выпрямление двумя четырехлопастными крестами

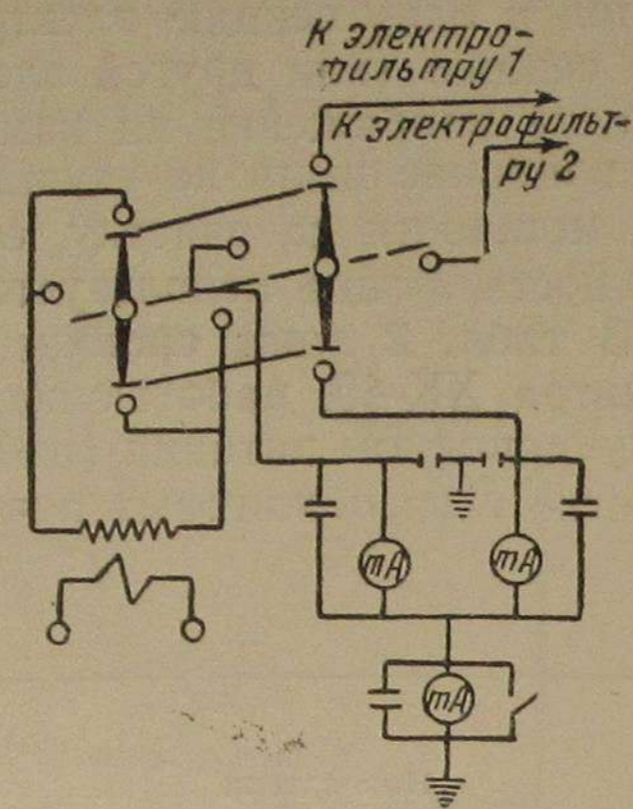


Рис. 48. Полуволновое выпрямление двумя двухлопастными крестами

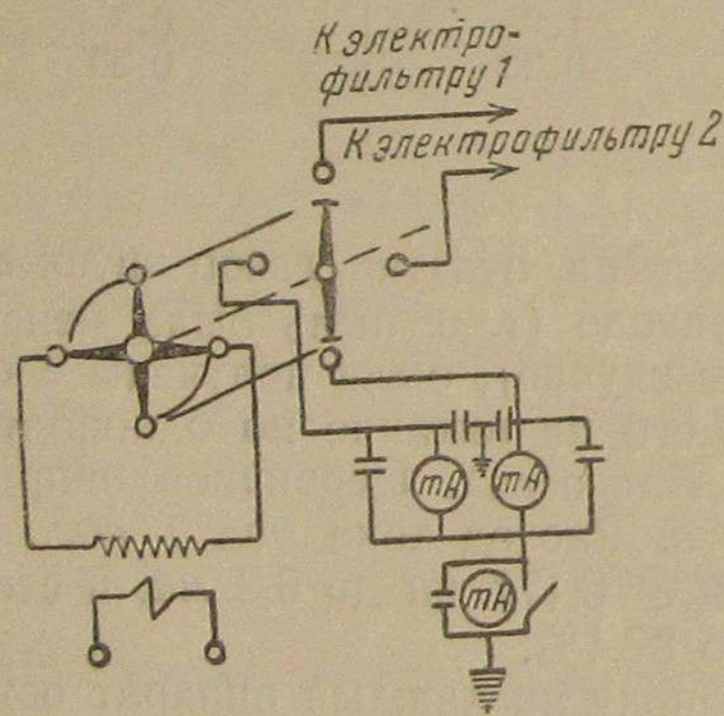


Рис. 49. Схема выпрямления с наименьшими переделками агрегата

то применяется выпрямление трехфазного тока.

На рис. 50 дана диаграмма трехфазного тока. Она представляет три синусоиды, сдвинутые друг относительно друга на угол 120° (или на $1/3$ периода). На чертеже фазы отмечены римскими цифрами I, II и III. Разность напряжения между фазами определяется длиной вертикального отрезка между соответствующими кривыми. Вверху показана кривая напряжения выпрямленного тока (IV).

Выпрямление трехфазного тока

Предельная сила тока, при которой щетки выпрямителя однофазного тока не обгорают, равна примерно 200 ма. Если желательно получить в одном агрегате большую мощность или если пыль достаточно проводяща и желательно ток из пульсирующего превратить в постоянный, при котором время, потребное на подход заряженной пылинки к электроду, значительно сокращается, поскольку поле действует на заряженную частицу непрерывно.

Выпрямление производится следующим образом: к трем неподвижным щеткам I, II, III, расположенным в одной плоскости под углом 120° , подведены от трансформатора три фазы. Между щетками вращается диск из изоляционного материала. На диск

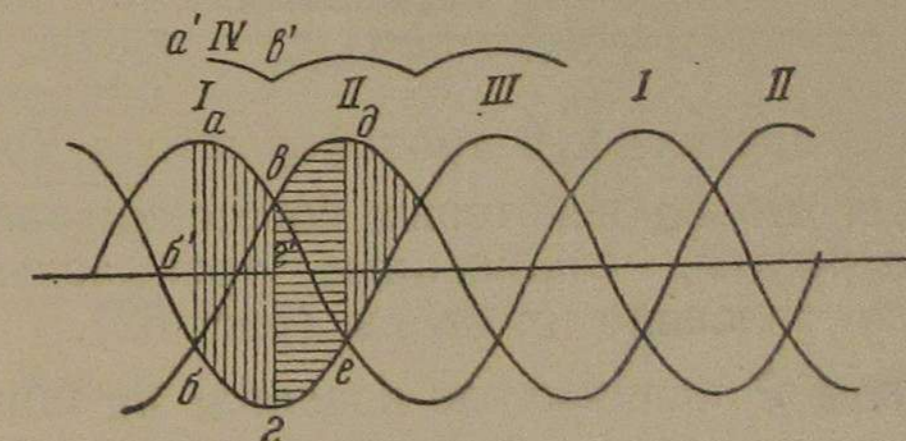
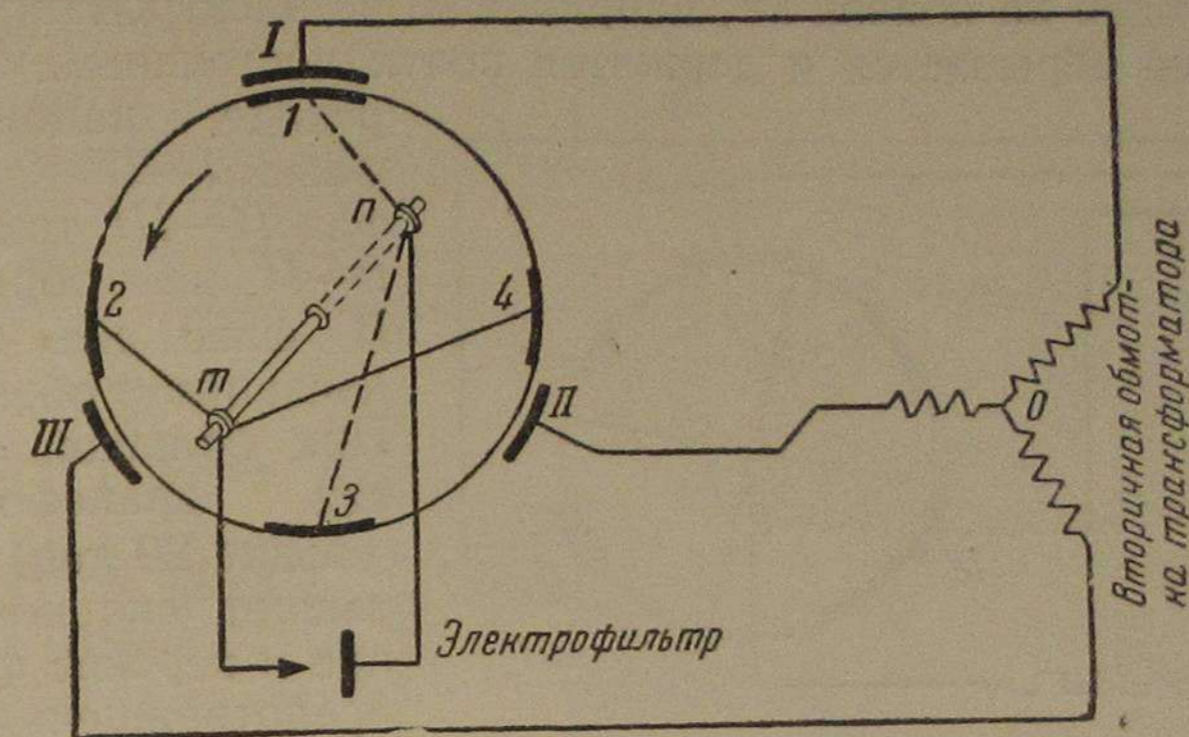


Рис. 50. Схема выпрямителя трехфазного тока

надеты четыре металлических сектора, попарно соединенных проволоками с двумя кольцами, надетыми на вал изолированно от него. Токосъемные щетки соединяют кольца с электродами электрофильтра.

Указанный на рис. 50 момент соответствует точкам $a-b$ диаграммы тока. Ток от 0 трансформатора идет к щетке I (точка a), затем через воздушный промежуток — к сектору 1, кольцу n , осадительному электроду, коронирующему электроду, щетке m , секторам 2 и 4, к щеткам II и III и обратно в 0 трансформатора. Напряжения на фазах II и III в этот момент равны друг другу (точка b), и поэтому их можно соединять. При вращении диска по стрелке сектор 4 отойдет от щетки II, и ток в фазе II разомкнется. Ток в электрофильтре будет протекать под влиянием разности напряжений между фазами I

и III (вертикальные отрезки между кривыми $a - b$ и $b - c$; им соответствуют напряжения выпрямленного тока $a' b'$ на кривой IV). В дальнейшем отключится фаза I (точка b) и включится фаза II (отрезки между кривыми $b - d$ и $c - e$; им соответствует напряжение выпрямленного тока $b' d'$ на кривой IV).

Как видно на кривой IV, напряжение на электродах электрофильтра не обрывается и держится почти постоянным. При переходе, например, с фазы I—II на работу фаз II—III ток в фазе 0—II не обрывается. В фазе же 0—I ток внезапно обрывается. При большой мощности трансформатора (свыше 20 кВА) это вызывает сильное искрение и перекос фаз. Для предотвращения этого на вал насаживается крест, присоединяющий выключаемую фазу

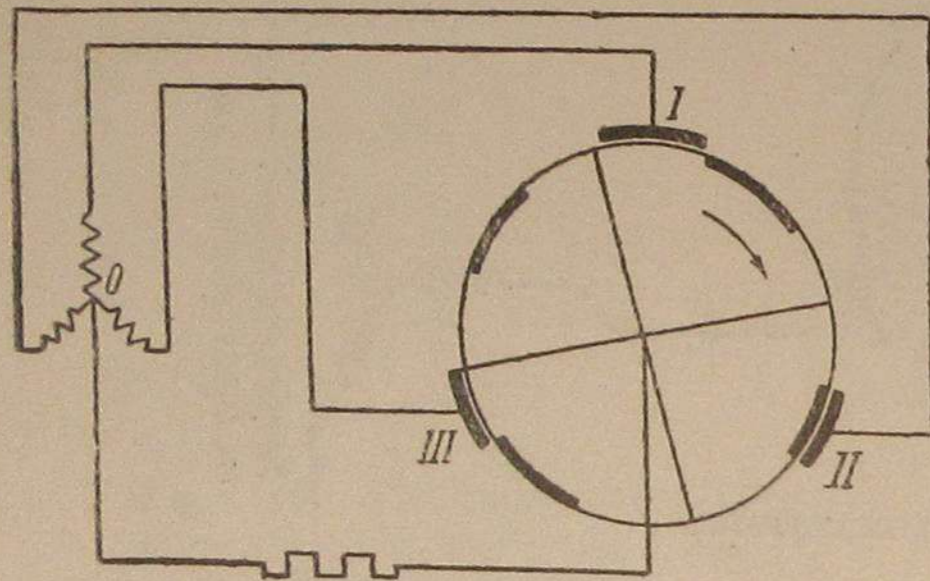


Рис. 51. Схема включения разрываемой фазы на нуль трансформатора

через сопротивление к 0 трансформатора (рис. 51).

Ввиду того, что на некоторых советских заводах установлены электроагрегаты, снабженные трехфазными агрегатами, дается краткое описание их схемы (рис. 52).

Рубильником P напряжение подается на щит. Мотор выпрямителя включается своим максимально нулевым автоматом AM . При этом ток подается также на трансформатор блок цепей T_2 и малый автомат MA . При его включении напряжение подается через замкнутые контакты максимальных реле PM и замкнутые блок-контакты автомата повторного включения $АПВ$, ток оживляет катушку промежуточного реле PP , и она замыкает свои блок-контакты; ток идет, минуя блок-контакты $АПВ$. Нижние блок-контакты $PP-1$ подают напряжение на включающую катушку $АПВ$, замыкающую рубильник главного тока. Замыкание блок-контактов $АПВ$ оживляет реле $PP-2$, размыкающее цепь сигнальной лампы L . Теперь может быть включен главный максимально-нулевой автомат $ГА$. При этом замыкаются его правые блок-контакты и размыкаются левые, связанные с цепями сигнализации. Таким образом, ток подается на трехфазный потенциал-регулятор напряжения $РН$, защитный реостат P_1 , амперметр, рубильник трансформатора и на высоковольтный трехфазный трансформатор T_3 .

При пробое в электрофильтре срабатывают реле PM , разрывая линию питания катушки реле $PP-1$, что в свою очередь вы-

зывает выключение $АПВ$ и отъединение трансформатора. При этом блок-контакты $АПВ$ включают напряжение на термоэлементы $МА$. Выключение $АПВ$ возвращает реле PM и $PP-1$ в исходное положение, и $АПВ$ будет повторно включен.

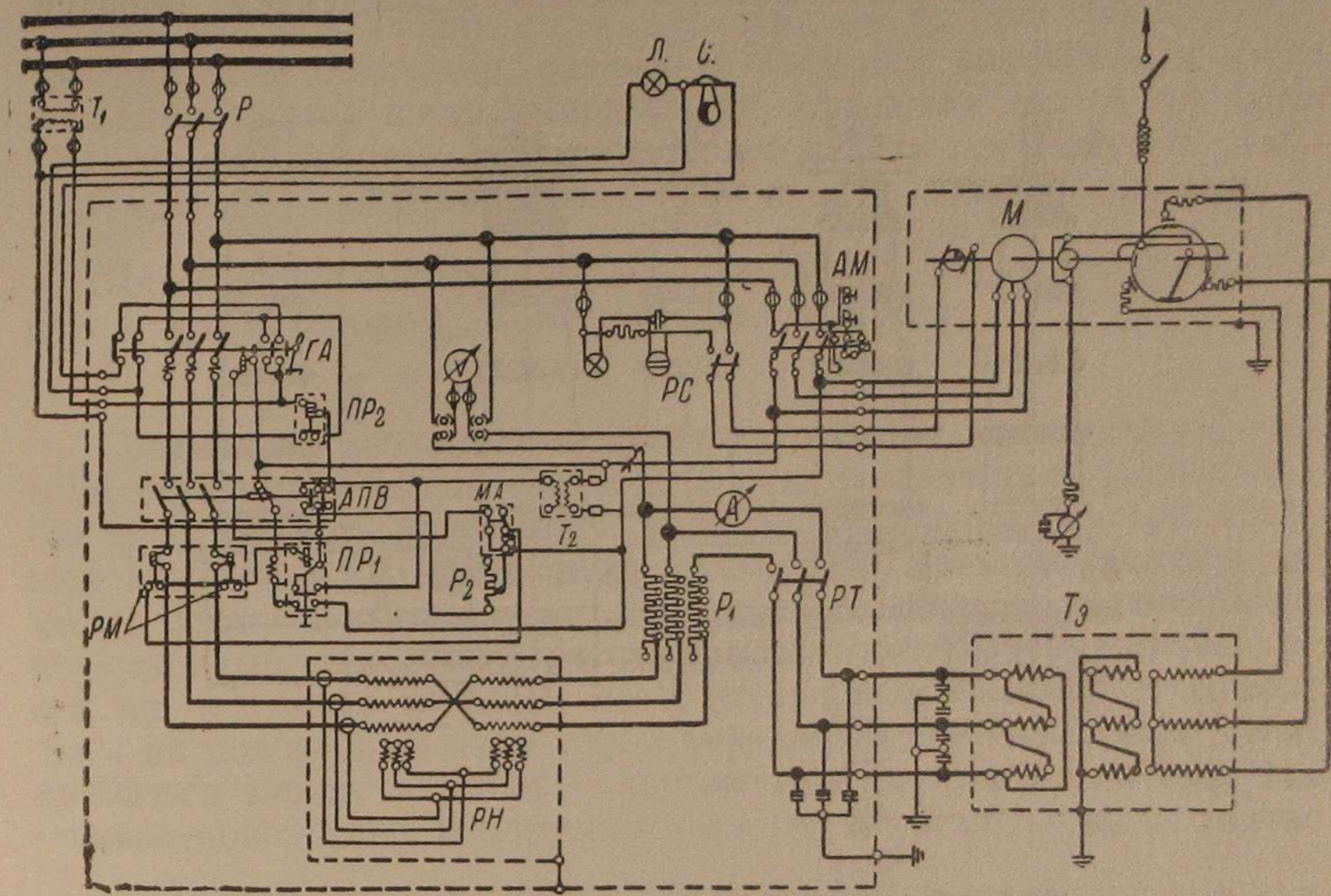


Рис. 52. Схема трехфазного агрегата

Если отключения следуют одно за другим (т. е. причина, вызвавшая пробой в электрофильтре, продолжает существовать), то термоэлемент малого автомата $МА$ разогреется и выключит его, что вызовет выпадение главного автомата $ГА$ и включение лампы и сирены. При выпадении $АПВ$ зажигается лишь световой сигнал, включаемый через $PP-2$. Количество повторных включений, предшествующих выключению главного автомата, может регулироваться реостатом.

ЭЛЕКТРОМАШИННОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Электроагрегаты устанавливаются в отдельном электромашинном отделении. Трансформаторы с моторами отделяются друг от друга сетчатым металлическим ограждением, образуя

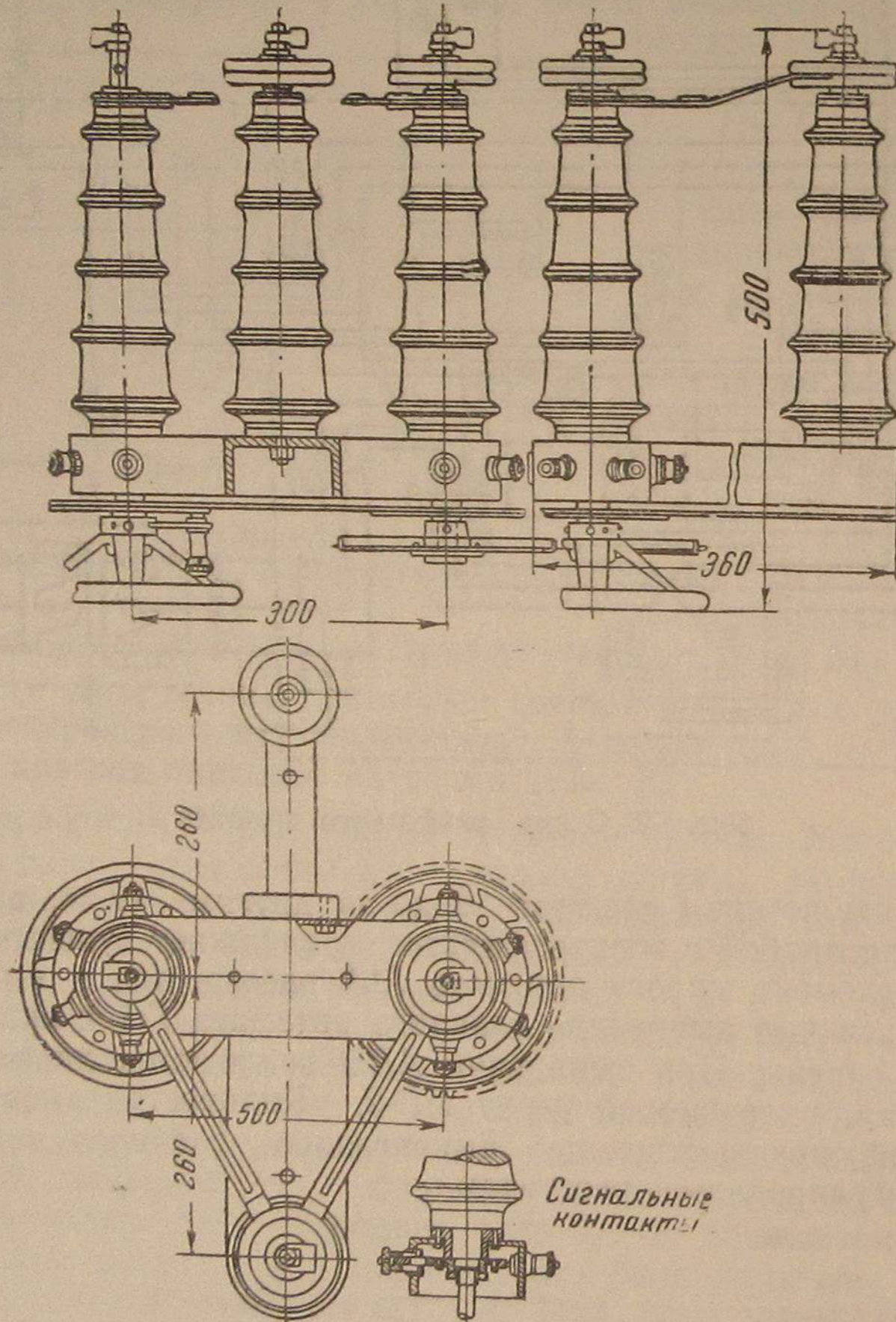


Рис. 53. Высоковольтный переключатель

отдельные ячейки. Каждая ячейка имеет дверь, запирающуюся на замок. Так как части агрегата, находящиеся под напряжением, и крест выпрямителя, делающий 1500 об/мин, представляют опасность для обслуживающего персонала, то вход за

ограждение, когда туда подано напряжение, воспрещается. Помимо замка, на двери установлен контакт, который при открывании двери выключает нулевую катушку автоматического рубильника, выключая тем самым последний.

При входе в ячейку надо, несмотря на то, что трансформатор при этом обесточен, заземлять съемным заземлением (или разъединителем) шину выпрямителя, отключая его от электрофильтра. Необходимо это потому, что может произойти случайный контакт линий неработающего и работающего агрегата.

Щит с укрепленными на нем приборами, автотрансформатором и коммутатором, может устанавливаться в ячейке или вне ее.

Соединение выходной щетки выпрямителя с электрофильтром осуществляется высоковольтным переключателем (рис. 53). Он представляет крестовину, на которой укреплены три опорных изолятора (ДС-1276). Два изолятора могут вращаться на своих осях. К их шапкам привернуты контакты, представляющие каждый два выпуклых диска, сжимаемых пружиной. Такие же контакты имеются на неподвижном изоляторе. Кроме того, на поворотных изоляторах укреплены ножи, которые могут врубаться между дисками — контактами другого изолятора. На ножках поворотных изоляторов укреплены сигнальные контакты.

К одному из поворотных изоляторов подводится ток от щетки выпрямителя (через радиодроссель), к другому присоединяется линия, ведущая к электрофильтру. К неподвижному изолятору присоединена шина от резервного агрегата. Против неподвижного изолятора укреплена заземленная труба с контактами на ней.

На рис. 54 изображена схема установки трех высоковольтных агрегатов и трех переключателей типа ТР-215. На первом электрофильтр не работает и заземлен, равно как и агрегат. Второй включен на электрофильтр и резервную шину, к которой может быть присоединен также первый электрофильтр. Третий присоединен к электрофильтру. На рис. 55 изображена установка электроагрегата.

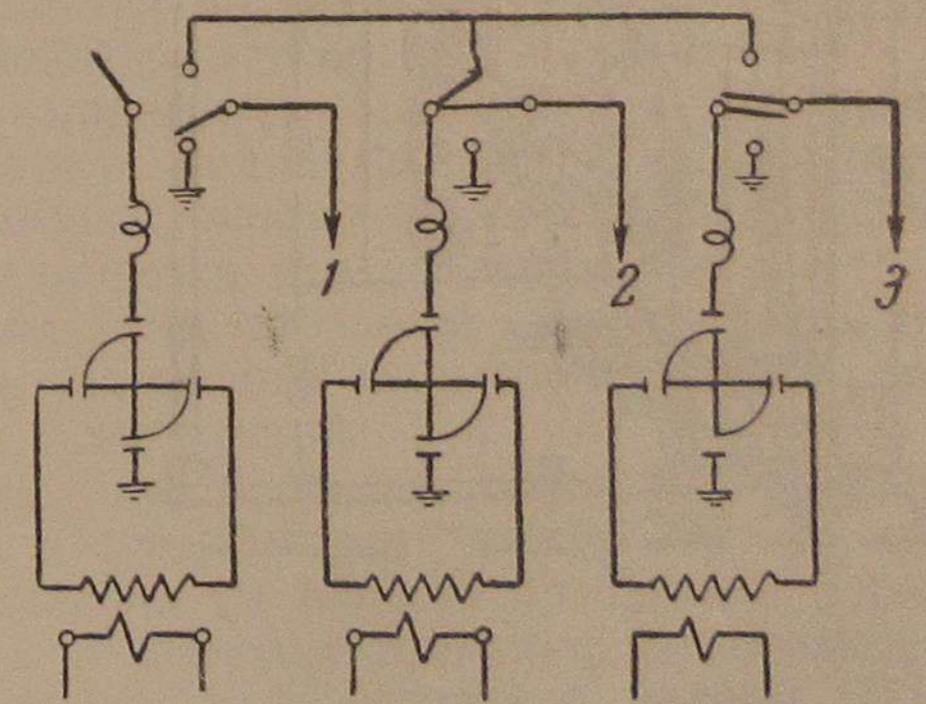


Рис. 54. Схема установки трех агрегатов

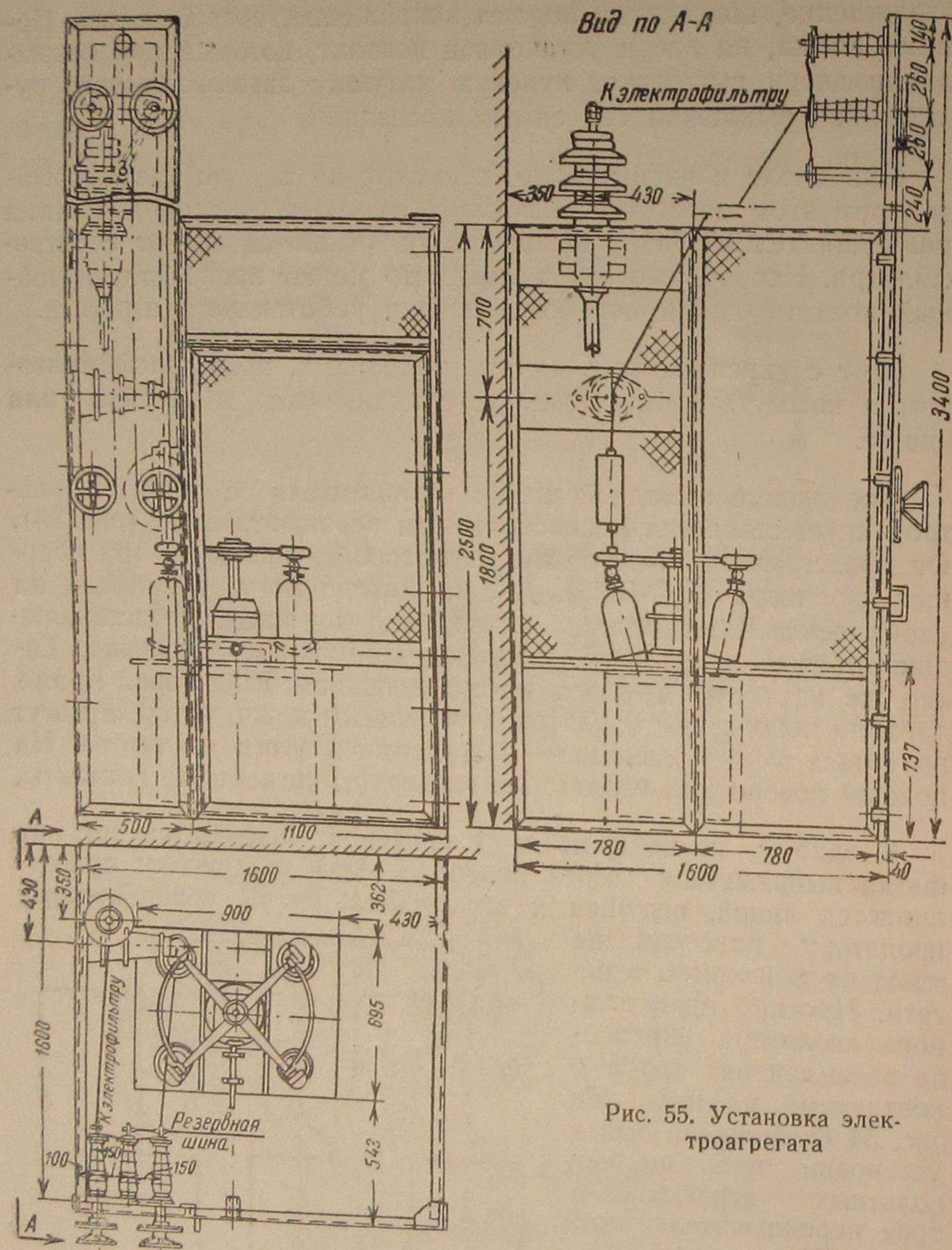


Рис. 55. Установка электроагрегата

В электромашинном отделении должна быть идеальная чистота. Пол и нижнюю часть стен необходимо выкладывать метлахской плиткой, а остальную часть стены и потолок — окрашивать масляной краской.

Вследствие непрерывного искрения у щеток выпрямителя образуются окислы азота, которые действуют разрушительно на аппаратуру. Поэтому следует предусмотреть приточную вентиляцию воздуха с пятикратным обменом. Зимой воздух должен подогреваться. При искрении появляются высокочастотные излучения, мешающие радиоприему. Поэтому стены и потолок машинного отделения до оштукатурки обиваются заземленной металлической сеткой.

В электромашинном отделении устанавливается также щиток, куда кабелем подается сетевое напряжение. На щитке устанавливаются предохранители, от которых ток подается к каждому щиту агрегата кабелем в канале в полу помещения. Канал перекрывается рифленным железом. Кабели от щитов к трансформаторам прокладываются так же.

От переключателей ток к электрофильтрам подается специальным кабелем или железной круглой шиной диаметром 10—12 мм, укрепленной на специальных изоляторах типа В в защитных трубках диаметром 400 мм, сваренных из 2-мм листового железа. На трубах и против каждого изолятора для их протирки имеются запирающиеся на ключ люки.

Высоковольтный кабель одножильный СБ с бумажной изоляцией изготавливается по специальному заказу. В крайних случаях может быть использован одножильный кабель на 35 кВ переменного тока. При отсутствии специальной кабельной концевой муфты для разделки концов кабеля может быть использован проходной изолятор типа ПБ-35. В этом случае броня и свинец крепятся (свинец кабеля припаивается) к луженой крышке, укрепленной на цементе на нижней головке изолятора, а бумажная оплетка сохраняется до верхней головки. Заливка муфты или изолятора приводится массой МК-45.

Положительный полюс выпрямителя соединяется с осадительными электродами через миллиамперметр и дроссель в баке трансформатора железной сплошной шиной 25×4 мм, которая, кроме того, присоединяется к заземлению.

Линия заземления должна быть сплошной со сваренными стыками. Нельзя в качестве заземления использовать части аппаратов или металлических конструкций.

Заземление изготавливается из газовых труб, забиваемых в землю на 3 м группой и соединенных между собой на сварке. Сопротивление заземления не должно превышать 6 Ом.

Все металлические части и корпуса приборов присоединяются к линии заземления шинками из железной полосы $20 \times 2,5$ мм. Токоведущие шинки высокого напряжения окрашиваются в красный цвет, а заземляющие — в синий.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ (ОСАДИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ)

Общие положения

Электрическую аппаратуру электрофильтра легко было сделать стандартной почти для всех случаев пылеулавливания; единственное отличие между отдельными агрегатами должно сводиться к величине мощности.

Самые же электрофильтры отличаются большим многообразием как типов, так и размеров. Объясняется это тем, что на конструкцию электрофильтра сильно влияет ряд факторов — температура газов, их состав, влажность, запыленность газа и свойства пыли или тумана, необходимая степень очистки и т. д.

В зависимости от формы осадительных электродов все виды электрофильтров могут быть разбиты на две группы: трубчатые и пластинчатые.

Первые состоят из ряда труб, соединенных внизу и вверху общими газовыми коробками. Нижняя коробка служит, кроме того, пылевым бункером. По осям труб помещаются коронирующие провода, прикрепленные вверху к общей раме, опирающейся или подвешенной к изоляторам. Коронирующие провода натянуты подвешенными к ним внизу грузами. Чтобы предотвратить колебания проводов, они и внизу связываются общей рамой. Запыленный газ входит в бункерную часть, проходит через трубы снизу вверх и, очищенный от взвешенных частиц, уходит в верхнюю коробку и оттуда в газопровод. Осаждающаяся на осадительных и коронирующих электродах пыль отряхивается ударами молотков и сваливается в бункер. Диаметр применяемых труб колеблется от 150 до 300 мм (чаще всего трубы имеют диаметр в 250 и 300 мм). Длина труб лежит в пределах 3000—4000 мм. При большей длине трудно центрировать провода и предотвратить их раскачивание.

В пластинчатых электрофильтрах осадительные электроды представляют ряд параллельных плоскостей, помещенных в общую камеру. Между осадительными электродами подвешены коронирующие провода. В зависимости от направления газового потока они делятся на аппараты с вертикальным и горизонтальным ходом газов, или короче — на вертикальные и горизонтальные аппараты. Осадительные электроды могут быть изготовлены из гладких или волнистых листов металла, из металлических сеток, натянутых на рамы, или, наконец, из отдельных прутков, подвешенных друг к другу достаточно близко на рамах или балочках. Высота осадительного электрода не превышает 4000 мм. При большей высоте становится весьма за-

труднительной центровка коронирующих проводов. В горизонтальных фильтрах длина осадительного электрода вдоль хода газов делается редко более 2500 мм. При большей длине сильно увеличиваются поперечные размеры верхних поддерживающих угольников или полос, что уменьшает в этом месте расстояние от коронирующего электрода и вызывает понижение пробойного напряжения. Поэтому, если необходима большая длина электрического поля, то устанавливают последовательно несколько (две, три или редко четыре) секций осадительных электродов (два или три поля).

Выбор той или иной конструкции осадительного электрода зависит от условий работы, и каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. Гладкие листы просты в изготовлении. Однако при высокой температуре они легко коробятся. Кроме того, скорость газа у поверхности листа мало отличается от скорости во всем сечении электрофильтра, и сваливающаяся пыль может быть в некоторой мере снова увлечена потоком газов. Поэтому иногда электроды изготовляются из волнистого железа с вертикально установленной волной. Скорость газа во впадинах очень невелика, пыль, как по жолобу, спускается в бункер, и опасность увлечения ее газовым потоком сильно уменьшается. Кроме того, вследствие увеличения поверхности уменьшается количество пыли, оседающей на единицу поверхности, что уменьшает толщину слоя осевшей пыли (ранее указывалось, насколько сильно отражается на процессе улавливания при малопроводящей пыли толщина слоя).

Однако конструкция таких электродов довольно сложна, и при высокой температуре трудно предотвратить коробление. В таких случаях электроды изготовляются иногда сетчатые с ячейкой в 18—20 мм из проволоки в 2,5—3 мм. У таких электродов поверхность очень невелика, и они могут применяться только в тех случаях, когда пыль очень хорошо сваливается. Лучше всего применять в этих случаях электроды из отдельных стальных прутков диаметром в 6—10 мм, подвешенных близко один к другому. Они не коробятся, с них легко отряхивается пыль, и скорость газа у их поверхности мало отличается от таковой у волнистых листов.

При улавливании относительно хорошо проводящей пыли (например угольной) слой, осевший на осадительном электроде, быстро отдает свой заряд и может легко отвалиться. При этом часть пыли снова увлекается газовым потоком и может быть вынесена из электрофильтра.

Такое же явление может иметь место и при улавливании менее проводящей пыли, если применять непрерывное отряхивание осадительных электродов.

Бороться с этим явлением можно, либо уменьшая скорость газов в электрофилтре, либо применяя «карманные» осадительные электроды.

Карманный электрод (рис. 56) в простейшем своем виде состоит из двух параллельных пластин, состоящих из отдельных горизонтальных листов, верхние кромки которых отогнуты в сторону газового потока. Расстояние между пластинами около 30 мм. При стряхивании пыли с осадительной поверхности она попадает на отогнутую кромку и оттуда внутрь полости между пластинами, не попадая в газовый поток. Снизу каждая пластина имеет свой бункерок, отводящий пыль прямо в общий бункер, минуя поток газов. Пластины, образующие карманный электрод, могут быть жестко связаны друг с другом, либо каждая нижняя секция может присоединяться к верхней на гибкой подвеске.

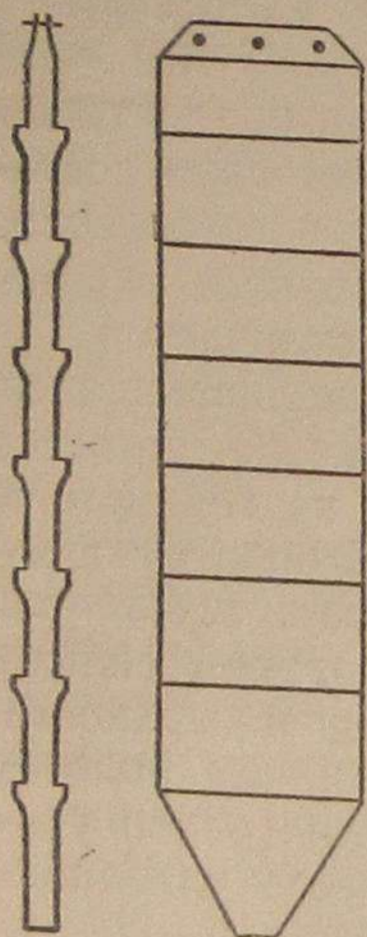


Рис. 56. Карманные электроды

Иногда карманы в стенках электродов образуются не отгибом края листа, а выштамповкой выпуклостей в листах, косых или прямых.

При улавливании пыли, оседающей на электроде плотным, трудно отряхиваемым слоем, что определяется в основном дисперсностью пыли и ее строением, применять карманные осадительные электроды не следует, так как при плохо отряхиваемой пыли выступы на осадительных электродах помогут слою пыли удерживаться на его поверхности, и щели, через которые пыль должна проваливаться внутрь электрода, весьма быстро замазываются.

Применение карманных осадительных электродов оправдывается при улавливании относительно грубой и более или менее проводящей пыли, как например, при улавливании угольной пыли, золы из дымовых газов при грубом ее помоле и наличии большого количества углерода в золе и т. д.

При улавливании пыли из технологических газов заводов цветной и черной металлургии, состоящей в значительной части из весьма дисперсных частиц окислов металлов, полученных при горении или конденсации их паров, применять карманные электроды не следует.

При применении карманных электродов облегчается образование обратной короны из-за наличия острых выступающих краев карманов.

Так как напряжение поля в трубчатом электрофилтре выше, чем в пластинчатом, и имеет одинаковое значение на любой коаксиальной поверхности (т. е. все частицы, равно отстоящие от оси, находятся в одинаковых условиях осаждения), то в трубчатом электрофилтре допустимы большие скорости газов. Кроме того, трубчатые электрофилтры с открыто стоящими трубами лучше улавливают мало проводящие пыли при не слишком большой влажности газов. Происходит это потому, что на поверхности труб вследствие охлаждения газа и соответственно осевшей пыли на последней конденсируется некоторое количество паров воды, что улучшает проводимость пыли, уменьшает возможность образования обратной короны и улучшает улавливание.

Правда, так как такое увлажнение пыли на стенках сильно зависит от внешней температуры воздуха, скорости ветра и т. д., т. е. от величин, на которые обслуживающий персонал влиять не может, то иногда это увлажнение может быть чрезмерным, что может повести к налипанию пыли и коррозии металла.

Недостатками трубчатых электрофилтров являются трудность отряхивания труб, громоздкость и большой расход металла, вызванный тем, что два газовых потока отделяются двумя стенками, а не одной, как в пластинчатых аппаратах.

Чтобы уменьшить расход металла, изготавливают трубчатые электроды шестигранной формы (сотовые) (рис. 57), из отштампованных и сваренных полос. Однако изготовление их довольно сложно, а условия отряхивания хуже, чем в пластинчатых.

В тех случаях, когда необходимо при улавливании пыли добиться ее обогащения какими-либо компонентами, необходимо устанавливать многопольные пластинчатые электрофилтры с горизонтальным ходом газа.

При улавливании туманов или пыли из газов, насыщенных парами воды, прибегать к отряхиванию электродов для их очистки не приходится, и при улавливании влажной пыли ее время от времени смывают с электродов. Если туман химически активен, то электроды изготавливаются из соответственного металла, например, при улавливании тумана серной ки-

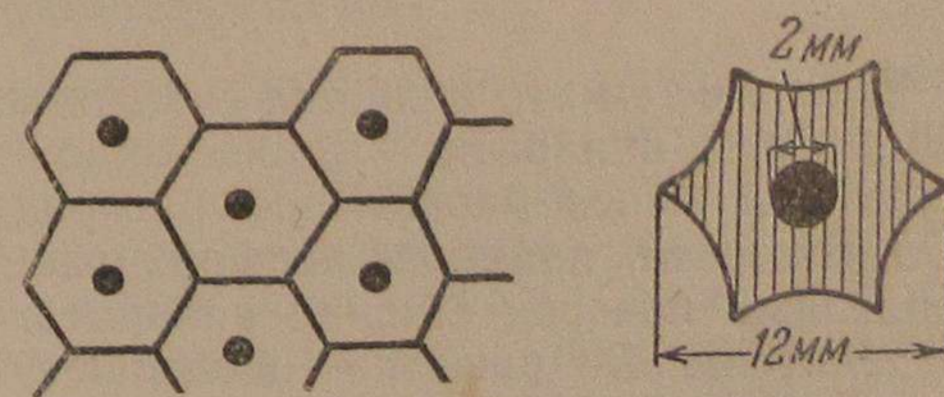


Рис. 57. Шестигранные электроды и звездчатый электрод

слоты — из свинца, а при высокой температуре газа (при упарке серной кислоты) — из угольных или термосилитовых (высококремнистый чугун) труб. Такие электрофильтры называются мокрыми.

Коронирующие провода в сухих электрофильтрах обычно изготавливаются из проволоки диаметром в 2 мм.

Если желательно понизить коронное напряжение с тем, чтобы работать при значениях напряжения на электрофильтре, возможно более далеких от пробойного, применяют проволоку диаметром в 1 мм, хотя при этом механическая прочность провода сильно уменьшается. Бывает это необходимо, например, при улавливании угольной пыли из отходящих газов сушилок, содержащих еще много кислорода, где частые пробои могут повлечь взрыв или возгорание пыли. Иногда коронирующие электроды изготавливаются жесткими из квадратного стального прутка 4×4 или 6×6 мм. У таких прутков коронируют ребра. Коронирующие провода, изготовленные из круглых прутков, на которых сделана крутая винтовая нарезка, неудобны тем, что резьба быстро забивается пылью, которую трудно удалить.

При улавливании серной кислоты провода изготавливаются из стальной освинцованной проволоки наружным диаметром 5—6 мм. Иногда освинцовке придают вид звездочки для лучшего коронирования (рис. 57).

Электрофильтры рассчитываются по средней скорости газов в них. Однако вследствие ничтожного сопротивления аппаратов очень трудно равномерно распределить газ по их сечению.

Вместе с тем это является существенно важным для нормальной работы аппарата. Единственно надежным устройством, более или менее равномерно распределяющим газ по сечению аппарата, является перфорированный лист железа, установленный поперек сечения аппарата. Отверстия в этой распределительной решетке выбирают достаточно большими с тем, чтобы они не забивались пылью (около 50 мм), а количество их выбирается таким, чтобы сопротивление распределительного листа составляло примерно 5 мм вод. ст. Перед решеткой в камере электрофильтра должен быть предусмотрен соответствующий объем. Важно также равномерно распределить газ между несколькими параллельно включенными аппаратами.

Самые камеры, в которых устанавливаются осадительные электроды, изготавливаются в зависимости (в основном) от температурных условий из кирпичной кладки, железобетона или металла. Трубчатые электрофильтры для улавливания пыли из металлургических газов устанавливаются без камеры.

Вопросом исключительной важности является при конструировании электрофильтров, а также во время их эксплуатации необходимость сохранения в чистоте изоляторов, поддерживающих раму коронирующих электродов и изолирующих вводов тока внутрь камеры от ее заземленных частей.

Небольшой налет проводящей пыли или осаждение тончайшей пленки кислоты на поверхности изолятора вызывает перекрытие по изолятору и прекращение работы улавливания в электрофильтре. Их устройство будет рассмотрено при описании конструкции электрофильтров.

Насколько важно поддержание в чистоте электродов, видно на кривой рис. 58, дающей зависимость запыленности выходящих из электрофильтра газов от времени работы аппарата. Улавливалась дисперсная зола, полученная при пылевидном сжигании подмосковного топлива (электрофильтр с карманными электродами и непрерывным отряхиванием).

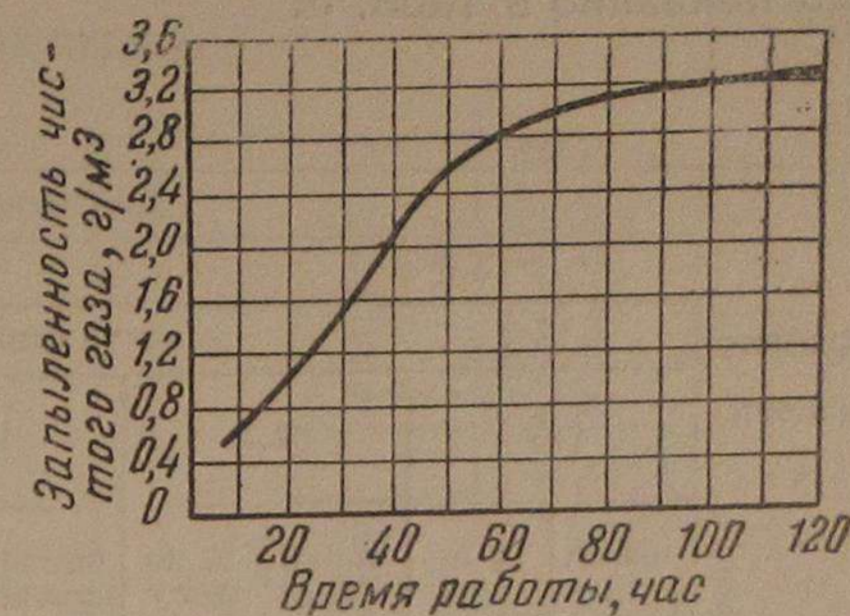


Рис. 58. Диаграмма запыленности газа:

начальная запыленность 18 г/м³; скорости газа 1,2 м/сек

Подготовка газов

Раньше указывалось, что для улавливания плохо проводящей пыли, главным образом окислов металлов, из газов, не содержащих серного ангидрида, необходимо газ так увлажнить и понизить его температуру, чтобы оседающая пыль, адсорбирав некоторое количество паров воды, стала более проводящей. Относительная влажность должна быть возможно выше, но вместе с тем неизбежное последующее понижение температуры в электрофильтре не должно повлечь за собой конденсации паров воды и ее осаждения вместе с пылью.

Увлажнение газа производится в отдельных увлажнительных башнях-скрубберах, в которых рядом форсунок тонко распыляется вода. Желательно, чтобы вся вода целиком испарялась. Однако это не всегда достижимо, и в этих случаях часть пыли, выпавшая с водой в башне, образует иногда большие количества весьма неприятного в эксплуатации шлама. Кроме того, при полном испарении уменьшается опасность уноса газом капельной воды в электрофильтр и осаждения ее вместе с пылью на электродах.

Чем выше напор воды и чем меньше диаметр отверстия форсунки, тем тоньше распыл. Поэтому желательно устанавливать большое количество малопроизводительных форсунок с диаметром отверстий сопла в 0,5—1,0 мм. Давление воды перед форсункой должно лежать в пределах 15—18 ата. Влияние диаметра отверстия сопла и давления на размер капель показано в табл. 3.

Таблица 3

Диаметр капель μ	Давление воды, кг/см ²									
	7,0					14,0				
	диаметр отверстия сопла, мм									
	1,6		2,2		1,6		2,2		3,25	
	число капель	% по весу	число капель	% по весу	число капель	% по весу	число капель	% по весу	число капель	% по весу
10	800	57,7	100	28,2	1700	63,2	300	47,6	100	38,6
25	280	20,0	60	22,9	580	21,6	150	23,8	50	19,3
50	180	13,0	41	15,6	260	9,7	100	15,9	45	17,4
Больше 50	—	9,3	—	33,3	—	5,5	—	12,7	—	24,7

Естественно, что такие тонкие отверстия легко забиваются. Поэтому необходимо перед каждой группой форсунок устанавливать фильтры.

Еще лучше подавать подогретую воду, так как при этом уменьшается поверхностное натяжение воды и уменьшается диаметр капли. На рис. 59 изображен один из типов форсунок высокого давления. Необходимо при изготовлении форсунки точно соблюдать все размеры.

Вследствие неизбежных колебаний температуры и количества подаваемого в скруббер газа, необходимо регулировать количество подаваемой через форсунки воды. Этого ни в коем случае нельзя делать, регулируя давление воды вентилями на водопроводной линии. При этом уменьшается давление у форсунок и ухудшается распыл воды. Регулировка количества подаваемой воды, а следовательно, и температуры газов после скруббера, должны производиться выключением отдельных форсунок или групп форсунок. Крайне желательно автоматизировать процесс включения и выключения форсунок в зависимости от температуры и влажности отходящих газов.

Производительность форсунки может быть определена по следующей формуле:

$$Q = kdp^m \text{ кг/час,}$$

где для воды

$$m = 0,5; k = 12; d \text{ мм; } p \text{ ат}$$

(*m* и *k* зависят от свойств жидкости).

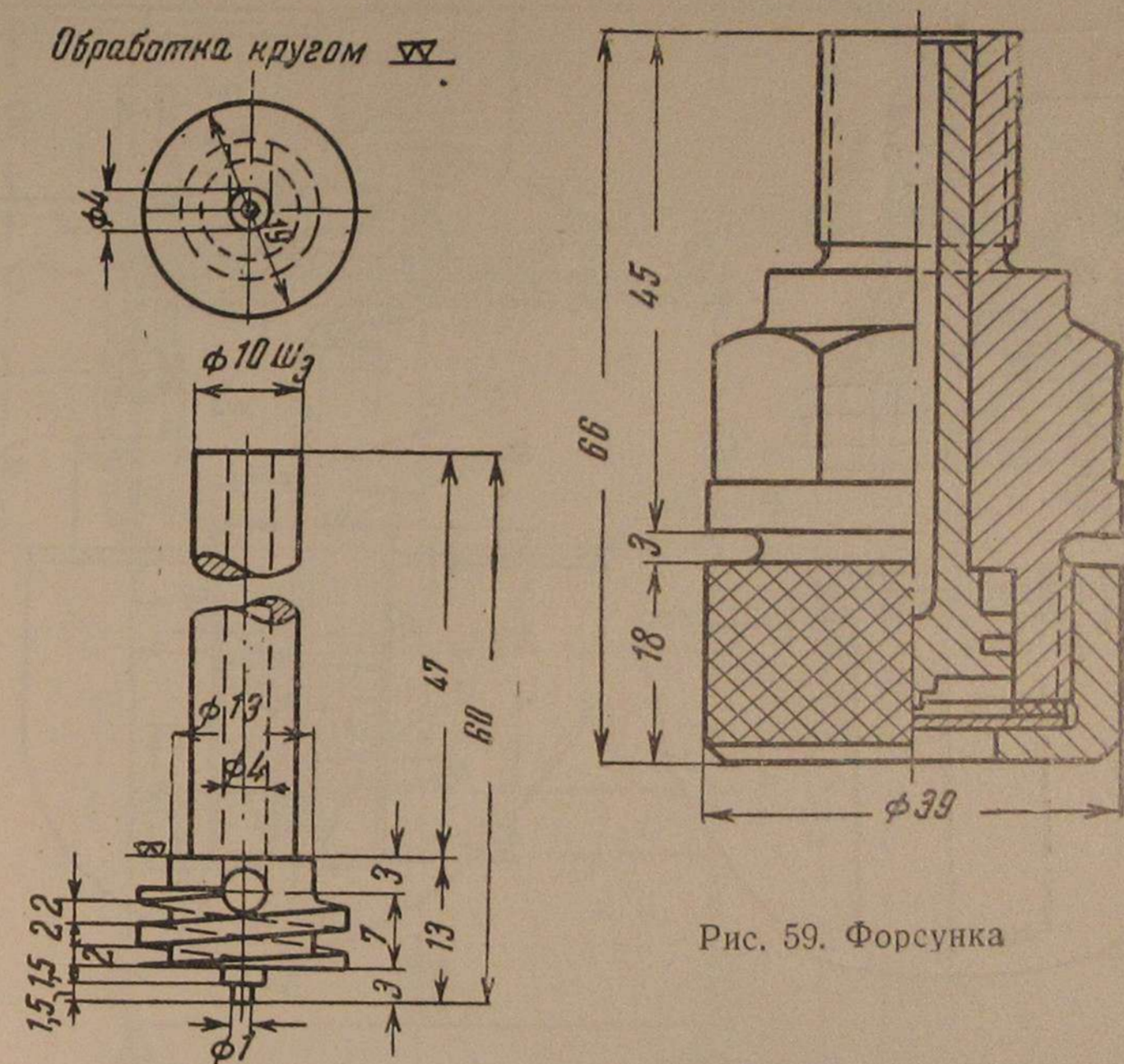


Рис. 59. Форсунка

Форсунки должны быть установлены так, чтобы их можно было в отдельности или группами легко вынимать для ревизии и прочистки (рис. 60); перед ними должны устанавливаться фильтры.

Вместо форсунок иногда применяют быстро вращающиеся диски с ребрами, к центру которых подается струйка воды. При вращении диска вода движется к периферической его части с большой скоростью и, ударяясь о штырьки, часто расположенные на периферии диска, распыляется (конструкция инж. Г. Озарнина). Для маловязких жидкостей такое устройство редко применяется.

При распыливании воды струей пара или воздуха получается наиболее мелкий распыл. Однако расход воздуха или пара

очень велик, и соответственно велики эксплуатационные расходы.

Мелко диспергированные капли воды в скруббере весьма быстро приобретают скорость самого газа и практически не движутся относительно него. Поэтому с точки зрения условий

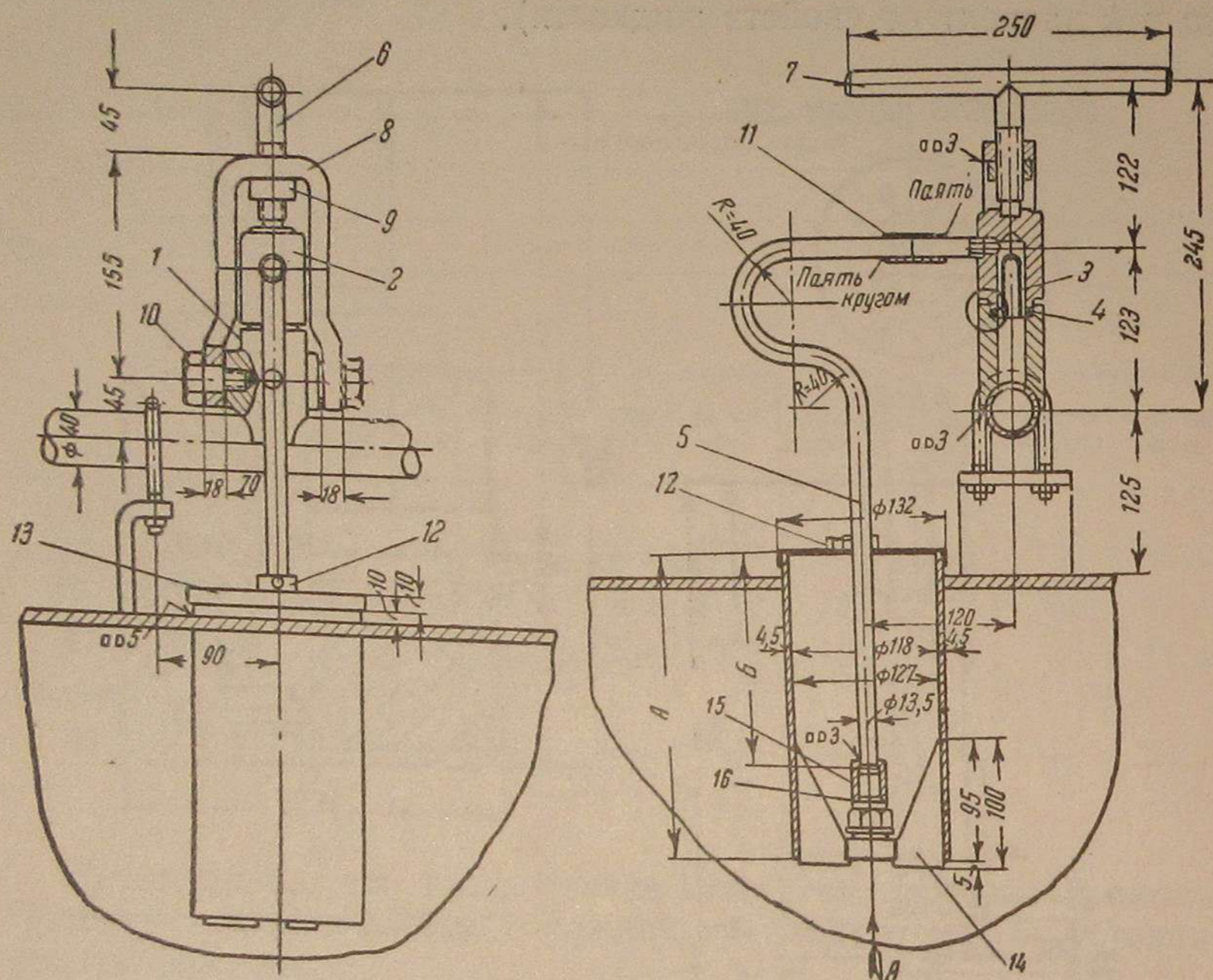


Рис. 60. Установка форсунок:

1 — бобышка; 2 — корпус фильтра; 3 — фильтр; 4 — прокладка; 5 — трубка; 6 — винт; 7 — ручка; 8 — скоба; 9 — гайка; 10 — болт; 11 — соединительная трубка; 12 — шайба; 13 — крышка; 14 — направляющие ребра; 15 — муфта; 16 — форсунка

теплопередачи безразлично, подаются ли газ и жидкость противотоком или параллельным током.

Вода, естественно, может быть подана только сверху. Вопрос же о подаче газа должен решаться так, чтобы газ равномерно распределялся по сечению. С этой точки зрения выгоднее подавать также и газ сверху. При этом можно в области, лежащей выше форсунок, установить газораспределительную решетку. При подаче газа снизу и решетку надо было бы поставить внизу. Однако это невозможно сделать, так как решетка могла бы быстро забиваться влажной пылью. Даже при

установке решетки сверху ее надо делать из отдельных частей, легко очищаемых, например, поворотом каждой части на некоторый угол вокруг горизонтальной оси. На рис. 61 изображен

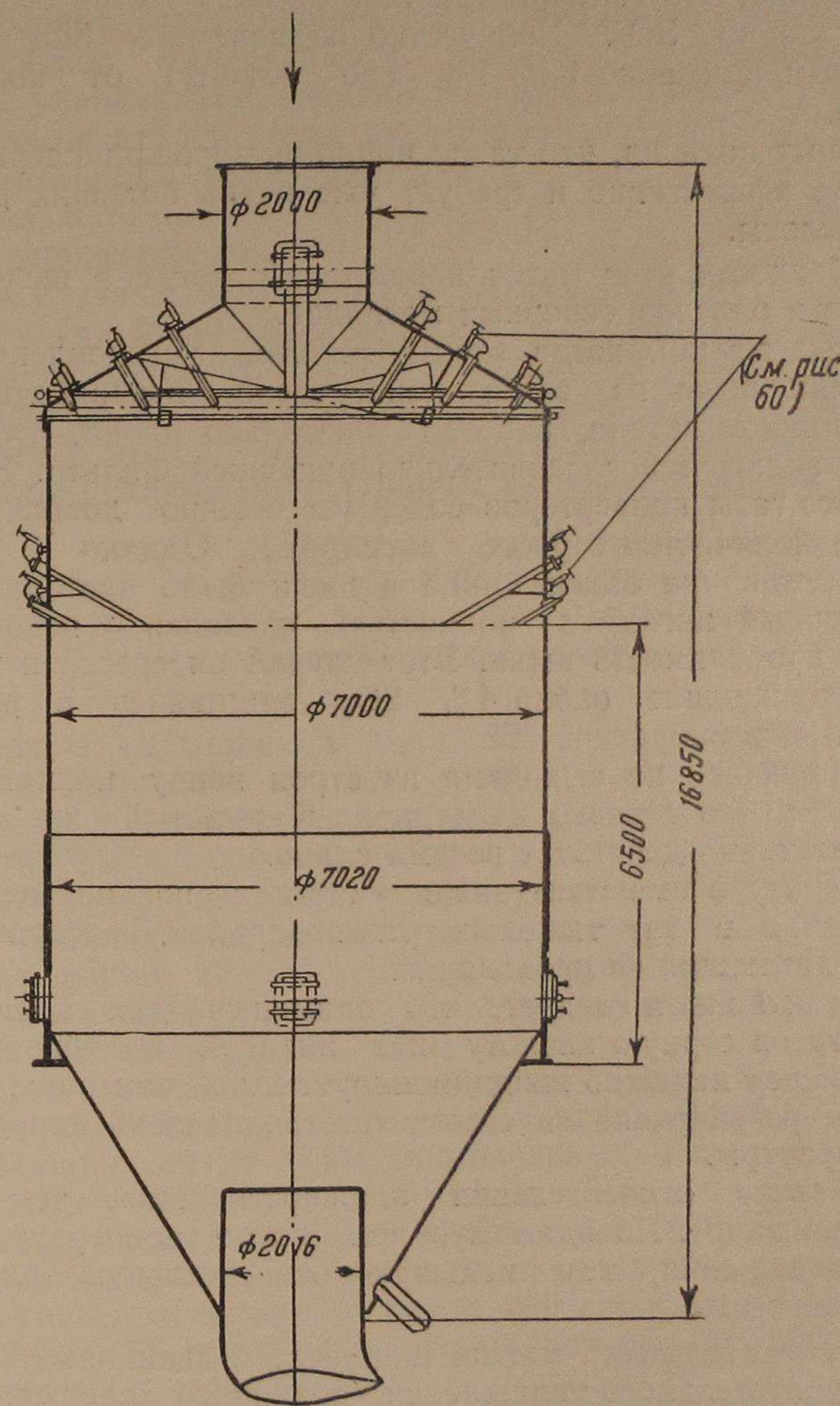


Рис. 61. Скруббер

такой скруббер. При достаточно высокой температуре газов (выше 250°) в американской практике кондиционирование газов производится иногда испарением в газ некоторого количества

серной кислоты. Для этого в отдельную маленькую топку или обогреваемую электрическим током камеру капают серную кислоту из дозирочного аппарата.

Естественно, что температура газа должна быть выше точки росы газа по SO_3 . Количество подаваемого SO_3 должно быть равным примерно 0,8—1% (по объему) от количества всего газа.

Наш опыт показал, что такое кондиционирование серной кислотой мало эффективно и требует уже очень больших расходов серной кислоты.

В особенности этот метод неприменим, когда в пыли содержится много окислов основных металлов.

Известен случай, когда электрофильтр, установленный для улавливания пыли из газов конвертеров, перерабатывавших богатый цинком штейн, работал настолько плохо, что после него был включен последовательно рукавный фильтр. Надо заметить, что газы конвертеров содержат обычно довольно значительное количество серного ангидрида. Однако в данном случае содержание окиси цинка в пыли было настолько велико, что серный ангидрид полностью связался и недостаточно увеличил проводимость пыли. Этот случай интересен и тем, что газы, содержавшие около 4% SO_2 , очищались в рукавном фильтре при температуре 80°.

Ткань рукавов не выходила из строя ввиду полного отсутствия свободного серного ангидрида. Сернистый же ангидрид (сухой) на ткань действует весьма слабо.

В литературе имеются также указания на применение в виде добавок в газ тяжелых углеводородов, адсорбируемых пылью и делающих ее проводящей.

Из нашего опыта следует, что применять для кондиционирования газов серную кислоту нет никакой надобности. Это сложно, менее надежно кондиционирует пыль, чем вода, труднее поддается регулировке и может быстро повлечь коррозию аппаратуры.

Чем выше относительная влажность газа, тем лучше идет улавливание. Повидимому, чем выше температура газа после увлажнения, тем меньшую относительную влажность можно допустить.

Газы спекательных машин цинковых и свинцовых заводов требуют обязательного увлажнения (подробнее дальше). Однако низкая температура отходящих газов весьма затрудняет их увлажнение.

Как показали обследования, предприятия не отдают себе отчета в этом и мало заботятся о ликвидации подсосов как в самой спекательной машине, так и в газоходах. Вследствие этого возрастает скорость в электрофильтре, и, что значи-

тельно сильнее влияет на ухудшение очистки, понижается температура газа и его влажность.

При улавливании окислов металлов из газов отражательных печей на одном из наших оловянных заводов обслуживающий персонал легко добивается содержания только одного-двух десятков миллиграммов пыли в 1 м³ очищенного газа (степень улавливания порядка 98—99%). Объясняется это высокой температурой газа на входе в скруббер (благодаря чему легко производится увлажнение газа), и грамотным и хорошо налаженным обслуживанием и контролем содержания пыли в очищенном газе.

В тех случаях, когда газ необходимо увлажнять, значительная часть (до 50%) пыли осаждается в увлажнительной башне, образуя весьма неприятный в обращении шлам.

Остальная часть пыли улавливается в сухом виде. Естественно, что в этих случаях, если это только возможно, следует переходить целиком на улавливание пыли в мокрых электрофильтрах.

Степень улавливания

Степенью улавливания пыли, или степенью очистки газов, или чаще (не совсем правильно) коэффициентом полезного действия (к. п. д.) пылеуловителя называют отношение весового количества пыли, уловленного в аппарате, к весу пыли, содержащейся в газе на входе в пылеуловитель.

Эта величина определяет только качество самого аппарата при улавливании данной пыли и не отражает эффективности всего улавливания в целом. Последняя величина определяется содержанием пыли в очищенном газе.

Действительно, степень улавливания какого-либо пылеуловителя, равная 98%, может считаться вполне достаточной при улавливании пыли из газов многоподовых механических печей, содержащих не более 10 г/нм³ пыли. При этом содержание пыли в очищенном газе будет не более 0,2 г/нм³. При улавливании же пыли из газов обжига во взвешенном состоянии, где содержание пыли в газе достигает 200 г/нм³, степень улавливаемая, равная 98%, явно недостаточна, так как в очищенном газе останется еще 4 г/нм³ пыли.

При сравнении качества пылеуловителей, улавливающих разные пыли, имеющие различную дисперсионную характеристику, даже при одинаковых физико-химических свойствах пыли нельзя основываться на степени очистки, определенной указанным выше образом. Ранее было показано, что более крупная пыль улавливается лучше. Поэтому при улавливании пылей разной

дисперсности может оказаться, что менее эффективный, вообще говоря, аппарат уловит больший процент пыли только потому, что вносимая в него газом пыль крупнее.

Для сравнения аппаратов, испытанных на разных пылях, а также для предварительной оценки степени улавливания

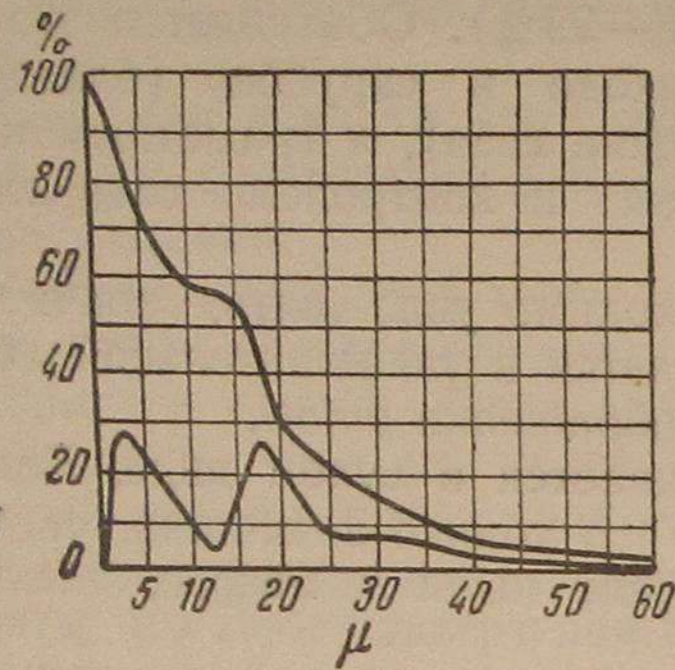


Рис. 62. Кривая остатков и кривая распределения

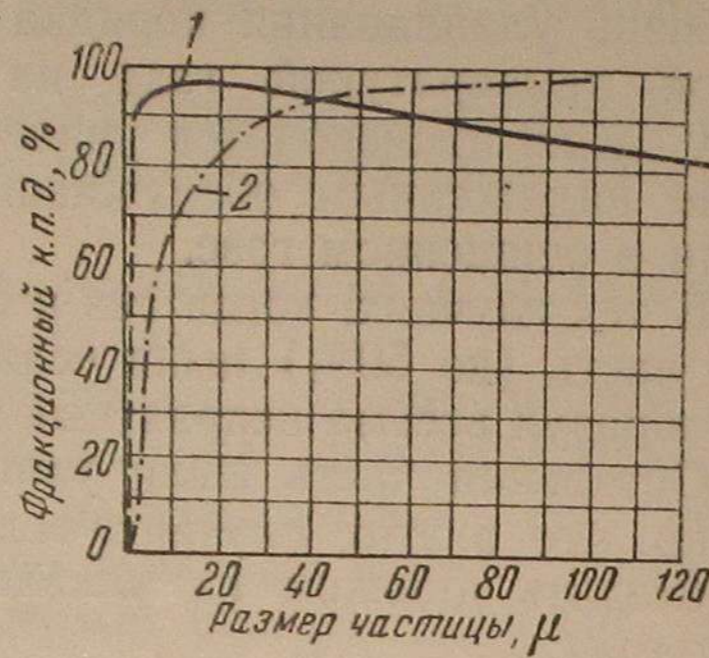


Рис. 63. Кривая фракционных к. п. д.:

1 — для электрофильтра;
2 — для батарейного циклона

в испытанном аппарате пользуются понятием фракционной степени улавливания.

Для этого необходимо знать кривую распределения, или дисперсионную характеристику пыли.

Кривой распределения называется кривая, показывающая весовые проценты пыли различных размеров частиц в данной пробе. Суммарной кривой, или кривой остатков, называют кривую, показывающую весовой процент частиц данного размера и более крупных в навеске пыли (на рис. 62 даны обе кривые).

Фракционным к. п. д. пылеуловителя называется степень улавливания им частиц данных размеров. Имея кривую зависимости фракционных к. п. д. от размеров пыли, зная дисперсионную характеристику пыли, определить общий к. п. д. данного аппарата при улавливании данной пыли.

На рис. 63 изображены фракционные к. п. д., полученные при улавливании одной и той же пыли (угольной золы) в электрофильтре и батарейном циклоне.

Фракционный к. п. д. батарейного циклона непрерывно увеличивается с увеличением размера частиц. В электрофильтре же он, хотя и лежит значительно выше для мелких частиц, неожиданно понижается для крупных.

Объясняется это тем, что в электрофильтре успешность улавливания определяется не только размером частиц, но и их

физико-химическими свойствами. В данном случае ухудшение степени улавливания крупных частиц объясняется неоднородностью пыли. Крупные частицы — это скоксовавшиеся частицы несгоревшего угля, улавливающиеся вследствие своей значительной проводимости хуже мелких частиц плохо проводящей золы.

Надо заметить, что фракционная степень улавливания, определенная при каких-то определенных величинах пылесодержания газа, может измениться при больших отклонениях величины запыленности от условий опыта. Иначе говоря, фракционный к. п. д. сам является функцией величины общей запыленности газа. Правда, при обычных концентрациях пыли с этими влияниями можно не считаться.

Допустимое конечное содержание пыли в газе определяется либо экономическими соображениями, либо санитарными, либо, наконец, технологическими. При экономических подсчетах эффективности улавливания в электрофильтрах следует помнить, что, как это следует из уравнения (32), определяющего к. п. д., длина L аппарата входит в показатель степени, и поэтому улавливание остаточных количеств пыли вызывает резкое увеличение длины аппарата (см. рис. 22, 25), а следовательно, капитальных и эксплуатационных затрат. Технологические условия требуют иногда практически полного улавливания пыли, например, при производстве серной кислоты из отходящих газов.

Поскольку конечное пылесодержание газа, прошедшего электрофильтр, зависит от начального, а электрофильтр является аппаратом весьма дорогим и приспособленным к полному улавливанию весьма дисперсной пыли, необходимо газ предварительно максимально очистить от пыли в простейших пылеуловителях — циклонах, батарейных мультициклонах, жалюзийных фильтрах и т. п. Этим обстоятельством часто пренебрегали, полагая, что раз к установке принят такой эффективный аппарат, как электрофильтр, то можно не заботиться о снижении пылесодержания газа перед ним.

Важно также для достижения хороших результатов равномерное распределение газа между несколькими параллельно включенными аппаратами и между отдельными секциями внутри одного аппарата. Задача эта решается нелегко ввиду малого сопротивления электрофильтра. Поэтому желательно устанавливать на выходе из аппарата соответствующую измерительную аппаратуру. Распределение же газа между секциями определяется легче всего (хотя, конечно, неточно) по температуре газа на выходе из секции. Там, где температура выше, там и скорость газа больше, поскольку условия охлаждения газа в обеих секциях обычно одинаковы.

В дальнейшем будет описана электрическая очистка газов в основных отраслях промышленности и применяемая при этом аппаратура. Конечно, одни и те же аппараты могут применяться в соответственных условиях и в различных отраслях промышленности.

Число типов применяемых электрофильтров весьма велико; в зависимости от специфических условий они могут отличаться теми или иными деталями. Описание всех этих аппаратов излишне загромодило бы книгу, а потому описываются только основные.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ХИМИИ

Характеристика пыли и газов

Во всех пирометаллургических переделах выделяются значительные количества газов, уносящих с собой много пыли. Как видно из дальнейшего, количество уноса составляет значительную долю продукции. Некоторые процессы вообще основаны на переводе основного продукта в пыль и полном его выносе из печи. Естественно, что во всех этих случаях из газов должна быть практически полностью уловлена вся уносимая ими пыль. Это необходимо как по экономическим, так и по санитарным соображениям.

Иногда основным продуктом (например при обжиге железного колчедана и пиритных хвостов) процесса обжига является сернистый газ, направляемый на производство серной кислоты. В этом случае для нормальной работы сернокислотного завода газ должен быть нацело очищен как от пыли, так и от тумана кислоты (последнее в контактном производстве серной кислоты).

Несмотря на многообразие металлургических переделов, получаемых продуктов, уносимая газом пыль может быть разделена на основные две группы: к первой относятся пыль, образовавшаяся в результате механического измельчения (механический унос мелочи шихты в процессе обжига, плавки, спекания; пыль, образованная при механическом дроблении в мельницах, дробилках в процессе сушки и т. п.). Эта пыль относительно крупна, и значительная часть ее может быть уловлена в тех или иных механических пылеуловителях. Однако полное их улавливание требует применения уже аппаратов типа мокрых циклонов.

Ко второй относятся пыли, полученные из возгонов в результате их конденсации или горения. К ним, например, относится пыль, образовавшаяся:

- 1) в результате горения паров цинка, полученного в восстановительных процессах (шахтная восстановительная плавка, восстановительный обжиг в барабанных печах и т. п.);
- 2) пыль от сжигания и конденсации отогнанных металлических свинца и кадмия и их сульфидов;
- 3) от конденсации серной кислоты, смолы и т. д.

Эти пыли отличаются значительной дисперсностью, и их улавливание возможно только в рукавных фильтрах и электрофильтрах. В зависимости от характера образования и условий перехода в твердую или жидкую фазу находится и их дисперсность. Чем выше температура образования и чем скорее происходит изменение фазового состояния, тем дисперснее полученная пыль или туман и тем труднее их уловить.

Этим различием в дисперсном состоянии можно воспользоваться, как мы уже говорили (см. рис. 29) для обогащения пыли металлом, содержание которого в сырье так мало, что непосредственное его извлечение невозможно.

По составу своему технологические газы предприятий цветной металлургии и химии могут быть разделены в основном на две группы: содержащие серный ангидрид (SO_2) и не содержащие его.

Наличие в газе серного ангидрида улучшает улавливание, поскольку им сульфатизируется пыль, и ее проводимость улучшается. Конечно, температура газов должна быть выше точки росы серной кислоты. В противном случае конденсирующаяся серная кислота будет, осаждаясь вместе с пылью на электродах, разрушать их, а оседая на изоляторах, поведет к их перекрытию.

Характеристика пыле-газовых систем

В обжиговых печах медеплавильных, цинковых и сернокислотных заводов производится окислительный обжиг сульфидов металлов при температуре, не превышающей 1000° . При этом сера полностью или частично выгорает, образуя сернистый ангидрид (SO_2). Часть последнего окисляется до серного ангидрида (SO_3), улучшая улавливание, согласно вышесказанному.

Переваливаясь в печи с пода на под, обжигаемый материал встречает поднимающийся поток газов, и мелкие частицы уносятся им.

Сульфиды железа, цинка и меди мало летучи и, сгорая в не-летучие окислы, присутствуют в пыли в относительно крупной

фракции. Сульфиды свинца, кадмия и таллия более летучи и, при сгорании, конденсируясь, образуют наиболее дисперсную часть пыли. Окисляясь, сульфиды образуют сульфаты. Этот процесс, а также процесс сульфатизации окислов металлов в газовой фазе серным ангидридом и определяет возможность улавливания без предварительной подготовки газов. Надо заметить, что чем дисперснее пыль, тем быстрее проходит ее сульфатизация.

По системе транспорта газо-пылевой смеси происходит осаждение пыли. Чем дальше от печи, тем пыль дисперснее и тем выше в ней содержание свинца и кадмия, как это видно из табл. 4.

Обжиговые печи цинковых заводов

Таблица 4

Место отбора пробы	Содержание, %			Примечание
	Zn	Pb	Cd	
Пыль из газохода	30—39	3,5—5,0	0,09—0,18	В сульфатной форме 96% Pb и 25% Zn
Пыль из электрофильтров	23	33	0,5	
Пыль, не уловленная в электрофильтре	7	56	0,7	

Содержание пыли в газе обжиговых печей сильно колеблется и в среднем равно 12 г/нм³.

Вследствие наличия в газе от 2,5 до 4,5% SO₂ и соответственно 0,2—0,5% SO₃ улавливание происходит вполне удовлетворительно.

При очистке в вертикальном электрофильтре типа ХК45 (описывается далее) и при довольно высокой скорости газов, равной 0,6 м/сек, и удельном потреблении тока в 0,365 ма/м, конечная запыленность равнялась 0,365 г/нм³ и степень очистки 93,5%. Дисперсионный состав пыли дан в табл. 5 [10].

В данном случае, учитывая ценность пыли и ее обогащение свинцом и кадмием, следовало бы устанавливать многопольные горизонтальные аппараты типа ГК30 и работать при несколько меньших скоростях газов порядка 0,4—0,5 м/сек.

При очистке газов обжиговых печей, используемых для производства серной кислоты, конечная запыленность газов должна быть возможно меньше (ниже 0,2 г/м³), во избежание отложения пыли на холодильниках промывной кислоты и в промывных башнях.

Таблица 5

Дисперсионный состав пылей обжиговых печей

Размеры μ	Пыль из:				Примечание
	газохода		электрофильтра		
	%	суммарные %	%	суммарные %	
0—5	7,5	7,5	30,0	30,0	Определено седиментометрическим методом
5—10	8,0	15,5	46,6	76,6	
10—20	16,5	32,0	17,7	94,3	
20—30	18,8	50,8	3,7	98,0	
30—40	19,2	70,0	2,0	100,0	
40—50	9,8	79,8			
50—60	20,2	100,0			

Температура газов на выходе из печей лежит в пределах 650—750°, а температура газов на входе в электрофильтр не должна превышать 450°. Поэтому газы необходимо предварительно охлаждать. Лучшим методом является охлаждение газов в стальном газоходе, снабженном рубашкой, через которую продувается воздух. Нагретый воздух может быть использован. Для охлаждения может быть использован также нефутерованный циклон с центральной трубой из жароупорной стали.

Технологические газы спекательных машин цинковых заводов содержат около 1,5% SO₂ и почти не содержат серного ангидрида (SO₃). Свинец и кадмий частично восстанавливаются в слое шихты ее углеродом и, уносясь в виде металлических паров, окисляются, сульфатизируясь значительно меньше, чем в газах обжиговых печей. Соответственно и улавливание этих пылей в электрофильтрах требует предварительного увлажнения газов. Кроме тонко дисперсной пыли, газами уносятся более крупная фракция. Температура газов после машины лежит в пределах 100—160°. Для защиты эксгаустера спекательной машины от износа перед ним, для улавливания грубых фракций, устанавливаются циклоны (простые или батарейные).

В табл. 6 приведены данные о химическом составе пыли, осевшей в газоходе, уловленной в циклоне и прошедшей неуловленной. Как видно из табл. 6, мелкие фракции пыли обогащаются свинцом и кадмием.

В газах спекательных машин свинцовых заводов содержание сернистого ангидрида еще ниже (около 1%). Содержание же свинца в пыли, образующего наиболее дисперсную ее часть, выше. Высокая дисперсность пыли, уносимая газами спекатель-

ных машин, объясняется, помимо уже сказанного, также быстрым охлаждением газов. Поэтому улавливание пыли без предварительного сильного увлажнения газов невозможно. Даже при хорошем увлажнении высокая степень очистки неустойчива, сильно завися от изменений в ходе основного технологического процесса. Осложняется еще улавливание тем, что температура газов на выходе из эксгаустера лежит в пределах 80—110° и при

Таблица 6

Пыль из газов спекательных машин цинковых заводов

Место отбора пробы	Содержание, %		
	Zn	Pb	Cd
Газоходы	54,0	2—2,5	0,5
Циклоны	53,4	1,6—1,9	0,5
Пыль, не улавливаемая в циклонах	22,0—44,0	9,5—37	3,5—8,8

сильном увлажнении, необходимом для достижения хорошего улавливания пыли, разница между температурой газа и его точкой росы становится весьма малой. Вследствие местных подсосов, а также вследствие некоторых неравномерностей в количествах подаваемого газа и охлаждающей воды температура газов в электрофильтрах может в отдельные моменты понижаться ниже точки росы на электродах и конструкциях. При этом на них конденсируется вода, абсорбирующая сернистый ангидрид, и металлические части быстро выходят из строя. Поэтому необходима очень точная регулировка температуры и влажности газов.

Повышение температуры отходящих газов путем уменьшения их количества за счет устранения подсосов дает возможность увеличить как абсолютную, так и относительную влажность газов без опасного приближения температуры газов к точке росы.

В табл. 7 дана зависимость степени улавливания от относительной влажности и запыленности газов. Как видно, даже при относительной влажности в 80—90% степень улавливания не превышает 89%. Температура газов при этом равна всего 40°, и абсолютная влажность сравнительно невелика. Объясняется это низкой начальной температурой газов.

Таблица 7

Зависимость степени улавливания в электрофильтрах пыли технологических газов спекательных машин свинцового завода от запыленности, влажности и температуры газов

Относительная влажность, %	Температура газов, °C	Запыленность газов, г/м ³		Степень улавливания, %	Примечание
		на входе в фильтр	на выходе из фильтра		
5—7	90	2,27	1,65	27	Скорость газов в горизонтальном трехпольном электрофильтре 0,4—0,5 м/сек
10—20	71	1,63	1,02	37	
20—40	56	1,6	0,5	69	
40—50	48	1,3	0,4	68	
50—60	48	1,4	0,4	69	
60—70	48	1,4	0,42	70	
70—80	40	1,06	0,18	83	
80—90	40	0,7	0,08	89	

Газы ватержетов свинцовой плавки содержат от 3,5 до 6 г/м³ пыли. При работе на низкой сыпи содержание пыли повышается до 35 г/м³. Содержание сернистого ангидрида в газах весьма невелико, а содержание окиси цинка, как видно из табл. 8, велико. Поэтому при конденсации паров воды в электрофильтре коррозия электродов не происходит, и легче достигнуть высокой степени влажности.

Таблица 8

Химический состав пылей газовых систем шахтных печей свинцовых заводов

Место отбора пробы	Содержание, %		
	Pb	Zn	Cd
Газоходы	39,0	7,44	0,22
Из электрофильтров	58,4	10,2	1,37

Трудность регулировки влажности и получение части пыли в сухом виде, а части в виде шлама (около 50%) делают эксплуатацию весьма трудной и сложной.

Повидимому, более целесообразно организовывать улавливание этих пылей либо в рукавных фильтрах, либо в мокрых электрофильтрах. Последнее осложняется наличием сернистого ангидрида, выброс которого с охлажденными газами очень затруднен.

Наилучшим решением явилась бы установка мокрых электрофильтров с последующим использованием сернистого ангидрида.

Пыль из газов вельц-печей, а также шахтных печей, работающих на латуни и сорах, в которых почти отсутствует сернистый ангидрид, улавливается обычно в рукавных фильтрах. Опыты по улавливанию такой пыли в мокрых электрофильтрах дали весьма благоприятные результаты. Там, где влажность пыли не мешает ее дальнейшей переработке (цинкоэлектролитные заводы), повидимому целесообразнее применять второй метод улавливания.

Газы шахтных печей медеплавильных заводов обычно содержат значительные количества сернистого и серного ангидрида, и пыль из этих газов улавливается без предварительной подготовки. То же относится и к улавливанию пыли из газов конвертеров. В том случае, однако, когда содержание окислов цинка и пыли очень велико, степень улавливания снижается, и может стать вопрос о применении рукавных фильтров.

При улавливании пыли из газов отражательных печей оловянных заводов необходимо предварительное увлажнение газов. При этом удается (при надлежащем обслуживании) получить высокую степень улавливания, доводя содержание пыли в чистом газе до десятых долей грамма на кубический метр.

В тех случаях, когда температура отходящих газов превышает $450-475^\circ$ (верхний температурный предел работы обычных электрофильтров), печные газы медеплавильных агрегатов необходимо охлаждать. В тех случаях, когда газ по требованиям хорошего улавливания необходимо увлажнять, охлаждение производится испарением воды в газе. При наличии серного ангидрида обычно применяются поверхностные охладители.

Газы обжиговых печей, пройдя очистку в сухих электрофильтрах, содержат еще от 0,1 до 0,3 г/м³ пыли. В случае использования этих газов для производства кислоты контактным способом газы должны быть охлаждены и полностью очищены от пыли и образующегося при охлаждении устойчивого тумана серной кислоты.

При охлаждении конденсируются также окислы мышьяка и селена. Улавливание тумана кислоты и доулавливание пыли производятся в мокрых электрофильтрах. Отходящие газы сернокислотных контактных и башенных заводов содержат небольшие количества непоглощенного тумана серной кислоты. Улав-

ливание его необходимо по санитарным соображениям. Оно также производится в мокрых электрофильтрах.

Электрофильтры, применяемые для улавливания пыли и тумана в цветной металлургии и химии

При улавливании непроводящей пыли из газов, содержащих серный ангидрид, к предварительной подготовке газов прибегать не приходится, если количество основных окислов металла в пыли не слишком велико. В последнем случае количество содержащегося в газе SO_3 недостаточно для придания пыли необходимой проводимости, и приходится прибегать к увлажнению газа или лучше устанавливая более подходящие в этом случае рукавные фильтры.

Газы, содержащие серный ангидрид, получают в основном при обжиге в обжиговых печах серусодержащего материала, при пиритной ватержакетной плавке и при конвертировании штейна. Содержание SO_3 , зависящее от температурного режима процесса и наличия катализаторов (пиритного огарка), лежит обычно в пределах 0,5—1,0%. Температура газа в электрофильтре не должна опускаться ниже точки росы серной кислоты. Эта температура лежит в пределах $200-275^\circ$ и определяется для каждой установки при пуске. При понижении температуры серная кислота будет конденсироваться и, осаждаясь на металлических частях электрофильтра, быстро выведет их из строя. При оседании кислоты на поверхности изоляторов они перекрываются, и по ним происходит такая утечка тока, что поддерживать напряжение не удастся.

Поэтому при понижении температуры ниже критической следует прекратить подачу газа в электрофильтры. Если почему-либо временно все же необходимо пропускать газ через электрофильтр, то следует прекратить подачу на него электрического тока.

Верхний температурный предел определяется стойкостью металлических конструкций электрофильтра и способностью пыли спекаться. При спекании пыль так облипает электроды, что ее трудно стряхнуть (особенно с коронирующих проводов). Этот предел равен примерно 500° .

Для улавливания пыли из подобных газов обычно устанавливаются пластинчатые электрофильтры (вертикальные или горизонтальные).

Первые применяются при очистке малых количеств газов или если по местным условиям горизонтальные аппараты не размещаются. В вертикальных аппаратах газ движется снизу вверх против движения выпадающей пыли. Пустить газ в обратном

направлении нельзя, так как установленные сверху изоляторы окажутся при этом в области грязного газа. Кроме того, очищенный газ, выходя в нижней части электрофильтра, будет увлекать с собой выпадающую пыль. Поэтому, а также потому, что в вертикальном электрофильтре длина поля ограничена высотой осадительного электрода, на новых предприятиях цветной металлургии чаще устанавливаются горизонтальные фильтры. Кроме того, при их установке могут быть использованы сепарационные свойства электрофильтра. В вертикальных же фильтрах, имеющих общий для всей пыли бункер, этого сделать нельзя.

Электрофильтр типа ХК45

Камера электрофильтра (рис. 64) — кирпичная, выложена в два кирпича и стянута металлическим каркасом. Кладка на цементном растворе изнутри с пустошовкой в 2—3 см, затираемой глиной на жидком стекле. Вертикальной внутренней стенкой в полтора кирпича аппарат разделен на две отдельные камеры. Только в том месте, где газ входит в аппарат, вертикальная стенка отсутствует.

Газ через отверстие диаметром в 1100 мм входит в небольшую форкамеру, ограниченную сверху и снизу сводами. В нижнем своде имеются два прямоугольных отверстия, в которые вделаны металлические коробки без дна. Коробки несколько выступают из сводов. Пространство между выступами коробок и стенками засыпано мелким песком. В этот песок могут опуститься своими краями тяжелые чугунные колокола, закрывая отверстия и преграждая доступ газа в каждую камеру аппарата. Колокола подвешены к тягам из круглого железа, проходящим свободно через отверстия в верхнем своде. Для того чтобы через эти отверстия не выбивался газ или подсасывался воздух, на штанги надеты две небольшие чаши (рис. 65). В отверстие свода вставлен отрезок стальной трубы. Когда колокол опущен и уперся в песочный затвор, верхняя чаша должна упереться в свой затвор. При подъеме колокола труба упирается в песок, насыпанный в нижнюю чашу. Положение чаш на штангах должно быть отрегулировано при пуске. Тяги прикреплены к цепям, переброшенным через блоки. Подъем и опускание колоколов производится ручными лебедками. Кроме колоколов, на выходе газа из каждой секции установлены поворотные дроссельные клапаны. Последними выключается ток газов из секции, когда в ней производят отряхивание пыли с электродов. Открывается дроссель ручной тягой, закрывается грузом, укрепленным на коромысле, надетом на вал дросселя. Колокола же служат для закрывания камеры во время ремонтов или при любой продолжительной остановке.

Опускаясь через отверстия под колоколами, газ проходит над бункером и попадает снизу в осадительную камеру. В низу осадительных камер установлены газораспределительные решетки. В каждой решетке 252 отверстия диаметром в 45 мм. Решетка сделана из нескольких частей и может быть отряхнута.

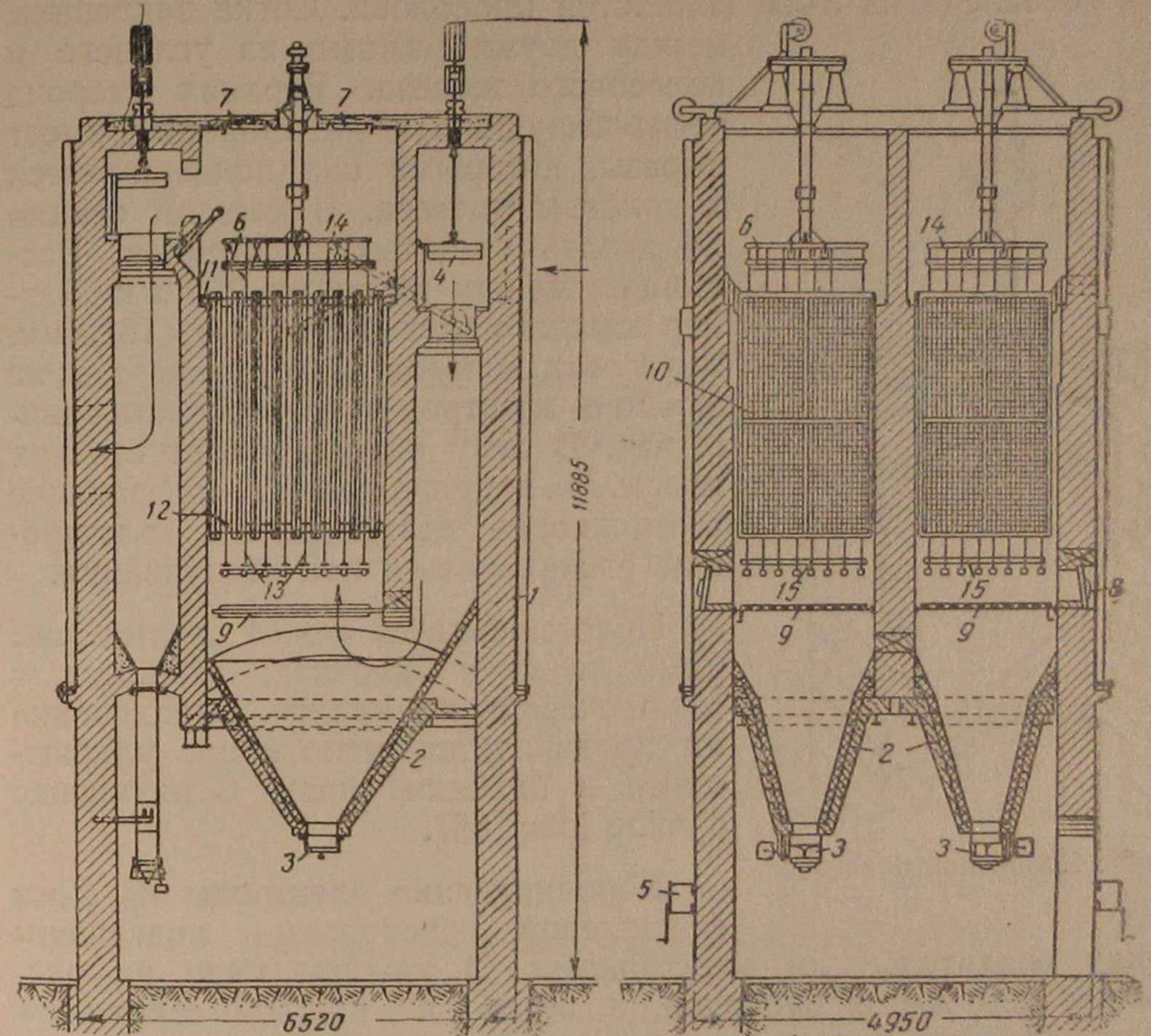


Рис. 64. Электрофильтр ХК45:

1 — обвязка; 2 — футеровка бункера; 3 — реечный затвор; 4 — колокол; 5 — лебедка; 6 — рамка встряхивания; 7 — крышка; 8 — люк; 9 — распределительная решетка; 10 — осадительные электроды; 11 — балка подвеса электродов; 12 — дистанционная планка; 13 — коронирующие электроды; 14 — верхняя рама коронирующих электродов; 15 — нижняя рама коронирующих электродов

Пройдя осадительную часть камеры, газы через выходной колокол опускаются в третье отделение аппарата, где отсутствует разделительная стенка, и уходят наружу через одно отверстие.

Бункеры камер железобетонные и выкладываются кислотоупорным кирпичом или плиткой.

Сверху камеры перекрыты конструкцией из стальных листов на стальных балках, снабженной люками. Люки перекрыты

крышками, склепанными из двух стальных листов с асбестовой прокладкой. Крышки необходимо держать всегда засыпанными слоем песка в 100—150 мм, с тем чтобы они не охлаждались и на них не конденсировалась бы серная кислота из газов.

Осадительные электроды сетчатые. Сетка с ячейками в 18 мм; она изготовлена из 3-мм волнистой проволоки. Сетка заклепана между двумя рамами из углового и полосового железа. Верхняя сторона рамы выпущена в обе стороны и имеет вырезы, которыми она подвешивается к полосам подвеса. В каждой секции по девять сетчатых электродов. Расстояние между их осями 250 мм. Размер каждого электрода 3000×1670 мм. В полосах подвеса имеются вырезы, не дающие электродам возможности сдвигаться. В низу камеры на ее стенках крепятся направляющие, не дающие возможности осадительным электродам раскачиваться при отряхивании.

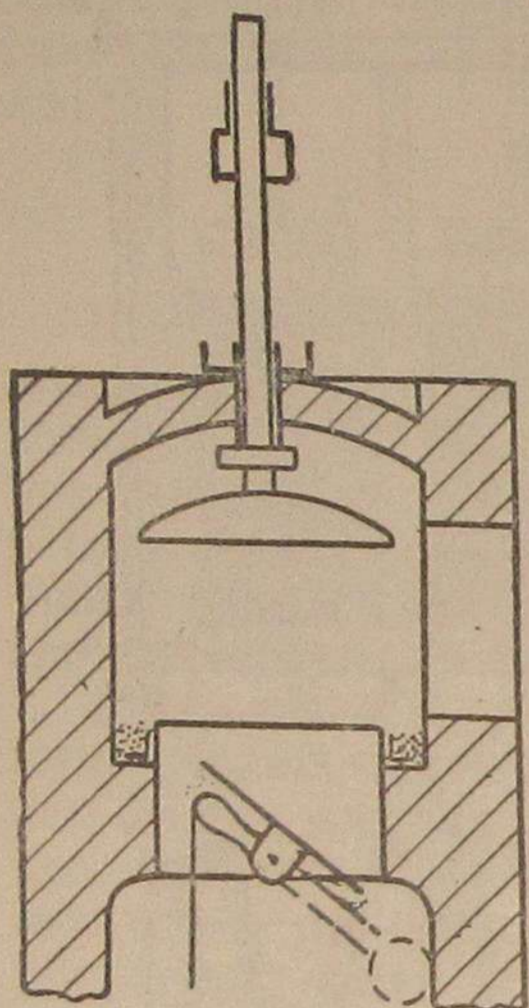


Рис. 65. Колокольный затвор

Полосы подвеса лежат своими концами на двух балочках, лежащих в свою очередь на кладке. Отряхивание их производится молотками, ударяющими в балочки снизу. Отряхивание ручное (рис. 66).

Коронирующие электроды из 2-мм фехральной проволоки подвешены между осадительными электродами. В каждом ряду на расстоянии 200 мм 8 проводов, а всего в каждой секции 64 электрода. Они подвешены к верхней коронирующей раме, изготовленной из угловой стали 50×50×6 мм. Для того чтобы провода не раскачивались, они внизу укреплены в нижней коронирующей раме. К каждому проводу подвешен чугунный груз весом в 3—3,5 кг. Нижняя рама крепится к верхней четырьмя штангами из круглой стали в 12 мм. Крепление проводов показано на рис. 67.

Верхняя коронирующая рама жестко крепится к стальной газовой трубе диаметром 65 мм. Последняя укрепляется на траверсе из двух балочек, укрепленных на фарфоровых изоляторах типа А, установленных на крышке аппарата (рис. 67). Для уплотнения отверстия в крышке, через которое проходит труба подвеса, и для электрической изоляции этой трубы от заземленной крышки на стальную трубу надевается кварцевая труба, диаметром 140 мм и длиной 1350 мм. Закрепляется квар-

цевая труба между двумя тарелочками, прижимаемыми к ней пружинами. Пружинный подвес необходим как потому, что стальная труба удлиняется при нагреве, в то время как удлинение кварцевой трубы практически равно нулю, так и для того, чтобы удары встряхивания не передавались на хрупкую

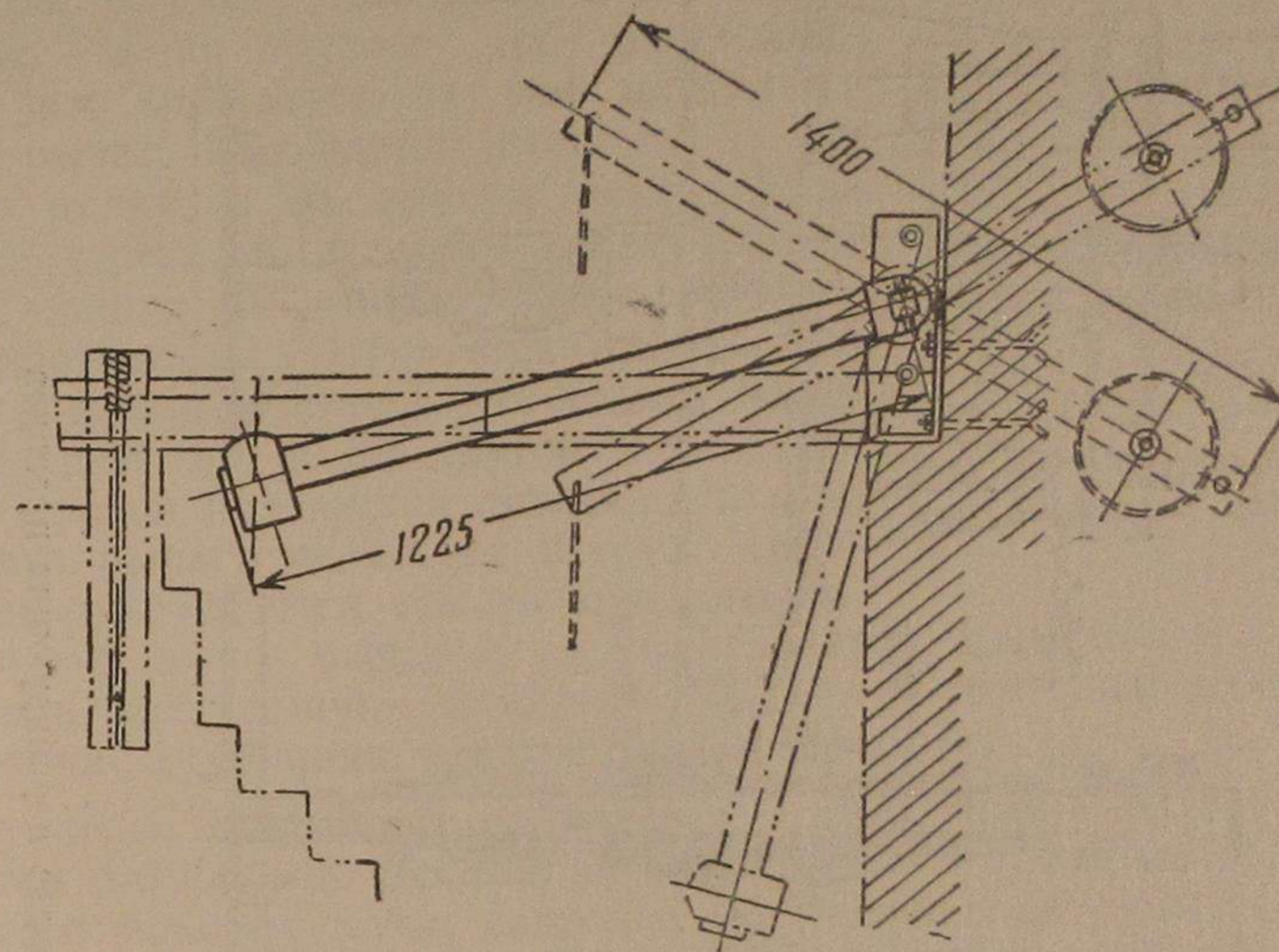


Рис. 66. Отряхивание осадительных электродов

кварцевую трубу. Для большей электрической прочности на кварцевую трубу надевается кварцевая же муфта, опирающаяся на стальную воронку, заваренную в отверстие крышки. Пространства между втулкой и воронкой, втулкой и кварцевой трубой и частично между кварцевой трубой и трубой подвеса забиваются асбестовым шнуром и засыпаются слоем чистого мелкого кварцевого песка. Установка кварцевых изоляторов вызвана тем, что фарфор при высокой температуре становится проводящим, кроме того, он будет лопаться при изменениях температуры.

Надо следить за плотностью всех проходов. При давлении газа в аппарате, большем атмосферного, он будет выбиваться через неплотности, пары кислоты будут конденсироваться на изоляторах и по ним произойдет утечка тока.

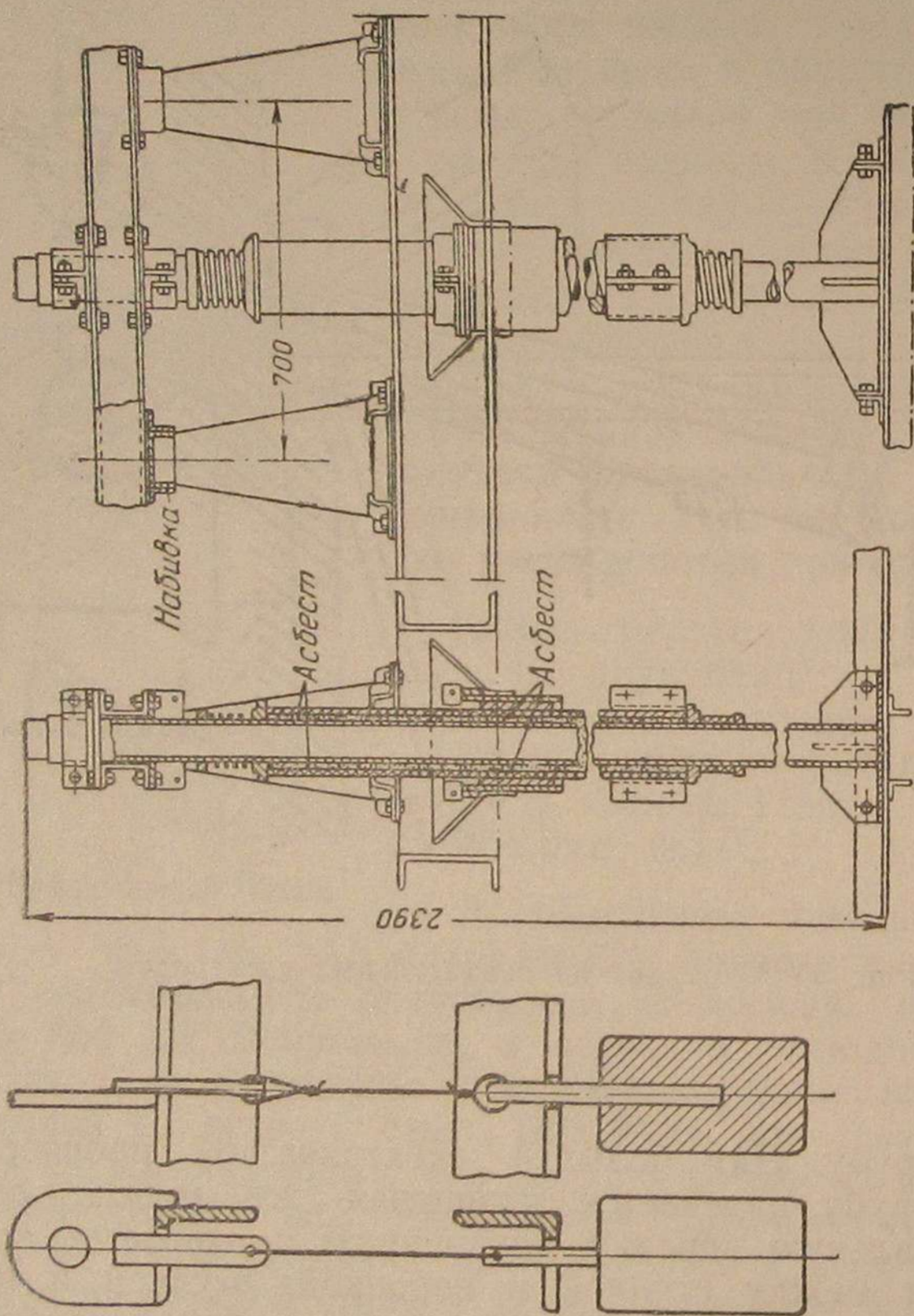


Рис. 67. Подвес коронирующих проводов

К верхней коронирующей раме гибко подвешена рамочка отряхивания, к которой подвязаны провода. По этой рамочке ударяет сбоку молоток (конечно, при выключенном токе), и пыль с проводов сваливается.

Коронирующие провода должны быть перед установкой хорошо выправлены и вытянуты, чтобы на них не было изгибов.

Для этого изготавливается приспособление, показанное на рис. 68. В доску толщиной в 50 мм на одном конце забит штырь, а на другом на расстоянии 3600 мм вращается на оси металлический рычаг. Последний имеет на одном конце вилку, а на другой рукоятку из сухого дерева. К штырю и рычагу проводятся концы от регулировочного автотрансформатора. Отрезается нихромовый провод нужной длины. На одном конце делается петля, а на другой надевается груз. Провод надевается петлей на штырь, а вилка рычага упирается в груз. Через провод пропускается ток до красного каления его; затем рычагом он вытягивается. Вытяжка не должна быть чрезмерной, чтобы не появились трещины. Доски во избежание обгорания следует обить асбестом.



Рис. 68. Приспособление для вытяжки проводов

Бункеры, в которых собирается отряхнутая пыль, снабжаются затворами. Доступ внутрь камеры осуществляется либо через боковые лазы, закрываемые чугунными люками, либо через отверстия в крышке. Валы, проходящие внутрь аппарата, вращаются в отверстиях в стальных или чугунных листах, закрепленных с двух сторон кирпичной стены. Пространство между листами уплотняется песочной засыпкой.

Подвод тока высокого напряжения к электрофильтру производится либо кабелем, либо голый шиной на изоляторах, защищенной кожухом из 2-мм железа диаметром 400 мм. Кабель или шина подводится к разъединительной коробке, в которой устанавливаются два разъединителя ТР-258 (подобно описанным ранее ТР-257, только с одним поворотным изолятором). От каждого разъединителя шинка в защитном кожухе ведет к траверсе соответствующей секции. При выключении разъединителем тока секция заземляется.

От полос подвеса ток, заземленный стальной шиной, возвращается обратно к выпрямителю. К этой же шине присоединяются все металлические части (каркас, люки и т. п.).

При отряхивании электродов следует сперва закрыть дроссель, затем выключить ток соответствующей секции, отряхнуть электроды, включить ток и пустить снова газ.

Ручки тяг молотков встряхивания коронирующих электродов должны находиться на запоре. В противном случае возможно случайное заземление коронирующей рамы, что может привести к поражению человека током, не говоря уже о том, что при этом выключится максимально нулевой автомат на щите.

Частота отряхивания зависит от запыленности газа, но оно должно производиться не реже раза в четыре часа.

Площадь поперечного сечения каждой секции $3,7 \text{ м}^2$, а всего аппарата $7,4 \text{ м}^2$. Активная длина (т. е. длина в пространстве между осадительными электродами) проводов в одной секции 192 м , а во всем аппарате 384 м . Потребляемый ток на 1 пог. м провода от $0,25$ до $0,5 \text{ ма}$ или на аппарат $100\text{--}200 \text{ ма}$.

Скорость газа в электрофильтре лежит в пределах $0,4\text{--}0,7 \text{ м/сек}$ в зависимости от пылесодержания газа, дисперсности пыли и предельно допустимого содержания пыли в очищенном газе. Если газы далее используются для производства серной кислоты, то содержание пыли в газе не должно превышать $0,2 \text{ г/м}^3$.

Аппараты ГК30-Г

Аппараты ГК30-Г (рис. 69) применяются при улавливании пыли из тех же газов, что и в аппаратах ХК45. Вследствие горизонтального хода газов и включения трех полей последовательно в нем легче достигнуть высокой степени очистки.

Выпадение пыли в трех последовательных по ходу газа бункерах электрических полей дает возможность получать в последнем бункере пыль, обогащенную трудно оседающей компонентой.

Аппарат пластинчатый, горизонтальный, трехпольный, двухсекционный.

Корпус аппарата выполнен из кирпичной кладки на цементе в два кирпича. Стенка между секциями в полтора кирпича. Каждая секция имеет отдельный вход и выход газа. Соответственно на двух подводящих и двух уводящих газопроводах устанавливается по дросселю.

Стены камеры затянуты в металлический каркас из швеллеров на круглых тягах, заложенных в кладку. Гайки на тягах сильно затягиваются после прогрева кладки. Кладка изготовляется из красного кирпича 1-го сорта на цементном растворе $1:4$. Внутренние швы расшиваются на $1\frac{1}{2}\text{--}2 \text{ см}$ и затираются шамотом на жидком стекле. Наружные швы расшиваются цементом.

При возведении кладки необходимо строго выдерживать внутренние габариты. Допуск не более $\pm 1,5 \text{ см}$. Отклонение внутренних стенок от вертикали не должно превышать $\pm 1,0 \text{ см}$.

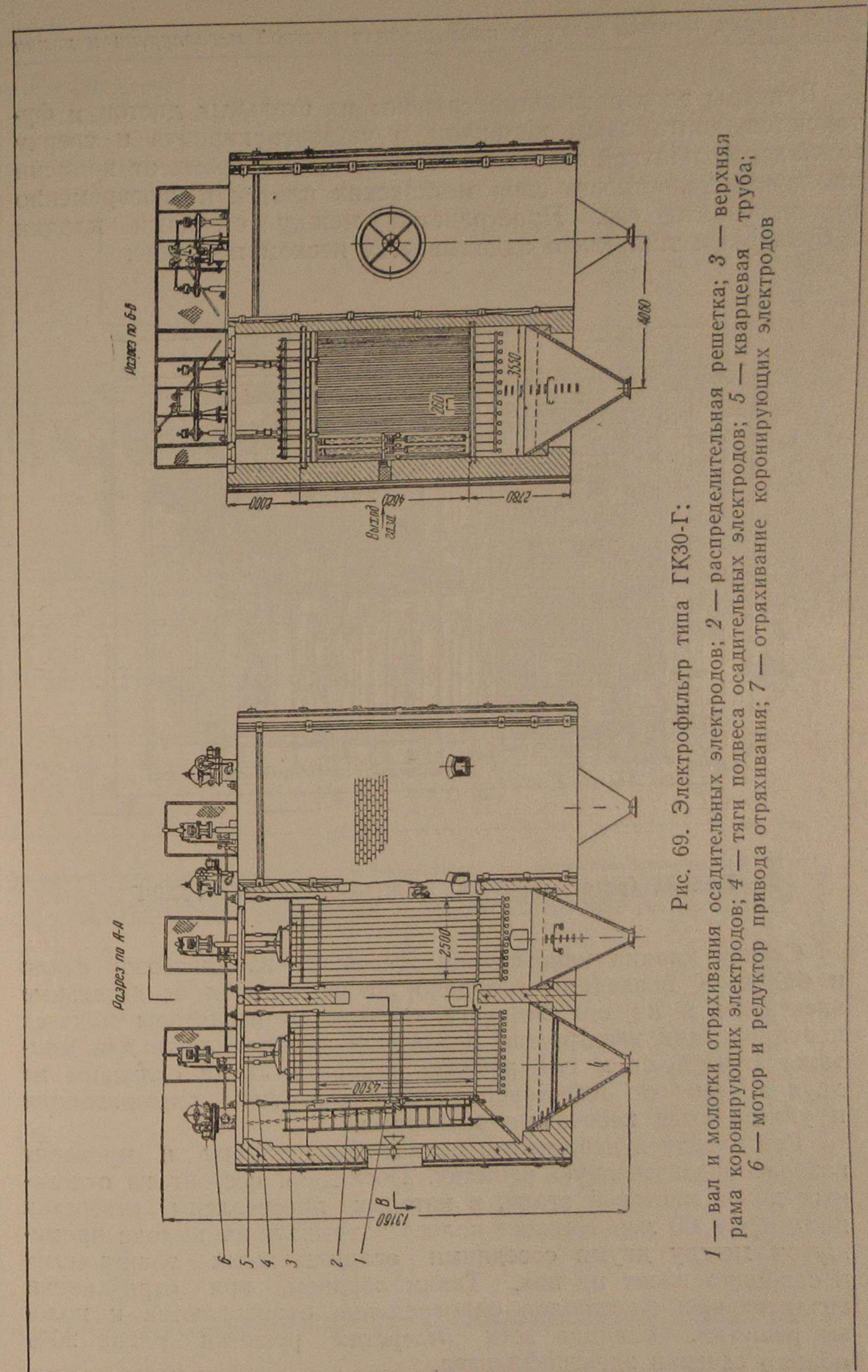


Рис. 69. Электрофильтр типа ГК30-Г:

- 1 — вал и молотки отряхивания осадительных электродов; 2 — распределительная решетка; 3 — верхняя рама коронирующих электродов; 4 — тяги подвеса осадительных электродов; 5 — кварцевая труба; 6 — мотор и редуктор привода отряхивания; 7 — отряхивание коронирующих электродов

Бункеры электрофильтра сварены из стальных листов и футеруются диатомовым кирпичом в четверть кирпича и сверху метлахской плиткой на цементе. Необходимо время от времени проверять целостность слоя метлахских плиток и своевременно ремонтировать его. Пространство между стенками кладки и бункерами тщательно заделывается песком на глине.

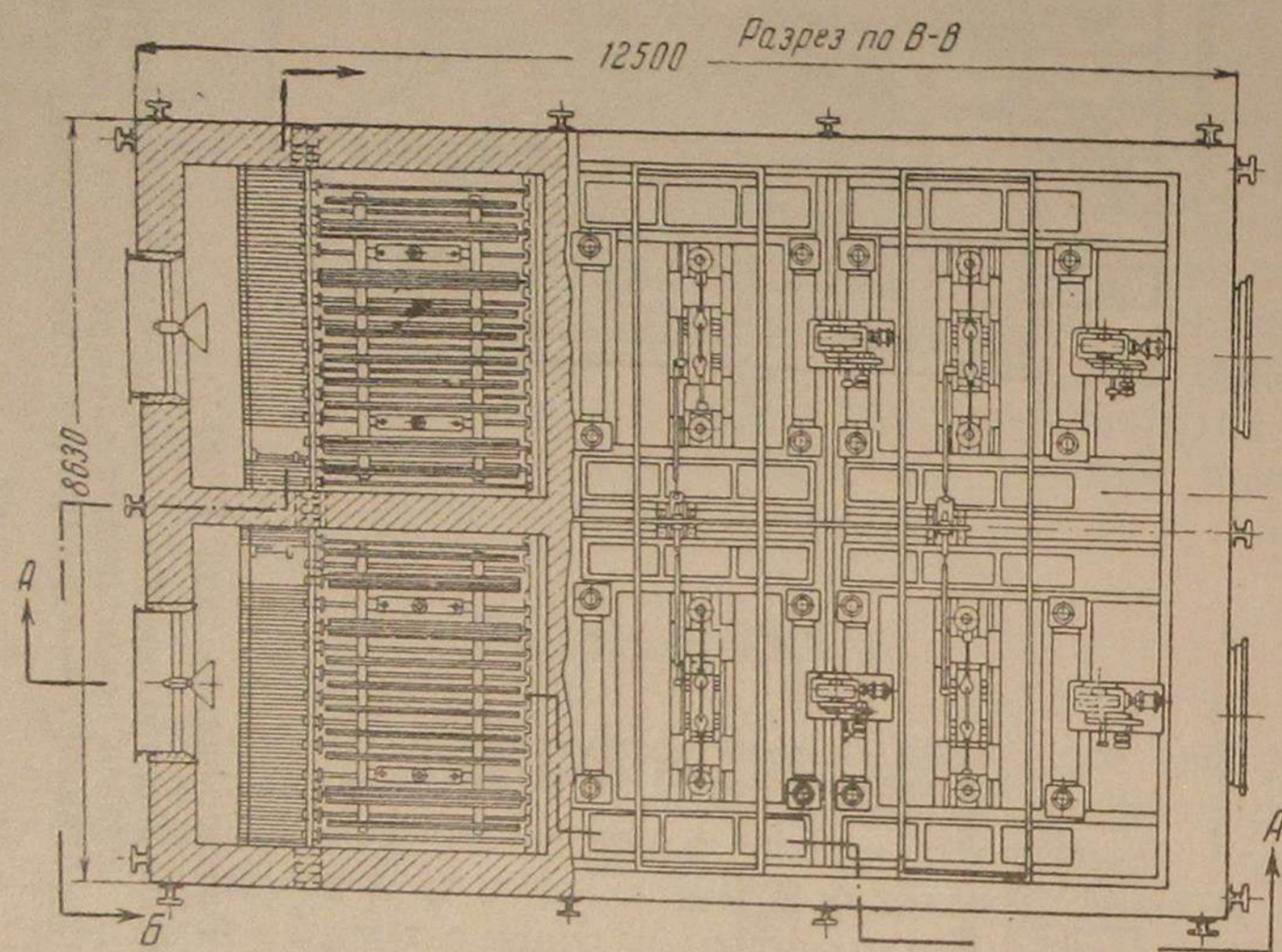


Рис. 69. (разрез по В—В) Электрофильтр типа ГҚ30-Г

Сверху кладка накрывается крышкой из листовой стали и балок. К последним свободно подвешиваются осадительные электроды и на них же устанавливаются изоляторы подвеса коронирующих электродов. В крышке имеются люки для монтажа электродов и для ревизии аппарата. Люки склепаны из двух листов с асбестовой прослойкой для теплоизоляции и уплотняются песочными затворами.

Газ входит в небольшую предпольную камеру и проходит газораспределительную решетку. Последняя состоит из отдельных полос листовой стали, в которых просверлены отверстия диаметром 60 мм. Каждая полоса закрывает на выходе промежуток между двумя соседними осадительными электродами и свободно висит на них. Таким образом, при отряхивании осадительных электродов одновременно отряхиваются и полосы решетки. Площадь всех отверстий решетки равна 20% общего сечения электрофильтра.

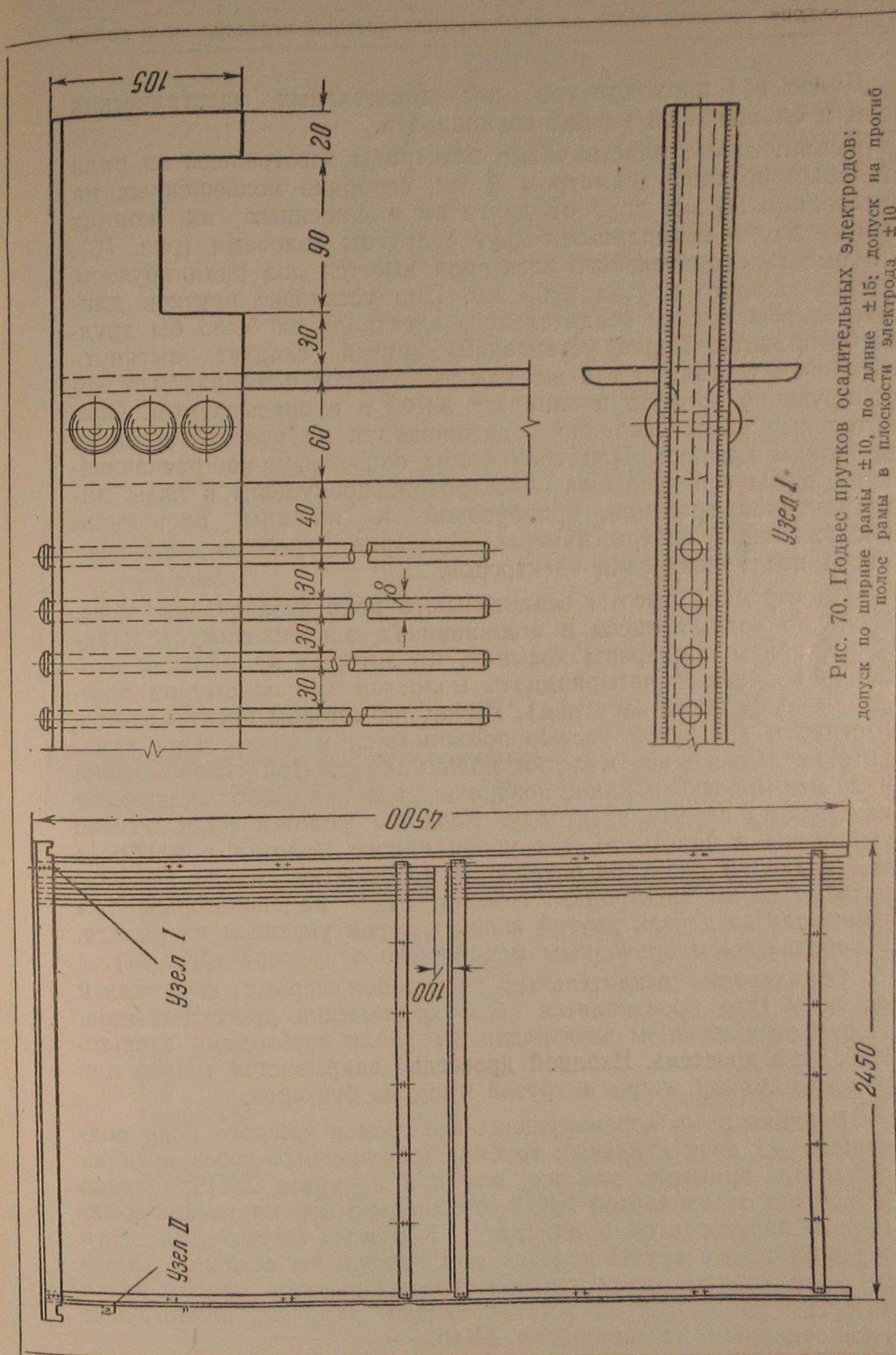


Рис. 70. Подвес прутков осадительных электродов: допуск по ширине рамы ± 10 , по длине ± 15 ; допуск на прогиб полос рамы в плоскости электрода ± 10

Далее газ проходит три последовательных электрических поля и очищенный уходит из аппарата.

Осадительные пластинчатые электроды изготовлены из ряда стальных прутков диаметром 8 мм, свободно подвешенных на расстоянии 30 мм друг от друга на высаженных их концах между двумя склепанными друг с другом полосами (рис. 70). По высоте осадительного электрода имеется два ряда прутков. Длина каждого прутка 2205 мм. При установке прутков длиной во всю высоту осадительного электрода их было бы трудно выправить. Перед установкой прутки следует вытянуть в горячем состоянии так же, как вытягивают и выправляют коронирующие провода в аппарате ХК45 и в описываемом. Осадительные рамы свободно подвешиваются на полосах и тягах к балкам крышки. Для того чтобы они внизу не раскачивались, рамы осадительных электродов пропущены в пазы дистанционной гребенки, приваренной к нижним площадкам обслуживания внутри камеры. Приварка гребенок производится после центровки электродов.

На середине высоты осадительного поля установлены валы, свободно вращающиеся в подшипниках, закрепленных в кладке. К валам приварены косынки, на которых на пальцах свободно подвешено четырнадцать молотков (по одному на каждый осадительный электрод). Рычаг, на котором висит молоток, изогнут и изогнутой частью прижимается к валу. При повороте последнего все молотки поднимаются. При освобождении вала все молотки падают, поворачивая вал, и свободно ударяют каждый по своему электроду. Если бы молотки были жестко соединены с валом, то при упоре одного молотка в наиболее выступающий электрод остальные молотки не смогли бы ударить по своим электродам. Поворот вала на некоторый угол производится цепью, другой конец которой укреплен на рычаге, поворачиваемом приводным механизмом от мотора (рис. 71).

Отряхивание осадительных электродов первых двух полей по ходу газа производится без отключения дросселем газа. Перед отряхиванием электродов 3-го поля необходимо закрыть выходной дроссель. Входной дроссель закрывается только при ремонте секции и при выгрузке пыли из бункеров.

Верхняя рама коронирующих электродов каждого поля подвешена на двух стальных трубах, пропущенных через крышки аппарата, примерно так же, как и в аппарате ХК45. Однако в отличие от аппаратов ХК45 отряхивание коронирующих электродов производится в аппарате ГК30 под током. Для этого через стальные трубы подвеса рам пропущены стальные штанги, упирающиеся внизу в плечи угловых рычагов, другие плечи которых упираются во встряхивающие рамочки, аналогичные установленным на аппаратах ХК45.

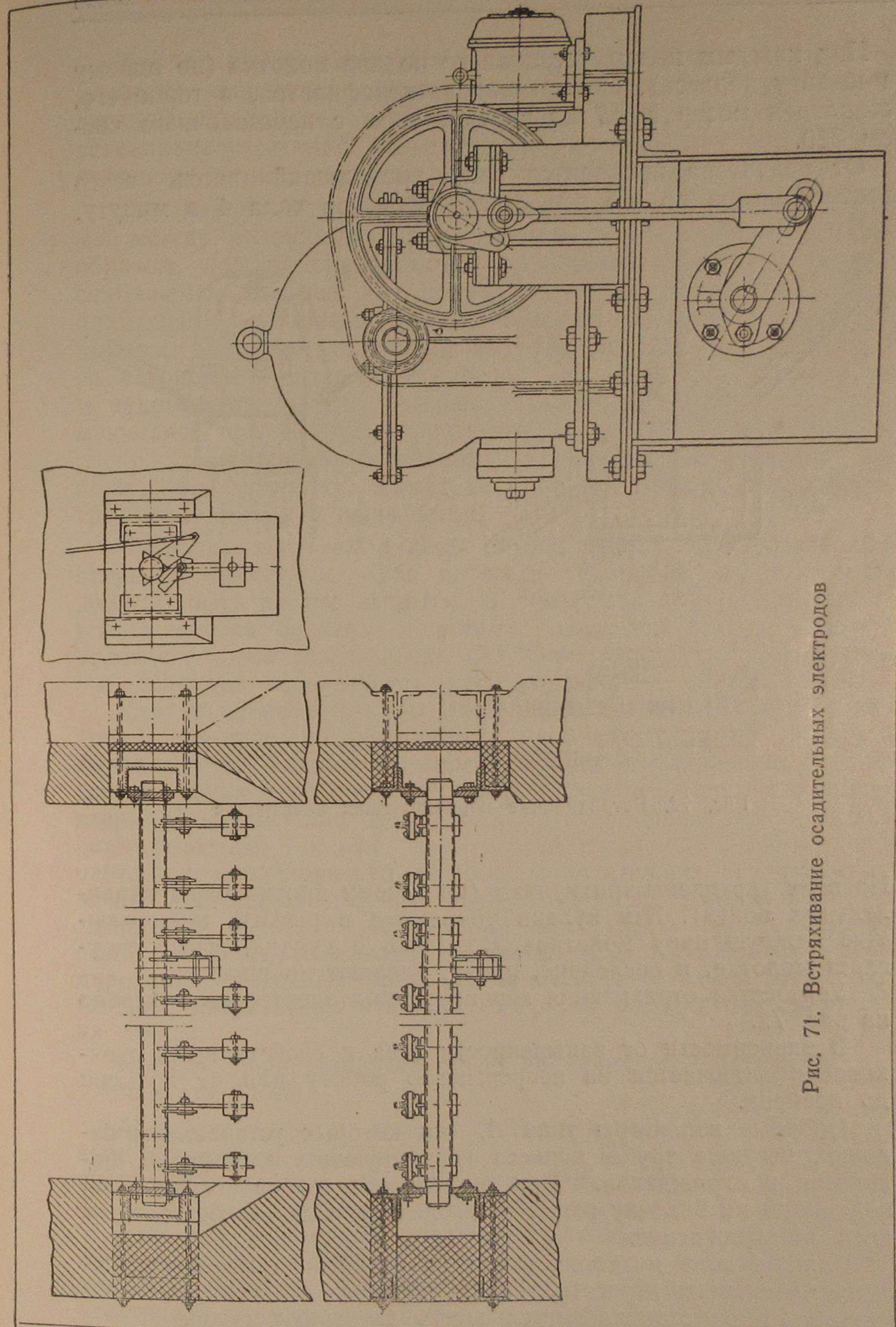


Рис. 71. Встряхивание осадительных электродов

Над каждым полем установлено по два молотка (по одному на штангу подвеса). На крышке электрофилтра, в торце его, установлен мотор в 0,7 кв с редуктором с пересадочным числом 240.

От редуктора приводится вал, проходящий вдоль всего электрофилтра по его оси. Число оборотов вала 4 в минуту.

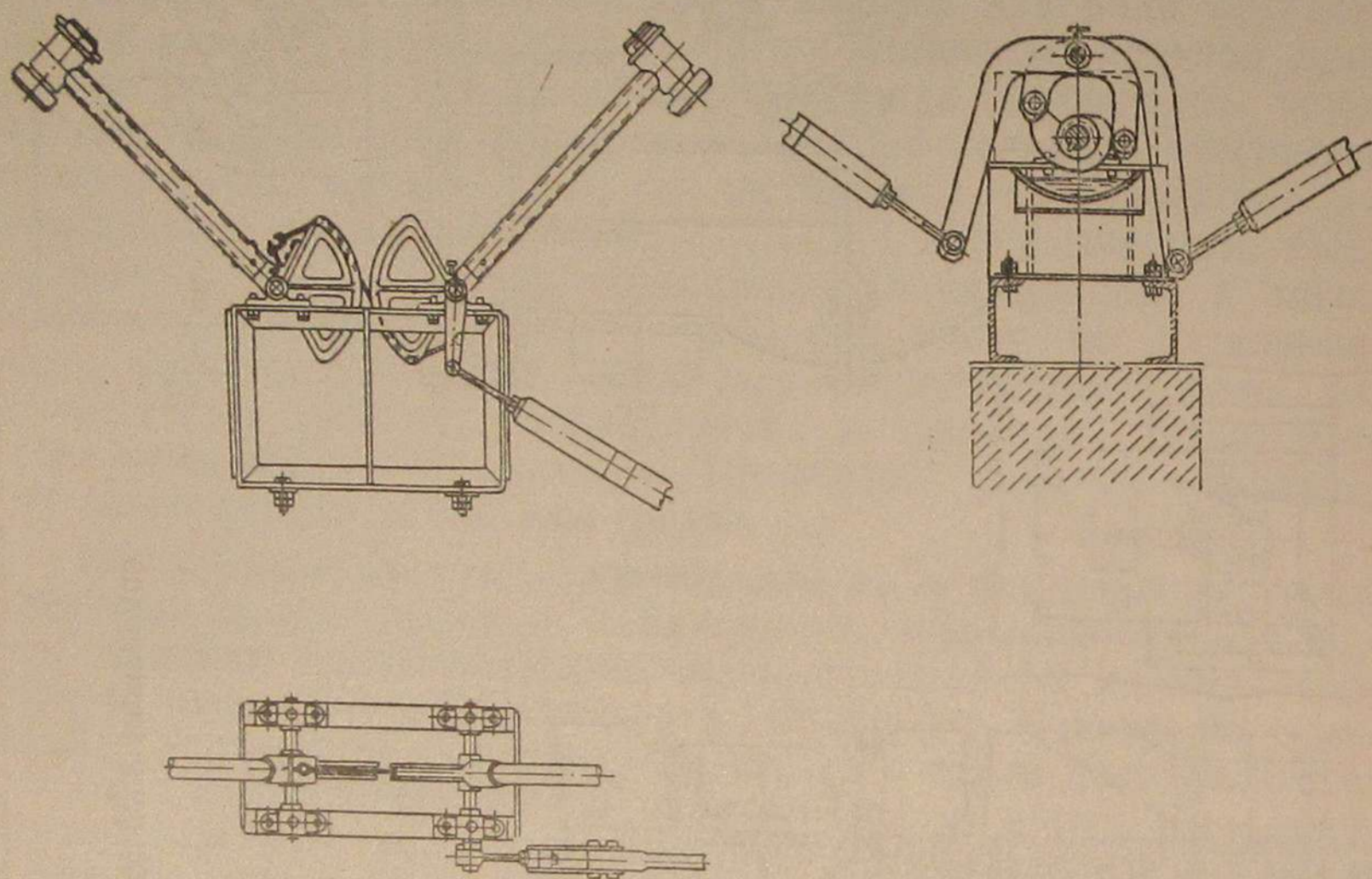


Рис. 72. Встряхивание коронирующих электродов

На валу укреплены три кулака (по одному против пары параллельных полей). Эти кулаки упираются в рычаги, поднимающие каждую пару молотков. Срываясь с кулака, рычаг отпускает молотки, и последние, падая, ударяют по штангам.

Устройство отряхивания коронирующих электродов показано на рис. 72.

В зависимости от запыленности газа и свойств пыли отряхивание включается на непрерывную работу или от времени до времени.

Опорные изоляторы типа А, на которых установлены балочки, несущие трубы подвеса коронирующих электродов, находятся в ограждении. При открывании двери ограждения падающий на балочку рычаг заземляет ее и делает безопасным вход за ограждение.

Каждое поле питается током от отдельного повысительно-выпрямительного агрегата. Таким образом, на один электрофилтр ГК30 устанавливается шесть электроагрегатов.

Ток от шести выпрямителей подводится шестью кабелями к шести концевым кабельным муфтам, установленным на верхней площадке электрофилтра. Над каждой муфтой устанавливается свой разъединитель, от которого ток подается к балкам подвеса каждого поля шинкой в защитной трубе.

Вся кладка опирается на железобетонные колонны. Проемы между колоннами заделываются в полкирпича. Таким образом, под электрофилтром образуется замкнутая камера, снабженная дверьми для подачи вагонеток. Бункеры закрыты шибберными затворами, приводы которых выведены за пределы камеры. При выгрузке пыли из бункера, под него задвигается вагонетка, закрывается дверь, и снаружи открывается и закрывается затвор бункера. Таким образом, пыль, вздымающаяся при выгрузке, остается под электрофилтром, не распространяется по остальному помещению, и рабочий, наполнивший вагонетку, может ее выкатить из-под электрофилтра, после того как пыль осела.

Выгрузку пыли ни в коем случае нельзя производить при открытых дросселях. Оба дросселя (входной и выходной) должны быть плотно закрыты. В противном случае при открывании затвора бункера в систему подсосется воздух, который увлечет с собой много пыли. Особенно недопустим такой подсос, если газ используется для производства серной кислоты.

Для облегчения замены лопнувших кварцевых труб к балочкам крышки подвешиваются съемные тяги, к которым подтягивается нижняя траверса подвеса коронирующих электродов. После укрепления траверсы труба легко снимается вверх. С кварцевыми трубами следует обращаться с особой осторожностью, так как они хрупки и дороги. Поэтому при центровке коронирующей системы относительно осадительных электродов нельзя двигать трубу подвеса, нажимая ее на кварцевую трубу, а регулировку производить передвижением рамы относительно нижней траверсы. Для возможности регулирования отдельных проводов крючки, к которым они подвешены, могут выдвигаться из отверстия рамы и закрепляться на гайках.

Обслуживание аппарата ГК30 не отличается от такого же у аппарата ХК45.

Активная площадь сечения электрофилтра по осадительным электродам $15,2 \times 2 = 30,4 \text{ м}^2$. Число коронирующих проводов в каждом поле 169, что при активной их длине (т. е. длине между осадительными электродами) в $4,5 \text{ м} = 760,5 \text{ пог. м}$ в одном поле. При максимальной силе тока электроагрегата в 200 ма сила тока на 1 пог. м провода равна примерно 0,25 ма. Общая активная длина коронирующих электродов во всем электрофилтре равна 4563 пог. м.

Скорость газа в электрофилт্রে лежит в пределах 0,4—0,8 м/сек в зависимости от запыленности газа и желаемой степени очистки, т. е. его пропускная способность равна 55 000—85 000 м³/час.

В аппаратах ГК можно достичь высокой степени улавливания. Содержание пыли в очищенном газе может быть доведено до 5—50 мг на нормальный кубический метр. Обычно при очистке газов обжиговых печей содержание пыли в газе, прошедшем аппарат ГК30, лежит в пределах 0,1—0,2 г/м³.

К этому же типу аппаратов относится аппарат типа ВГ16 пластинчатый вертикальный односекционный. Площадь сечения аппарата равна 16 м².

Установка таких больших аппаратов с вертикальным ходом газов нежелательна. Принципиально аппарат мало отличается от описанных.

При большой запыленности газов желательна установка перед электрофилтрами предварительных грубых пылеуловителей-циклонов. При их установке сопротивление системы возрастает и увеличивается разрежение в электрофилтрах.

Опыт показал, что при разрежении, равном 20 мм вод. ст., в электрофилтрах ХК и ГК наблюдается такой значительный подсос воздуха, что дальнейшее использование газов для производства серной кислоты делается затруднительным.

В этих случаях следует либо затягивать целиком весь аппарат по кладке в стальной кожух, либо переходить на другие конструкции — цельнометаллические.

Такие аппараты принципиально не отличаются от описанных. В них кладка заменяется стальной конструкцией из листа с ребрами жесткости на балках, футерованной изнутри кирпичом.

Несколько отличной конструкцией является аппарат типа СС6. Установленный для очистки обжиговых газов при относительно невысокой их температуре (не выше 250—325°), он дает довольно хорошие результаты.

При более высокой температуре газов он быстро выходит из строя вследствие коробления стенок.

Для предотвращения коррозии от конденсации паров на стенках аппарат покрывается тепловой изоляцией.

Аппарат СС6

Электрофилтр типа СС6 с вертикальным ходом газов (рис. 73) имеет две параллельные секции. Каждая секция имеет отдельные выводы тока высокого напряжения. Осадительные электроды представляют пакеты шестигранных труб.

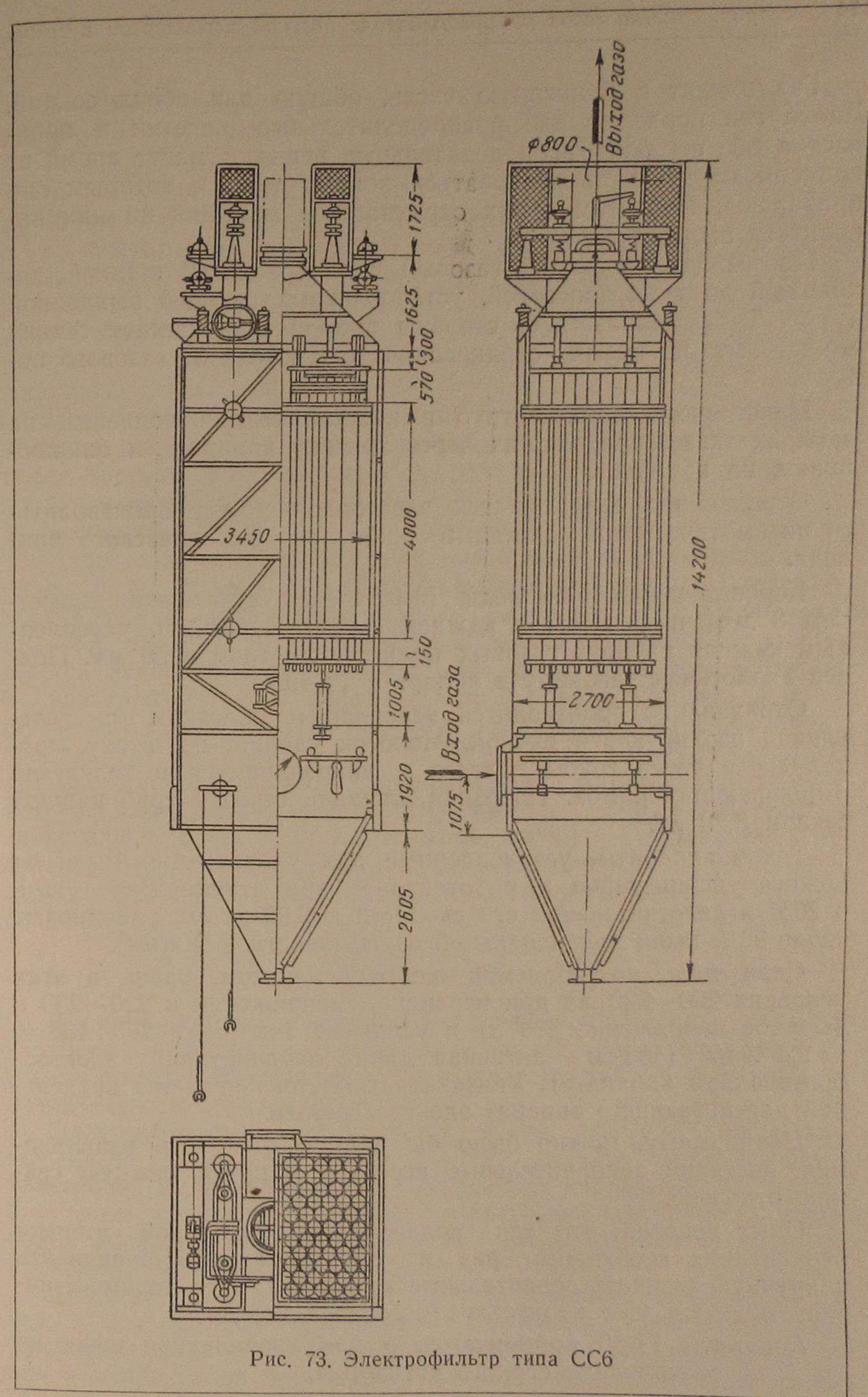


Рис. 73. Электрофилтр типа СС6

Газ входит в бункерную часть, общую для обеих секций. Далее газ проходит две распределительные решетки и попадает в обе секции. Распределительные решетки могут время от времени вручную поворачиваться вокруг осей, к которым они приварены. При этом с них отряхивается могущая на них накопиться пыль.

На выходе из секций газовый поток разделен стенкой, входящей до двух дросселей, установленных в общей выхлопной трубе. Таким образом, со стороны выхода газа каждая секция может быть на время отряхивания отключена от газового потока.

Пакет шестигранных труб в каждой секции подвешен на четырех тягах, проходящих через крышку аппарата и опирающихся на пружины.

Отряхивание осадительных электродов может производиться пневматическими молотками либо от механического привода.

Коронирующие электроды (фехралева проволока диаметром 3 мм) подвешены в каждой секции к рамкам, укрепленным каждая на двух газовых трубах диаметром в 50 мм. Подвес аналогичен таковому в аппарате ГК30.

Отряхивание производится перекидным молотком с деревянной изолирующей ручкой. Молоток ударяет по штоку, проходящему через трубы подвеса и упирающемуся в толкатели стряхивающих рамок. Полезная площадь сечения труб каждой секции 3,29 м².

Такие аппараты, установленные для улавливания пыли от обжига фанштейна и работающие при температуре газа в 265° и действительной его скорости в 0,55 м/сек, улавливают около 90% пыли при начальной запыленности в 9 г/м³.

Сила тока, потребляемая одним аппаратом, равна в этих условиях 200—220 ма при первичном напряжении в 220—230 в (сетевое напряжение 380 в) и удельный ток равен $200 : 488 = 0,4$ ма/м (488 м — активная длина коронирующих электродов в одном аппарате). Указанная сила тока является предельной для питающего аппарат электроагрегата.

Повидимому, можно было бы увеличить степень улавливания, поставив дополнительные агрегаты и питая каждую секцию отдельно.

Опыт показал, что для поддержания указанной степени отряхивания необходимо раз в месяц аппарат останавливать и вручную очищать осадительные электроды, хотя толщина нарастающего и уже неотряхиваемого слоя невелика.

Аппараты ГК30 применяются и для улавливания пыли из газов, не содержащих серного ангидрида.

В этом случае газы должны быть увлажнены, пройдя подготовку в уже описанных увлажнительных башнях.

Такой случай имеет место, в частности, при улавливании пыли из газов, отсасываемых от спекательных машин. Температура этих газов лежит в пределах 130—150°, и испарить в газ достаточное количество воды для повышения его влажности можно только в том случае, если на пути к увлажнительной башне газ не потеряет слишком много тепла. Для этого необходимо устанавливать увлажнительные башни и электрофильтры возможно ближе к спекательным машинам.

При недостаточном уплотнении агломерационных машин подсосы становятся столь значительными, что температура газа после эксгаустера снижается до 100° и ниже. При такой температуре не удается увлажнить газ, и очистка становится мало эффективной.

Надо заметить, что при этом увеличивается доля неиспарившейся воды, брызги ее заносятся в электрофильтр, и металлические части последнего быстро корродируют. Усугубляется это тем, что при низкой начальной температуре газа уменьшается интервал между точкой росы газа и его температурой в электрофильтре, а следовательно, увеличивается возможность конденсации паров воды и осаждение тумана на электродах.

При подготовке газов отражательных печей, температура которых значительно выше, увлажнение газа производится значительно легче. Однако во всех случаях необходимо следить за тем, чтобы в аппараты не подсасывался холодный воздух, который может вызвать местную конденсацию.

Аппараты ХР

Кондиционирование всего объема газа — операция довольно сложная и неприятная. В некоторых случаях ее можно заменить естественным увлажнением слоя пыли, осевшей на поверхности осадительного электрода.

Электрофильтр конструируется таким образом, чтобы запыленный газ омывал только одну сторону осадительного электрода, а другая сторона омывалась наружным воздухом. При этом температура стенки электрода понижается, пары воды, абсорбированные пылью из газов, конденсируются, и проводимость пыли увеличивается.

Понятно, что возможности регулирования этого процесса нет, и его протекание зависит от наружной температуры воздуха и влажности газов. Поэтому при большой влажности газов и конденсации чрезмерно больших количеств воды аппарата

раты сильно корродируют. В таких случаях эти аппараты необходимо устанавливать в закрытых помещениях.

Основным аппаратом этого типа является аппарат типа ХР2. Это наиболее эффективный электрофильтр, однако наиболее дорогой, громоздкий и подверженный быстрой коррозии при влажных газах. Поэтому он применяется сравнительно редко (рис. 74).

Аппарат ХР2 трубчатый вертикальный двухполюсный и двухсекционный. В каждом поле каждой секции установлены 24 трубы диаметром 300 мм и длиной в 3200 мм, сваренные из листовой стали толщиной 3 мм. Верхний конец труб разбортован и приваривается к верхней трубной решетке. Нижний конец прибалчивается на асбестовой прокладке к нижней трубной решетке.

На верхней трубной решетке приварены коробки диффузоров. На нижней — бункеры. Газ входит сверху через два газохода, снабженных дроссельными затворами, в две параллельные секции, проходит сверху вниз трубы первого поля, попадает в бункер, проходит вверх трубы второго поля и выходит через два диффузора. Диффузоры и бункеры крепятся к стальному каркасу.

Верхние коронирующие рамы, изготовленные из углового и полосового железа, подвешены стальной трубой диаметром 34 мм через траверсу из балок к двум опорным изоляторам. Труба изолируется от заземленного корпуса кварцевым проходным изолятором, устроенным так же, как в аппарате ХК45. Нижний конец стальной трубы подвеса заглушен, и в трубу опущен стальной стержень-ударник, верхний конец которого выступает из трубы и утолщен. Под это утолщение подходит кулак, сидящий на вращающемся валу. Кулак поднимает и сбрасывает ударник. При этом встряхивается коронирующая рама и отряхиваются провода. Вал вращается в подшипниках, укрепленных на траверсе, стоящей на изоляторах. Валы двух соседних полей соединены между собой пертинаксовой трубой или деревянной изолирующей скалкой. Через эту изолирующую вставку валы приводятся во вращение цепной передачей от редуктора.

Коронирующие провода обычно отряхиваются непрерывно.

Опорные изоляторы подвеса труб установлены в стальных коробках внутри диффузоров. Чтобы предотвратить чрезмерный нагрев изоляторов, стенки коробок изолируются изнутри тепловой изоляцией.

Для отряхивания осадительных труб по середине их длины установлены валы с надетыми на них молотками. При повороте вала молотки ударяют по каждой трубе в двух местах.

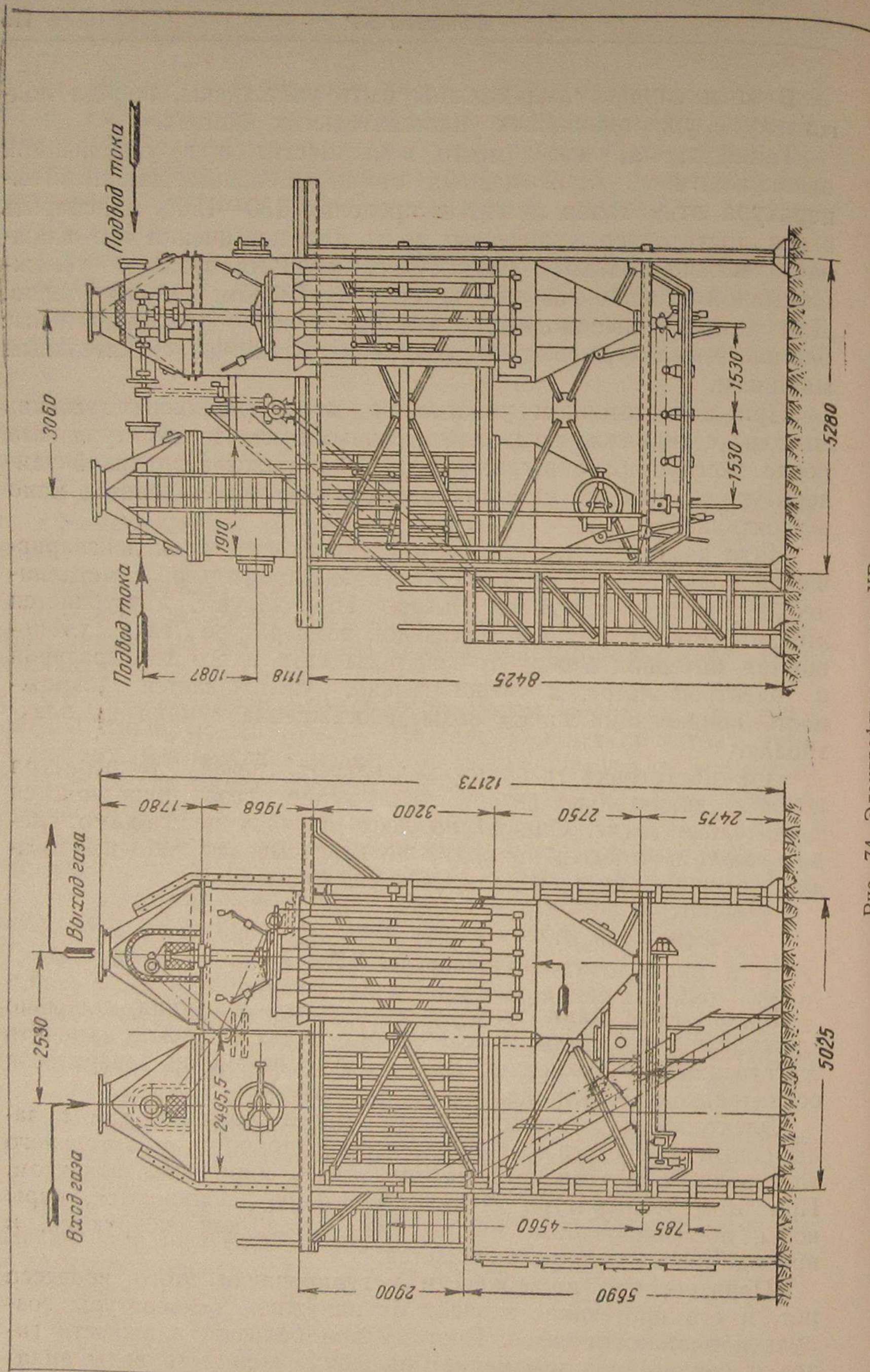


Рис. 74. Электрофильтр типа ХР

В местах удара на трубы навариваются стальные кольца-подкладки. Привод встряхивания ручной. При отряхивании какой-либо секции следует закрывать выходной дроссель данной секции.

Выпуск пыли из бункеров может производиться либо непрерывно шнеками и включенным после них шлюзовым затвором, либо периодически шиберными затворами. В последнем случае при выгрузке необходимо закрывать входной и выходной диффузоры.

Площадь сечения труб в двух секциях $3,36 \text{ м}^2$. Общее количество труб в аппарате 96. Длина (активная) коронирующих электродов 307 м. Скорость в аппарате $0,6\text{--}1,0 \text{ м/сек}$.

Электрофилтры для улавливания туманов и брызг

При производстве серной кислоты из газов, содержащих сернистый ангидрид, газы очищаются от пыли в сухих электрофилтрах, затем охлаждаются в свинцовых башнях, орошаемых серной кислотой. Уходящие из этих башен газы содержат туман и брызги серной кислоты и остатки весьма дисперсной пыли (в основном мышьяк и селен). Попадание тумана и пыли в контактные аппараты сернокислого производства совершенно недопустимо, и потому газы проходят мокрые электрофилтры, где пыль и туман улавливаются нацело. Для полноты улавливания устанавливаются последовательно два, а иногда и три электрофилтра.

Между первым и вторым электрофилтрами устанавливается увлажнительная башня, орошаемая в замкнутом цикле водой, вернее слабой серной кислотой, охлаждаемой в холодильнике. Газ, проходящий увлажнительную башню, охлаждается, и при этом из него конденсируется часть паров воды. Конденсация происходит на мельчайших пылинках, прошедших неуловленными первым электрофилтром и получивших в нем заряды (как известно, упругость паров воды падает на поверхности заряженных частиц).

Таким образом, пылинки, ставшие ядрами конденсации, обволакиваются слоем воды и, укрупнившись, легко улавливаются во втором электрофилтре.

Поскольку улавливается в основном жидкость, конечно, нет надобности в отряхивании электродов. От времени до времени все же необходимо промывать электроды теплой водой из брандспойта, чтобы смыть осевшие селен и мышьяк.

Весь аппарат изготавливается из свинца на стальном каркасе. Аппараты могут быть как пластинчатыми, так и трубчатыми

В последнем случае они изготавливаются из шестиугольных труб. Основной трудностью в конструировании этих аппаратов является подвес коронирующих электродов.

На рис. 75 изображен аппарат М126, вертикальный односекционный с шестиугольными трубами. Всего труб 126. Площадь сечения труб $6,8 \text{ м}^2$. Аппарат свинцовый на железном каркасе. Газ входит снизу, проходит распределительную свинцовую решетку с насыпанным на ней слоем кварца, служащим также для лучшего распределения газа (при наличии пыли в газе лучше кварц не насыпать, так как он легко забивается и его трудно промыть). Затем газ проходит шестиугольные трубы, верхнюю распределительную решетку и уходит в выхлопной газод. Коронирующие электроды представляют стальной освинцованный провод с наружным диаметром 6 мм. Иногда провод изготавливается звездчатого типа, для улучшения коронирования (по рис. 57). Провода подвешиваются к верхней коронирующей раме, изготовленной из стальных

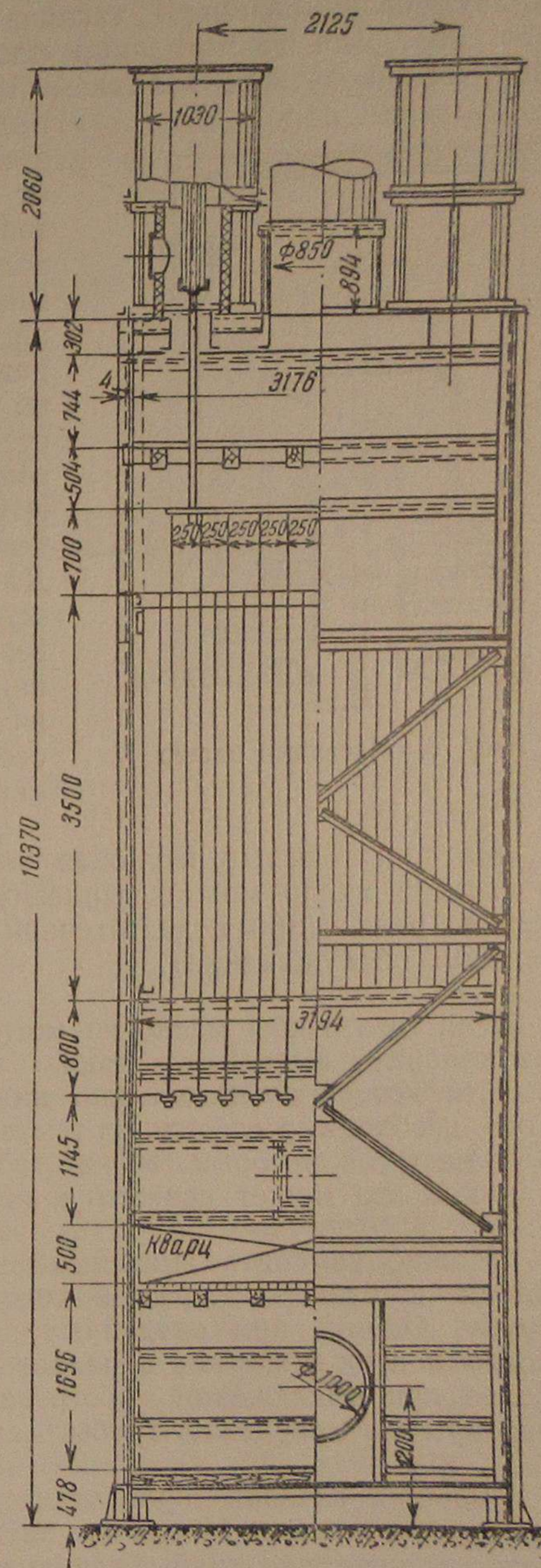


Рис. 75. Электрофилтр типа М126

уголков и полос, тщательно оцинкованных. Рама подвешена на двух оцинкованных тягах к гирляндовым изоляторам (рис. 76). Для герметизации прохода тяги установлен гидравлический затвор, заливаемый трансформаторным маслом. Брызги кислоты, попадающие в затвор, оседают на дно и время от времени спускаются снизу затвора по трубочке. Свинцовый колокол затвора имеет карман. Внизу у сгиба кармана в свинце имеются отверстия. Таким образом, вода и кислота, попавшие на внутренние стенки колокола, стекают по ним прямо под уровень масла, не расплываясь по его поверхности. Затвор снабжается масломерным стеклом. Для протирки изоляторов в кожухе имеется люк. На тяге подвеса внутри трубы затвора припаиваются свинцовые диски. Края их коронируют, и капли кислоты оседают на стенках трубы, не попав в затвор.

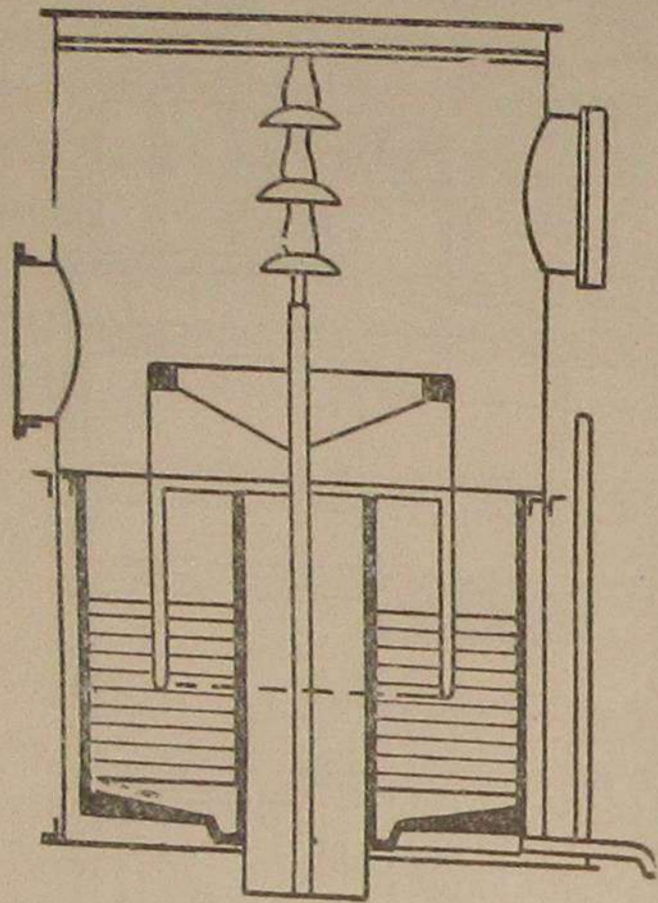


Рис. 76. Масляный затвор

Масляный затвор неудобен тем, что при толчках давления в системе масло может выплеснуться. Правда, это случается крайне редко (при недостаточной высоте затвора и невнимательном обслуживании).

Для того чтобы масло не могло выплеснуться, сток кислоты из аппарата выполняют также через гидравлический затвор, высота которого значительно ниже масляного затвора. Кроме того, необходимо следить за тем, чтобы масло не попадало в такие места, в которых может образоваться искровой разряд, так как это может повести к возгоранию масла.

Можно заменить масляный затвор сухим кварцевым проходом с электрообогревом кожуха, окружающего кварцевую трубу. Однако при случайных выключениях электрофильтра, когда в верх аппарата попадает много тумана кислоты, а тем более при выключении обогрева, это ведет к немедленному перекрытию кварцевой трубы и изоляторов.

Заливка затвора производится, понятно, сырым трансформаторным маслом. Масляные затворы заключены в железные кожухи, имеющие трубы для аварийного спуска масла.

На нижние концы коронирующих проводов надеваются грузы из гартблея. Провод пропускается через центральное отверстие груза (рис. 77) и закручивается на брусок из гартблея. Зазор между грузом и проводом рекомендуется запаять или зачеканить свинцом, чтобы туда не попадала и не застывала кислота. В грузе имеются еще четыре периферийных

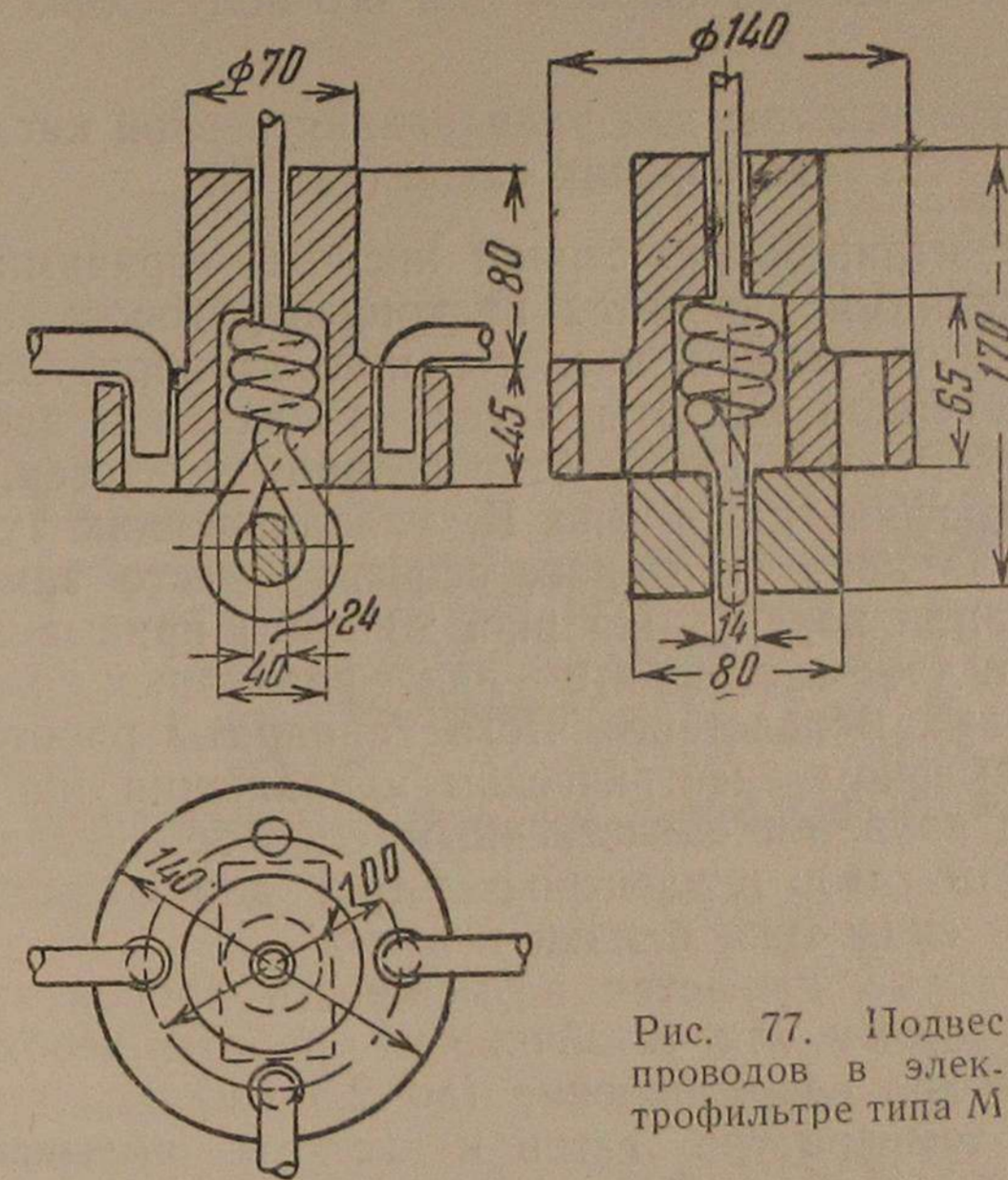


Рис. 77. Подвес проводов в электрофильтре типа М

отверстия. В них закладываются оцинкованные железные 6-мм прутки, у которых загнуты концы. Прутки сгибаются по месту и дают возможность точно отцентровать провода, не мешая вместе с тем удлинению каждого провода.

Шестигранные свинцовые трубы весьма сложны в изготовлении и требуют особо внимательного монтажа. Они припаиваются к стальной оцинкованной раме, имеющей ячеистую форму. Рама должна быть изготовлена очень точно и хорошо опаяна. Свинец изгибается по оправке жолобом с тремя стенками и подпаивается к раме.

В этих аппаратах скорость газов может быть равной 0,6—1,0 м/сек. В пластинчатых же свинцовых аппаратах она лежит в пределах 0,40—0,6. Таким образом, экономится свинец, но усложняется конструкция. При наличии пыли в газе лучше ставить пластинчатые аппараты, так как их легче промывать.

Обычно перед этими электрофильтрами устанавливаются башни, орошаемые кислотой или водой для охлаждения газа. Можно оба аппарата объединить в один, чем экономится свинец и уменьшается сопротивление системы.

Эти башни орошаются кислотой, охлаждаемой в холодильниках и возвращаемой обратно на орошение башни. Шлам, оседающий из этой кислоты, и шлам из электрофильтров богат селеном и является сырьем для его получения.

Электрофильтры для улавливания серной кислоты из горячих газов (тип К)

При концентрировании серной кислоты горячими дымовыми газами последними уносятся из концентраторов большое количество тумана серной кислоты при температуре 120—150°. Содержание серной кислоты в газе на входе в электрофильтр доходит до 100 г/м³. Туман этот весьма дисперсен, вследствие чего в электрофильтрах типа К, улавливающих туман серной кислоты после концентраторов, особенно часто замечается явление закипания короны. На рис. 28 даны кривые зависимости силы тока в таком аппарате для различных концентраций кислоты в газе. Вследствие этого аппараты работают обычно при более высоком электрическом напряжении на электродах, так как это является единственным способом (если не уменьшать скорость газов в электрофильтре) для сокращения зоны, где значения силы тока близки к нулю.

При этом увеличивается возможность пробоя между электродами, и потому для устойчивости работы необходимо увеличить буферное сопротивление (до 2,5 ом).

Высокая температура газов и кислоты вызывает быструю коррозию свинца. Поэтому камера аппарата типа К выкладывается из кислотоупорного андезита или бештаунита. Осадительные графитно-угольные трубы имеют наверху кольцевую заточку. В эту заточку закладываются две половинки угольной плитки. Плитки опираются на своды, выложенные вверху камеры. Пяты сводов опираются на массивные опорные балки, стянутые между собой болтами.

Таким образом, трубы оказываются подвешенными на сводах. Труба длиной в 3600 мм с внутренним диаметром в 250 мм и наружным в 330 мм свинчена из двух частей.

Опыт показал, что эти трубы, вполне устойчивые до температуры 140—150°, быстро выходят из строя при повышении температуры и обрываются (особенно часто в стыке). Поэтому в последнее время в отличие от американской практики их стали заменять трубами, литыми из кремнистого чугуна (15% Si) — термосилида. Последние оказались и более устойчивыми и более дешевыми.

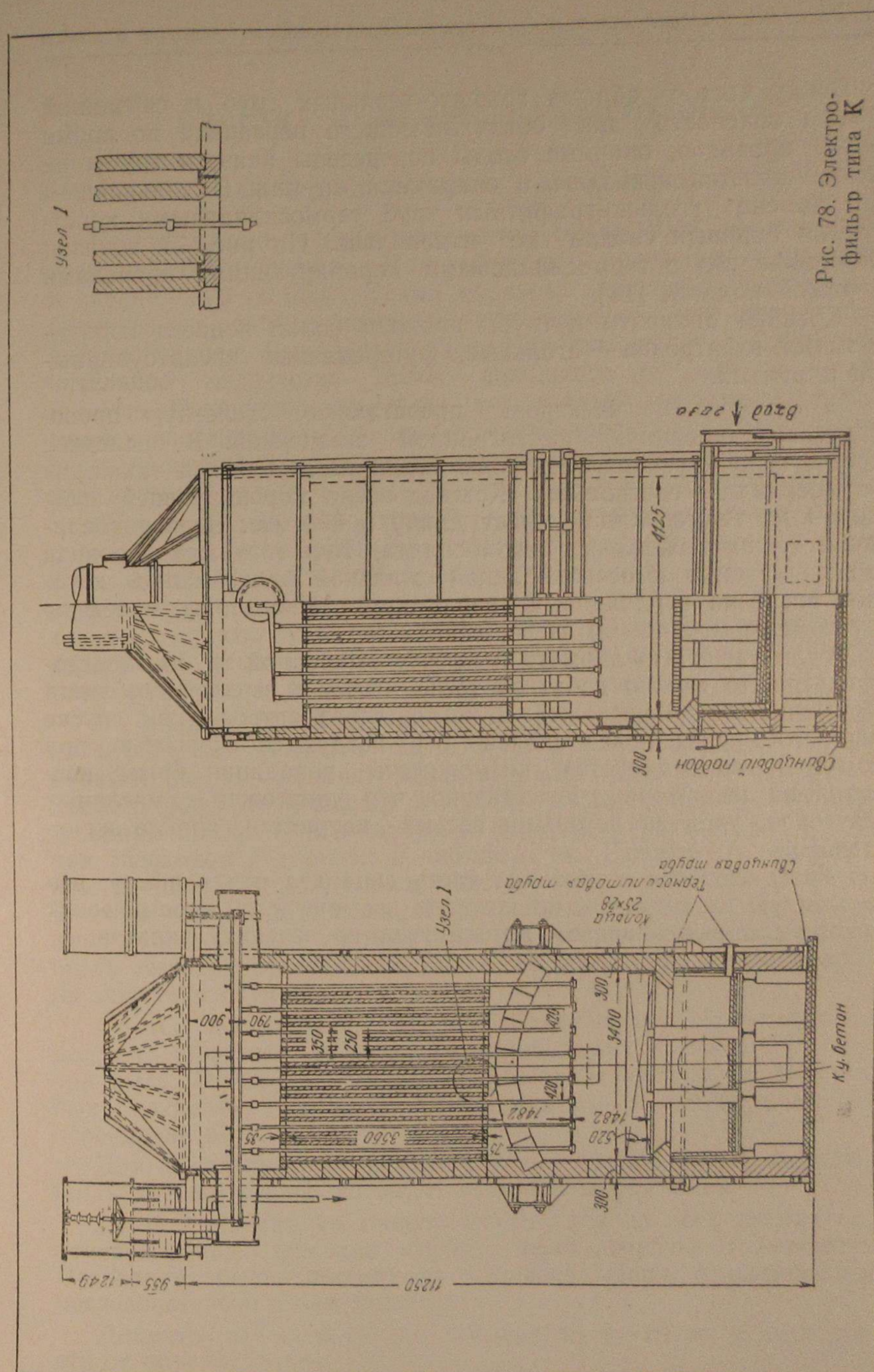


Рис. 78. Электрофильтр типа К

Ввиду частого обрыва графито-угольных труб и связанной с этим опасности для обслуживающего персонала во время смены проводов, опорные своды перенесены вниз, и трубы не подвешиваются к сводам, а опираются на них. В дальнейшем при замене угольно-графитных труб термосилидовыми конструкция опорных сводов не изменилась. На рис. 78 показан электрофильтр с термосилидовыми коронирующими проводами и рамой подвеса [18].

Крышка аппарата и трубы прохода балки подвеса коронирующих электродов — стальные, футерованные кислотоупорными плитками.

Коронирующие электроды представляют железную проволоку, освинцованную шестигранной звездочкой. В последнее время коронирующие электроды стали изготавливаться также из термосилида — составными. Каждое звено коронирующей звездочки из термосилида имеет длину в 600 мм. Звенья соединяются хомутиками из термосилида. Коронирующие провода подвешиваются к освинцованной стальной балке, концы которой висят на гирляндовых изоляторах. Изоляторы отделены от камеры масляными затворами.

Если увеличить диаметр и высоту выхлопной трубы электрофильтра, то можно добиться того, чтобы в верхней его части создалось такое разрежение, когда через затвор (при спуске из него масла) подсасывался бы воздух со скоростью, при которой ликвидируется возможность попадания брызг кислоты на изоляторы. Естественно, что уничтожение масляных затворов, уход за которыми весьма неприятен, крайне желателен.

Газы вводятся в нижнюю часть аппарата под решетку, выложенную из андезита, на которую засыпан слой керамических колец для выравнивания потока газа по сечению фильтра.

ОЧИСТКА ДОМЕННОГО ГАЗА ОТ ПЫЛИ

Общие положения и схемы очистки

При выплавке чугуна выделяется около 4000 м³ доменного газа на тонну чугуна. Калорийность доменного газа равна в среднем 900 кал/м³. Таким образом, энергия доменного газа является основной в покрытии потребности в ней металлургического завода. Выходящий из домны газ уносит с собой значительное количество пыли, достигающее до 10% от шихты и выше. Основная часть пыли представляет механический унос мелких частиц шихты. Меньшая часть представляет тонко дисперсные трудно улавливаемые окислы металлов, главным образом кремния.

Сжигание доменного газа производится в основном в кауперах, коксовых печах, топках котлов, мартеновских и нагревательных печах. Во избежание забивания насадки кауперов, рекуператоров печей, горелок и т. д. необходимо весьма тщательно очищать газ от пыли. Установленное предельное содержание пыли в чистом газе в 0,02 г/м³ до сих пор не оспаривалось, хотя и не было достаточно обосновано.

По данным Н. Е. Кунакова [16], доменный газ, идущий на отопление котлов в смеси с угольной пылью, достаточно очищать до содержания пыли в 1 г/м³. Однако очистка газа должна быть произведена в сухих пылеуловителях, так как влажная пыль, содержащаяся в газе, будет налипать на стенках газоходов и горелок и забивать их. Поэтому Н. Е. Кунаков предлагает производить очистку той части газов, которая идет на отопление котлов в батарейных циклонах. К сожалению, существующие стандартные батарейные циклоны не дают столь высокой степени очистки в большинстве встречающихся на практике случаев.

По тем же данным, газ, потребляемый коксовыми печами, должен содержать не выше 10 мг/м³ пыли. В противном случае пыль, отлагаясь на насадках регенераторов и на перекидных клапанах, вызывает необходимость в преждевременной перекладке печи.

Для остальных потребителей газа установленная запыленность чистого газа в 20 мг/м³ является приемлемой.

До поступления на тонкую очистку газ во всех схемах пылеулавливания проходит сперва через грубую газоочистку. Последняя обычно состоит из пылевого мешка и включенных последовательно с ним циклонов.

Диаметр пылевого мешка доходит до 9—10 м, в зависимости от объема домны.

Ранее устанавливались циклоны с диаметром до 5 м. В последнее время, в связи с желанием облегчить работу тонкой очистки, применяют большое число малых циклонов с диаметром 1,5—1,7 м. Повидимому, наиболее целесообразным является установка после мешка батарейных или мокрых циклонов.

Тонкая очистка газов может производиться по одной из следующих схем.

1. Газы охлаждаются в скруббере до 20—30°, и там же из них вымывается основное количество пыли. Остаточное содержание пыли в газе после скруббера лежит в пределах 0,5—1,5 г/м³ и зависит от конструкции скруббера, количества подаваемой воды и характера работы домы. Далее газы проходят мокрый дезинтегратор, где производится окончательная очистка газов от пыли и обычно несколько повышается давление газа. Содержание пыли в чистом газе лежит в пределах 15—50 мг/м³, доходя иногда до сотен мг/м³.

Степень очистки зависит от конструкции дезинтегратора, количества подаваемой в него воды и газа, запыленности газа на входе и дисперсности пыли, а также от числа оборотов дезинтегратора.

После дезинтегратора газ проходит брызгоуловитель.

На одном из заводов при запыленности газа на входе в дезинтегратор в среднем 0,45 г/м³ содержание пыли на выходе колебалось в пределах 15—50 мг/м³ при расходе воды 0,6—0,2 л/м³ газа. Расход энергии на вращение дезинтегратора лежит в пределах 3—6 квт-ч на 1000 м³ газа и сильно зависит от количества подаваемой в него воды. Расход энергии на подачу воды на скруббер зависит от количества подаваемой воды, которое лежит в пределах 3—5 м³ на 1000 м³ газа.

Вода со скруббера стекает в отстойник. Отстоявшаяся вода охлаждается в градирне или брызгальном бассейне и возвращается на очистку. Осевший шлам либо откачивается в отвал, либо фильтруется. Фильтрат возвращается в оборот, а кек транспортируется в отвал.

2. Газы охлаждаются в скруббере до 50°, затем проходят подогреватель, где испаряются унесенные из скруббера брызги, и попадают при температуре 50—60° в рукавные фильтры, где и происходит тонкая очистка газов. Затем в большинстве случаев газы проходят скрубберы, где охлаждаются до 25° для конденсации паров воды, содержащихся в газах.

Расход энергии на очистку газов (на преодоление сопротивления ткани и приводы механизмов отряхивания) около 2,5 квт-ч на 1000 м³ газа.

Расход воды на первый скруббер 0,35—0,5 м³ на 1000 м³ газа и на второй в зависимости от температуры газа и воды в пределах 2—4 м³ на 1000 м³ газа.

Подогрев газа производится подачей в газопровод небольшого количества воздуха и сжиганием части газа с этим воздухом.

Зажигание производится электрическим запалом. Ранее устанавливавшиеся поверхностные подогреватели быстро выходили из строя вследствие цементации их поверхности пылью.

Содержание пыли в чистом газе около 20 мг/м³.

3. Пылеулавливание производится в сухих электрофильтрах. Предварительно газы проходят полые увлажнительные скрубберы. Расход воды на увлажнительный скруббер 0,3—0,4 м³ на 1000 м³ газа.

Расход энергии на очистку 0,15—0,2 квт-ч на 1000 м³ газа. Вследствие недостаточности очистки и ее неустойчивости этот метод более не применяется.

4. То же, что и раньше, но затем газы проходят доочистку в мокрых электрофильтрах. Для этого после первых сухих электрофильтров устанавливаются скрубберы для охлаждения газов и далее — мокрые электрофильтры. Содержание пыли в чистом газе 5—15 мг/м³. Расход воды (энергии) на вторые скрубберы, как и в 1 и 2-й схемах. Расход энергии в электрофильтрах второй ступени 0,2 квт-ч на 1000 м³.

5. Каждый из этих методов имеет свои недостатки.

При очистке в дезинтеграторах чрезвычайно велик расход энергии, и получение газа с содержанием пыли в 10 мг/м³ практически невозможно.

Рукавные фильтры расходуют большие количества ткани, срок службы которых не выше 6 мес.; они громоздки, и расход энергии в них тоже довольно велик. Велики также капитальные затраты на их сооружение.

Сухие электрофильтры, хотя и потребляют мало энергии, но стоимость их установки велика, они не дают нужной степени очистки, и очистка эта весьма неустойчива. Увлажнение газов (см. далее) — весьма сложная операция, и поэтому, несмотря на то, что на разработку конструкции сухих электрофильтров Лурги и Сименс затратили много времени и средств, желаемые результаты ими не были достигнуты. Установка же сухих электрофильтров и последовательно включенных мокрых, хотя и широко применялась в Германии, только осложнила и удорожила как строительство, так и эксплуатацию.

В Советском Союзе была разработана и широко внедрена одноступенчатая мокрая электрическая очистка газов, самая дешевая по капитальным и эксплуатационным затратам и простая в обслуживании. Только после широкого применения в Советском Союзе этого метода очистки газов он стал внедряться на доменных заводах США.

Очистка эта осуществляется в одном аппарате, нижняя часть которого представляет скруббер, а верхняя — электрофильтр. Вследствие своей простоты и отсутствия движущихся частей такой электрофильтр может быть изготовлен на строительной площадке.

Расход энергии на очистку лежит в пределах 0,6—0,7 кВт·ч на 1000 м³ газа. Расход воды аналогичен расходу ее на других установках.

Электрическая сухая очистка газа

Большая экспериментальная работа, проведенная в свое время трестом «Газоочистка», выявила условия и возможности работы сухих электрофильтров.

Для удовлетворительной работы сухого электрофильтра на полутонкую очистку (0,4—0,5 г/м³) и при улавливании пыли в трубчатом (сотовом) электрофильтре с длиной электродов 5 м при скорости газов около 0,5 м/сек необходимо, чтобы при температуре газа на входе в электрофильтр 70—75° температура точки росы была ниже только на 10—12°. Понятно, что при этом аппарат должен быть хорошо теплоизолирован, во избежание конденсации воды на электродах и цементации пыли.

Опыт продолжительной работы показал чрезвычайную трудность регулирования влажности и поддержания нужной чистоты электродов.

Опишем работу одной германской установки, введенной в эксплуатацию в конце 1938 г. (т. е. значительно позднее, чем в Советском Союзе была освоена мокрая одноступенчатая электроочистка).

Установка производительностью в 70000 нм³/час состояла из: холодильника-скруббера первой ступени с входом газа снизу (форсунки установлены были также внизу скруббера); подогревателя со сжиганием части газа воздухом, подаваемым внутрь газохода; пластинчатого электрофильтра первой ступени с электрообогревом изоляторов; холодильника второй ступени с хордовой насадкой; электрофильтра второй ступени (также с обогреваемыми током изоляторами) горизонтального пластинчатого трехпольного с периодической обмывкой электродов чистой водой. Площадь сечения его была 19,2 м². Скорость газа в электрофильтре составила около 1 м/сек.

Питание током производилось от электроагрегатов, работавших по полуволновой схеме. Проведены были также опыты с полноволновым выпрямлением, которые показали, что при этом во второй, мокрой, ступени очистка улучшается (за-

пыленность падает с 11 до 7 мг/м³). На первой ступени применение полноволновой схемы только слегка улучшило очистку газов. Однако при полуволновом питании аппараты первой ступени работали устойчивее, и расход тока не менялся при изменениях газового режима. Температура газа перед газоочисткой 114—132°, на входе в электрофильтр первой ступени 79—82°, на входе во второй охладитель 61—67°, на входе во второй электрофильтр 28—30°.

Пылесодержание грязного газа 5,6—8,6 г/м³, на входе в электрофильтр первой ступени 3,3—4,6 г/м³, на выходе из электрофильтра первой ступени при работе на полуволне 0,76—1,58 г/м³, при работе на полной волне 0,42—0,81 г/м³ (но менее устойчиво и при хорошем увлажнении); на выходе из электрофильтра второй ступени (включая и улавливание во втором охладителе) при полуволне 0,009—0,0125 г/м³, при полноволновом выпрямлении 0,006—0,007 г/м³.

Потребление тока во второй ступени при полной волне составляло 30—40 ма при первичном напряжении 300 в и 20—25 ма при 320—330 в при полуволновом питании.

Такая плохая работа электрофильтра первой ступени объясняется неудачной конструкцией холодильника (вход газа снизу, крупные форсунки), вследствие чего точка росы газа на входе в электрофильтр равнялась всего 37—38°. Расход энергии на очистку составлял в электрофильтре первой ступени около 0,185 кВт·ч на 1000 м³ и во второй ступени 0,165 кВт·ч на 1000 м³. Кроме того, на обогрев изоляторов в обеих ступенях расходовалось 0,54 кВт·ч на 1000 м³.

Вследствие плохой работы первой ступени возникли большие трудности с осветлением воды, стала забиваться насадка охладителя второй ступени, и в 1940 г. очистка значительно ухудшилась.

В другой установке, работавшей по этой же схеме, подготовка газа была организована лучше. Газ в первый полый охладитель подавался сверху вниз, давление на форсунках составляло 18 ат, и форсунки были достаточно мелки и присоединены к пяти кольцевым водоводам, отключаемым отдельно для регулировки влажности и температуры. Температура грязного газа лежала в пределах 120—220°, на входе в электрофильтре первой ступени 70—75° при точке росы, лежавшей на 8—15° ниже, выход из электрофильтра первой ступени 60—62°, из холодильника второй ступени 25—33°.

Среднее содержание пыли в грязном газе 3,48 г/нм³, на входе в электрофильтр первой ступени 1,83 г/нм³, в холодильнике второй ступени 0,359 г/нм³, после холодильника второй ступени 0,119 г/нм³ и после электрофильтров второй ступени

0,006 г/нм³. Таким образом, в холодильнике первой ступени улавливалось 47,4% всей пыли, содержащейся в грязном газе, в нем и в сухом электрофилт্রে 89,9%; после охладителя второй ступени степень очистки составляла уже 96,6%, а после мокрого электрофилтра 99,8%.

Средняя степень очистки в сухом электрофилт্রে равнялась 80%, колеблясь от 58 до 98%, несмотря на тщательную подготовку. Расход энергии составлял (без вентиляторов) 1,82 квт-ч на 1000 нм³ газа, из них на насосы охладителя второй ступени 0,94 квт-ч. Сопротивление всей системы равнялось 60 мм вод. ст.

Сухой и мокрый электрофилтры пластинчатые. В мокром электрофилт্রে электроды промывались раз в смену 9 мин., расходуя 2,25 м³/мин воды.

Надо заметить, что коронирующие электроды из хромоникелевой проволоки оказались весьма мало устойчивыми на всех электрофилтрах (в особенности в сухом) и были заменены коронирующими электродами из чистого мягкого железа.

На одном небольшом зарубежном заводе, где не требовалась высокая степень очистки газов и где нежелательно было организовывать предварительную довольно сложную подготовку газов, были установлены сухие аппараты типа наших ХР (трубчатые, с воздушным охлаждением труб) в одну ступень. Однако из-за низкой температуры газов и относительно высокой их влажности в аппарате происходила конденсация воды, и электрофилтры работали практически как мокрые. При этом степень очистки была очень высокая. При начальном содержании пыли в грязном газе в 1,2 г/нм³ конечное содержание в чистом газе равнялось 0,003 г/нм³. Долго так работать, разумеется, невозможно и уже через несколько дней аппарат надо останавливать на чистку.

Не освоив одноступенчатой мокрой очистки и разочаровавшись в сухой очистке вследствие ее неустойчивой работы и сложной подготовки газов, в Германии уже в 1940 г. ввели в эксплуатацию крупную очистку доменного газа по следующей схеме: пылевой мешок — циклоны — охладители с хордовой насадкой — дезинтеграторы — трехпольные горизонтальные мокрые электрофилтры.

Гарантировалось, что при содержании пыли в газе после дезинтегратора не более 0,1 г/нм³, температуре газов 35° (газ насыщенный) и наличии водяного тумана в 20—30 г/нм³ содержание пыли в чистом газе после мокрого электрофилтра составит 5—10 мг/нм³.

Однако при пуске оказалось, что пылесодержание газа после дезинтегратора составило 0,58 г/нм³ и после электрофилтра 33 мг/нм³ и степень улавливания в нем 94,3%, т. е. пылесо-

держание оказалось в шесть раз выше, чем было гарантировано. Правда, при увеличении числа оборотов дезинтегратора гарантированная степень очистки была достигнута. Очевидно, однако, что применение такой сложной и дорогой схемы (расход энергии на дезинтеграторы 1,9 квт-ч на 1000 м³ и в электрофилтрах 0,147 квт-ч на 1000 м³ газа) ничем не оправдано.

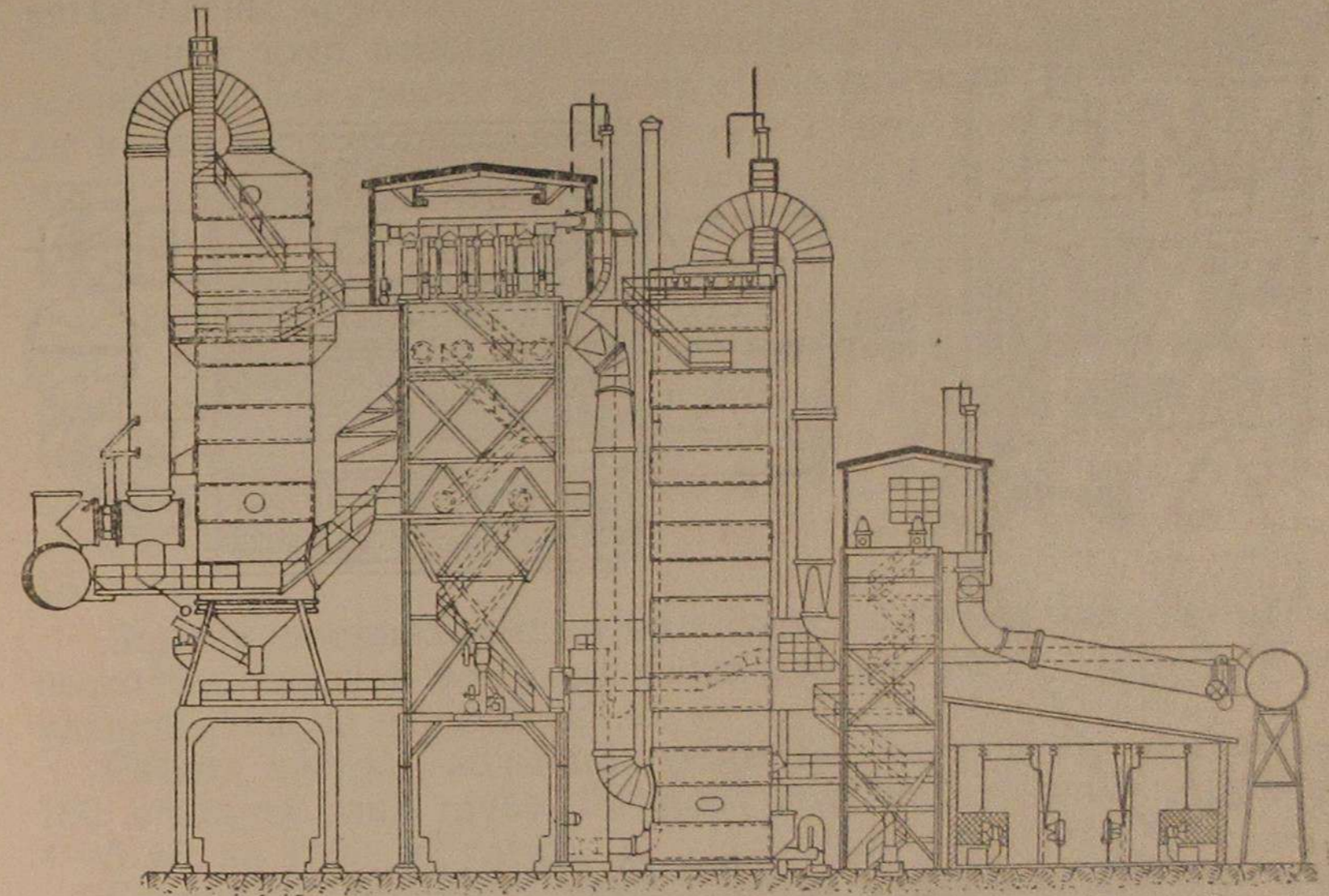


Рис. 79. Двухступенчатая очистка газа

Первая оригинальная, двухступенчатая установка по очистке доменного газа, построенная в Советском Союзе, изображена на рис. 79. Газ проходил первый охладитель сверху вниз, затем попадал в вертикальный однополюсный электрофилтър с осадительными электродами из ячеек шестигранных труб (рис. 80). Аппарат состоял из восьми секций, разделенных со стороны выхода газа. Вход газа был осуществлен в виде двух щелевых газоходов, пронизывающих каждые четыре секции. Снизу газоход был открыт, и грязный газ выходил из газохода внизу, поворачивал вверх, проходя параллельно все шестигранные трубы. По верху секций проходили два газохода чистого газа, объединяемые в один снаружи аппарата. Газ из каждой секции попадал в газоход чистого газа через клапанный затвор. На крышке

аппарата были установлены механизмы, которые производили поочередно в каждой секции следующие операции: 1 — выключение разъединителем тока, 2 — закрывание клапана газохода чистого газа, 3 — встряхивание осадительных и коронирующих электродов, 4 — включение тока, 5 — включение газа.

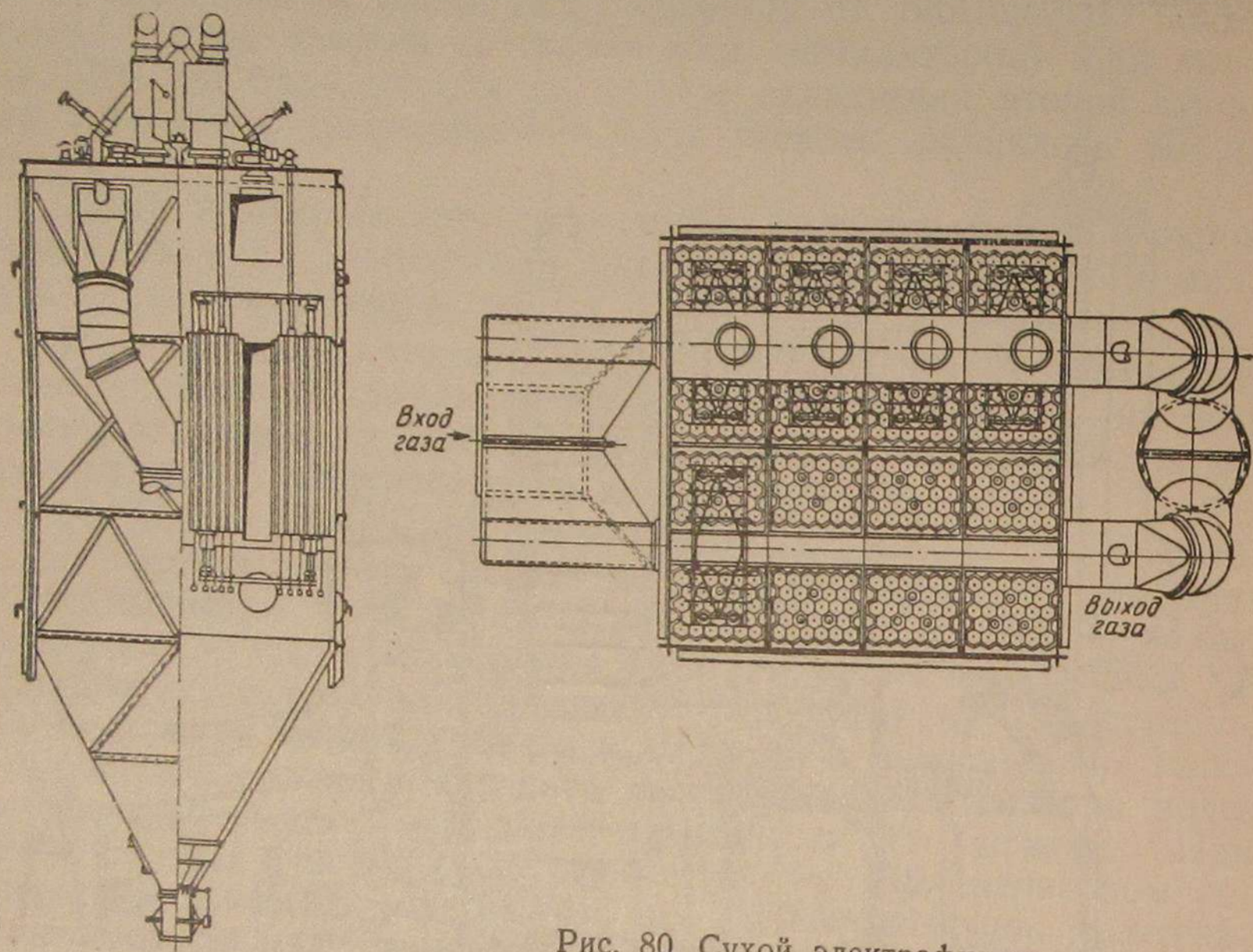


Рис. 80. Сухой электрофильтр

По выходе из электрофильтра первой ступени газ проходил скруббер с хордовой насадкой и затем трубчатый мокрый электрофильтр. Пропускная способность каждого блока (установка состоит из нескольких блоков) составляла примерно $40\,000\text{ м}^3/\text{час}$.

Основные показатели работы этой установки были следующие: расход электроэнергии $0,4\text{ квт}\cdot\text{ч}$ на 1000 нм^3 газа, расход воды (свежей) $2,18\text{ м}^3$ на 1000 м^3 газа, обслуживающего персонала 64 чел. Среднее содержание пыли в чистом газе при хорошей работе аппарата $23\text{ мг}/\text{нм}^3$.

Основные трудности, которые выявились в эксплуатации этой установки, состояли в том, что стенки первого холодильника и газоход на входе в электрофильтр первой ступени обрастали слоем пыли, который с трудом очищался. Вследствие неустойчивой очистки газов в электрофильтре первой ступени

пени во второй ступени улавливалось очень много пыли, на что не была рассчитана ни система освещения, ни самый электрофильтр, и необходимо было часто останавливать электрофильтры на очистку электродов.

Поэтому установка полностью реконструирована. Скруббер и электрофильтр второй ступени убраны. В скруббере первой ступени установлена насадка и вход газа сделан снизу. В электрофильтре первой ступени вместо шестигранных труб установлены круглые.

Стенки труб непрерывно орошались водой. По данным инженера П. Хомутикова (трест «Газоочистка») содержание пыли в чистом газе составляет $20\text{ мг}/\text{нм}^3$ при начальной запыленности газа в $25\text{ г}/\text{нм}^3$. Содержание пыли после скруббера на входе в электрофильтр $0,7\text{—}1,0\text{ г}/\text{м}^3$.

Скорость газа в трубах составляла $0,7\text{—}0,8\text{ м}/\text{сек}$. Диаметр труб 300 мм и их длина 4 м . Диаметр коронирующего провода 3 мм . Сила тока $0,3\text{ ма}/\text{пог. м}$ провода в активной части. При увеличении силы тока до $0,6\text{ ма}/\text{пог. м}$ очистка резко улучшилась и содержание пыли в чистом газе не могло быть замерено. При этой же удельной силе тока в $0,6\text{ ма}/\text{пог. м}$ и скорости газа в $1,7\text{ м}/\text{сек}$ содержание пыли в чистом газе составило $15\text{ мг}/\text{м}^3$.

Замена трехмиллиметрового провода шестимиллиметровым несколько снизила вольтамперную характеристику и на степени улавливания не сказалась.

Расход чистой воды на промывку электродов составляет $150\text{ м}^3/\text{час}$ на одну трубу. Расходы воды на орошение скруббера $4\text{—}5\text{ м}^3$ на 1000 м^3 газа.

Сравнивая двухступенчатую очистку с мокрой одноступенчатой, мы видим, насколько последняя компактнее, дешевле по капитальным затратам и проще в эксплуатации (обслуживающий штат значительно уменьшается).

Электрическая мокрая очистка газа

На рис. 81 изображен последний тип мокрого электрофильтра для доменного газа типа ДМ-424 треста Газоочистка. Аппарат трубчатый однополюсный двухсекционный.

Газ входит снизу в скрубберную часть, в которой установлено четыре яруса хордовой насадки. Высота насадки в каждом ярусе 2250 мм . Подача оборотной воды на насадку производится через семь брызгал. Брызгала имеют снизу форму полусферы, в которой просверлены отверстия.

Выше системы орошения диаметр аппарата увеличивается с 5800 до 8200 мм . В расширенной части, разделенной вертикальной перегородкой надвое, устанавливаются 424 трубы (по

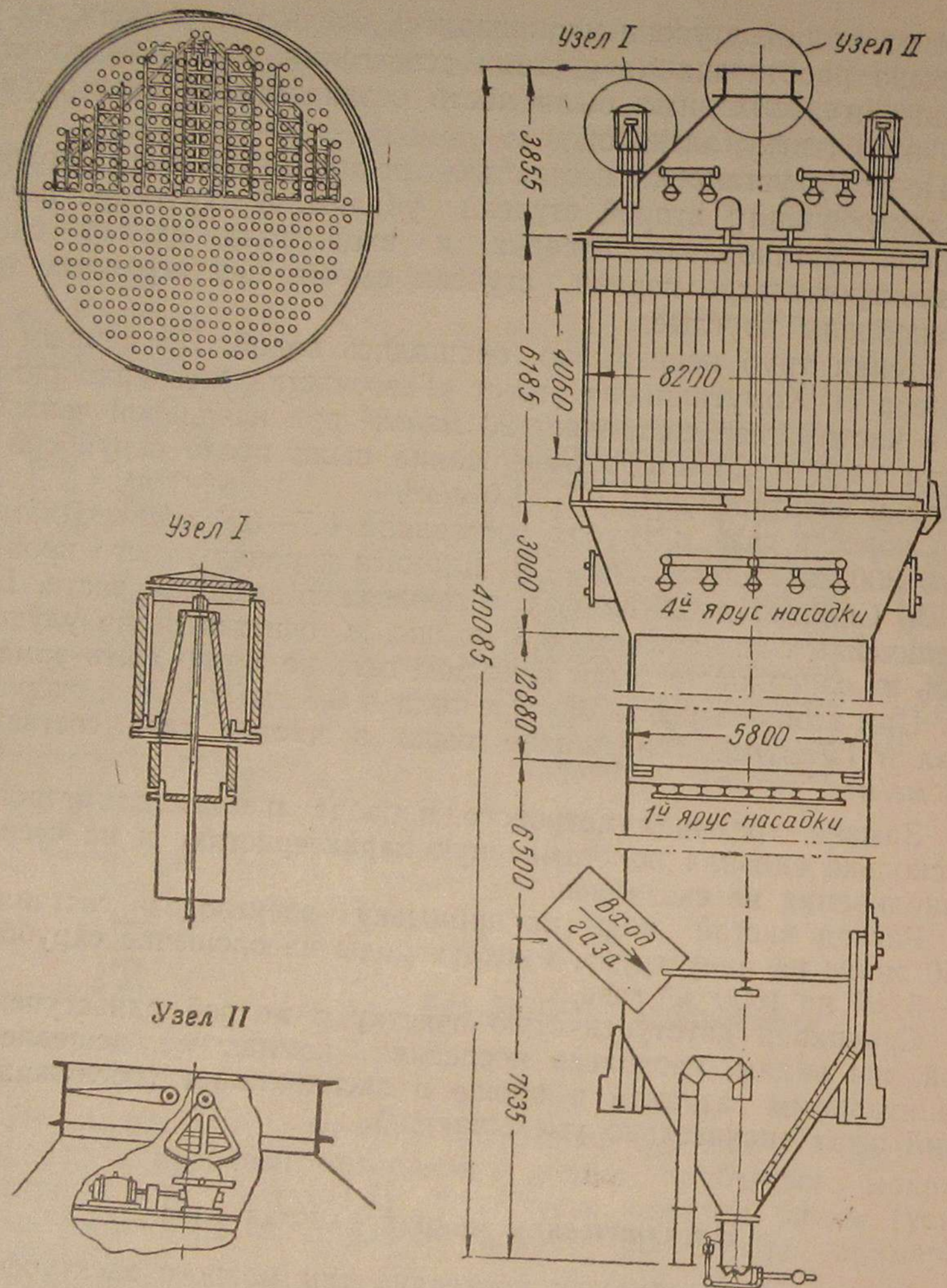


Рис. 81. Мокрый электрофильтр типа ДМ-424

212 в секции) диаметром 300 мм. Таким образом, общее полезное сечение аппарата равно примерно 30 м^2 и при скорости газа 1 м/сек производительность аппарата равна $110\,000 \text{ м}^3/\text{час}$ газа.

Уменьшение диаметра нижней части аппарата вызвано тем, что при заданных производительностях аппарата и удельном

расходе воды, плотность орошения насадки оказывается недостаточной для смачивания всей ее поверхности. Автору это кажется неправильным. Безусловно в периферийных трубах скорость газа будет невелика, и электрофильтр не будет рабо-

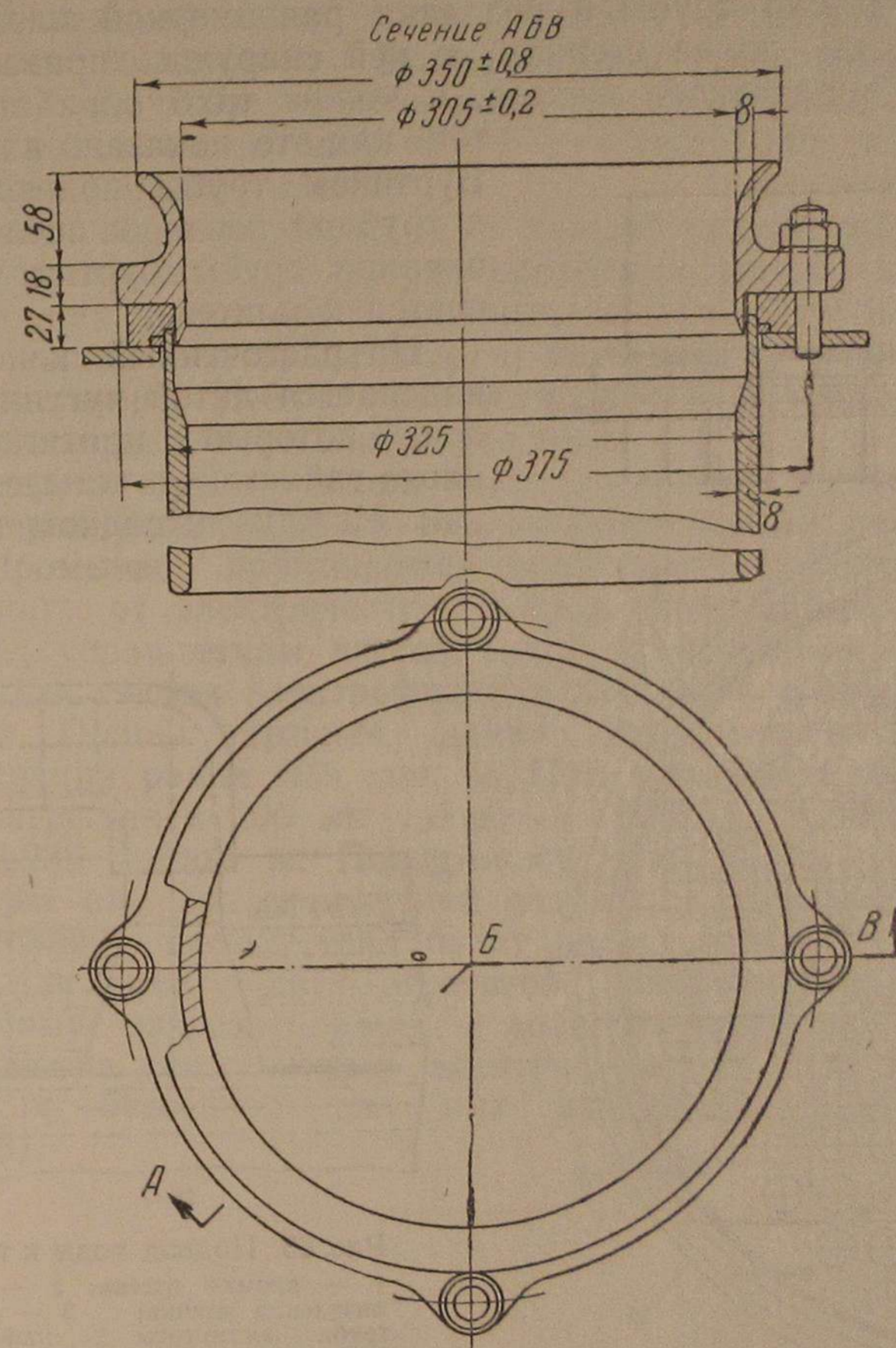


Рис. 82. Орошение трубы

тать полным сечением. Следовало диаметр скруббера увеличить до диаметра кожуха электрофильтра, а необходимую плотность орошения достичь заворотом части воды, стекающей с аппарата, обратно на скруббер без подачи ее на отставание и охлаждение.

В выходном газоходе установлены два дроссельных затвора. Таким образом, со стороны выхода газа каждая секция может быть выключена из газового потока. Внутренние стенки труб непрерывно орошаются водой, благодаря чему избегается нарастание на них грязи.

Для подвески трубы и создания равномерной пленки орошающей воды по ее стенкам, к ней снаружи приваривается буртик из квадратного железа, и концы труб обрабатываются так, как это показано на рис. 82. Буртиком трубы подвешиваются к трубной плите, и после выравнивания трубы буртик приваривается к плите.

На расточенный конец трубы надевается литой чугунный насадок, который притягивается к плите гайками на четырех шпильках. Между насадком и плитой

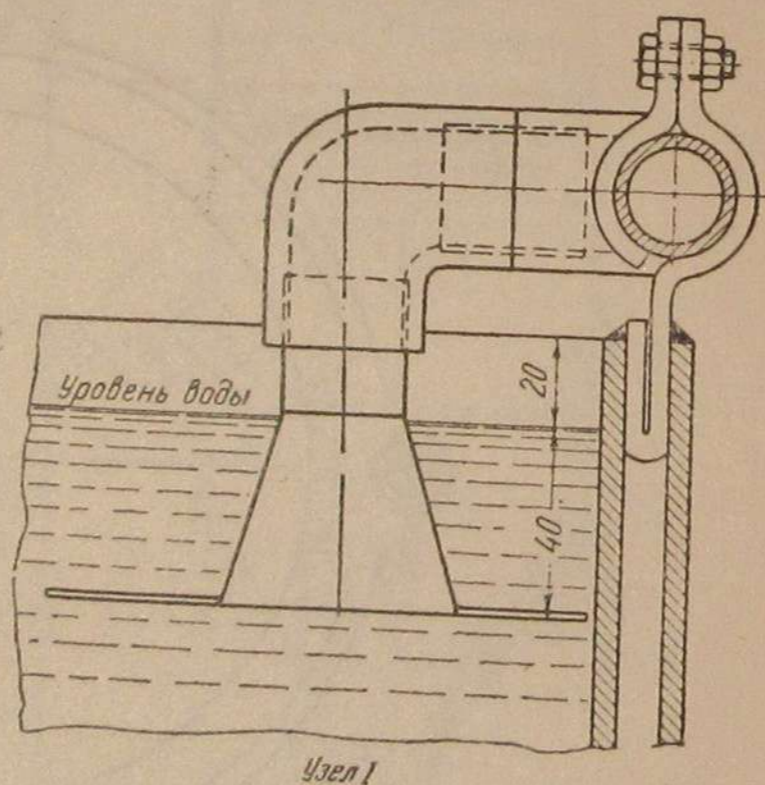
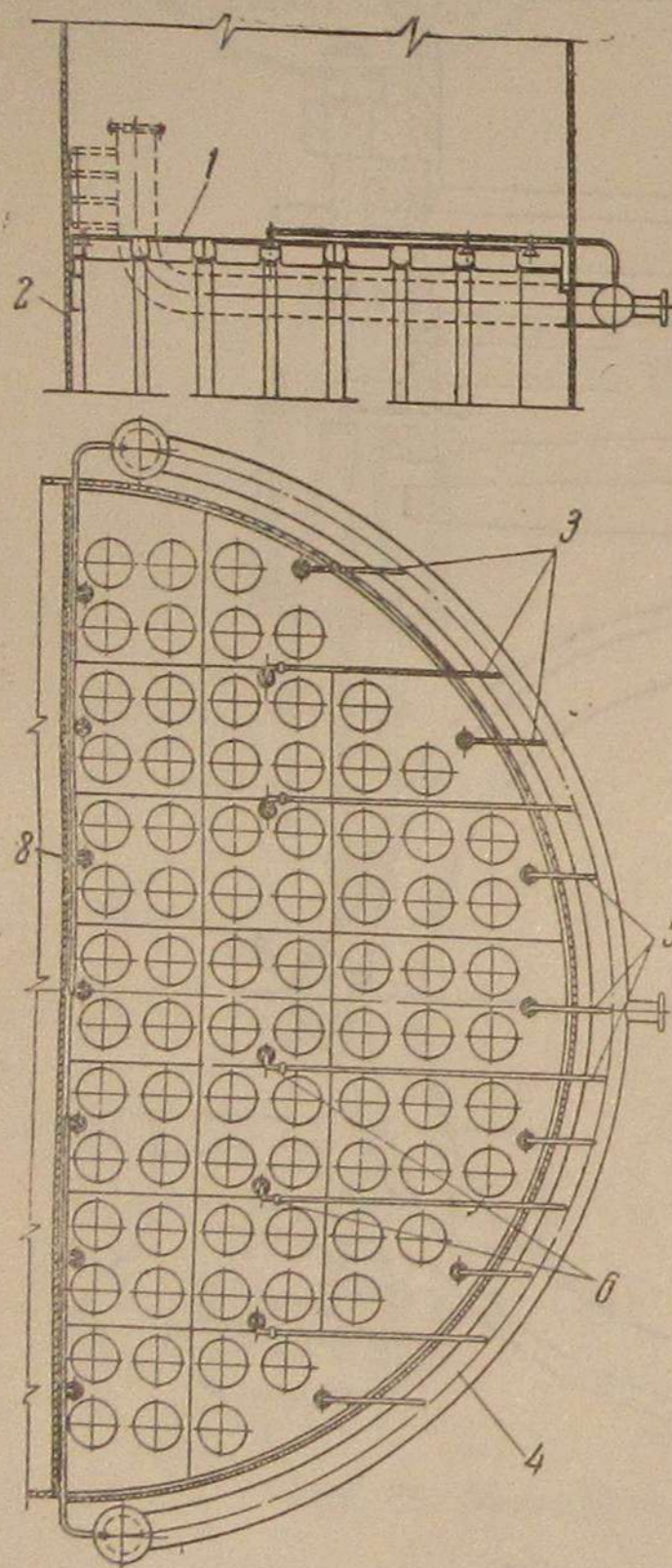


Рис. 83. Подвод воды к трубам:
1 — кромка отсека; 2 — разделительная стенка; 3 — газовая труба диаметром $\frac{3}{4}$ дюйма по ОСТ 18828; 4 — труба по ГОСТ 391—41; 5 — газовая труба диаметром 1 дюйм; 6 — узел № 1

установлено профильное кольцо из мягкой резины. Поворачивая гайки, регулируют сначала на-глаз, а потом по уровню с чувствительностью в 30'', верхнюю кромку насадки так, чтобы она была горизонтальна и чтобы вода сливалась по всей кромке. Верхний край насадка должен быть до установки проверен на

проверочной плите. Зазор между плитой и кромкой насадка не должен нигде превышать 50μ.

Каждые четыре или шесть труб (рис. 83) разделяются вертикальными перегородками, приваренными к плите, на отдельные отсеки для облегчения регулирования насадков по уровню воды. В каждый отсек вода подается отдельной трубой от кольцевого коллектора. Вода подается через воронку на дно отсека с тем, чтобы уровень воды в отсеке был всюду одинаков. Расход воды на одну трубу, как уже было сказано выше, составляет 150—200 л/час.

Верхняя коронирующая рама каждой секции висит на трех гягах, укрепленных на опорно проходных изоляторах.

Тяги пропущены через длинные защитные трубы, препятствующие попаданию брызг воды и пыли на внутреннюю поверхность изолятора. Изоляторы установлены в теплоизолированных изоляторных коробках с люками.

Промывка коронирующих электродов производится периодически через установленные над коронирующими рамами брызгала. Промывка производится при отключении соответствующей секции от электрического тока и при закрытом выходном дросселе, управляемом дистанционно от моторного привода.

Каждая секция электрофильтра питается от своего электроагрегата. Общая активная длина коронирующих электродов одной секции равна 848 пог. м. При максимальной силе тока электроагрегата в 200 ма удельный расход тока составит не более 0,235 ма/пог. м. Повидимому, для получения более чистого газа или при увеличении скорости газа выше 1 м/сек этот удельный расход тока будет недостаточен. Поскольку параллельная работа двух агрегатов нежелательна, придется, повидимому, разрезать рамы и добавить изоляторы.

Установка семи мокрых электрофильтров типа ДМ и двух отстойных бассейнов для них изображена на рис. 84 (см. стр. 138).

УЛАВЛИВАНИЕ ЗОЛЫ ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНЫХ

Общие положения

При сжигании топлива в топках удерживается только часть золы угля. При пылевидном сжигании с дымовыми газами уносится 70—80% всей золы, содержащейся в топливе. Зольность угля колеблется от 13% в тощем донецком при калорийности его в 6800 ккал/кг до 25% в подмосковном при калорийности его в 2540 ккал/кг. Таким образом, с учетом калорийности золосодержание подмосковного угля примерно в пять раз выше чем донецкого тощего. Для топок крупных котельных применяется низкосортное топливо или полупродукты обогащения угля; поэтому абсолютные количества уноса золы с дымовыми газами очень велики. Например, ТЭЦ мощностью в 50 мвт выбрасывает в сутки с дымовыми газами около 250 т золы.

Крупность уносимой золы в сильной мере зависит от метода сжигания. Таблица 9 дает представление о фракционном

Таблица 9

Метод сжигания	Вид топлива	Фракционный состав, %						
		размеры частиц, μ						
		>0	>10	>20	>30	>40	>50	>60
Пылевидный с размолем в шаровой мельнице	Подмосковный уголь . . .	100	54	39	32	25	19	14
То же	АШ	100	73	51	38	30	24	15
» »	Кузнецкий тощий	100	49	37	30	23	18	13
» »	Донецкий тощий	100	69	28	17	12	9	6
Шахтно-мельничная топка	Бурый уголь (Германия) .	100	85	78	70	63	56	48

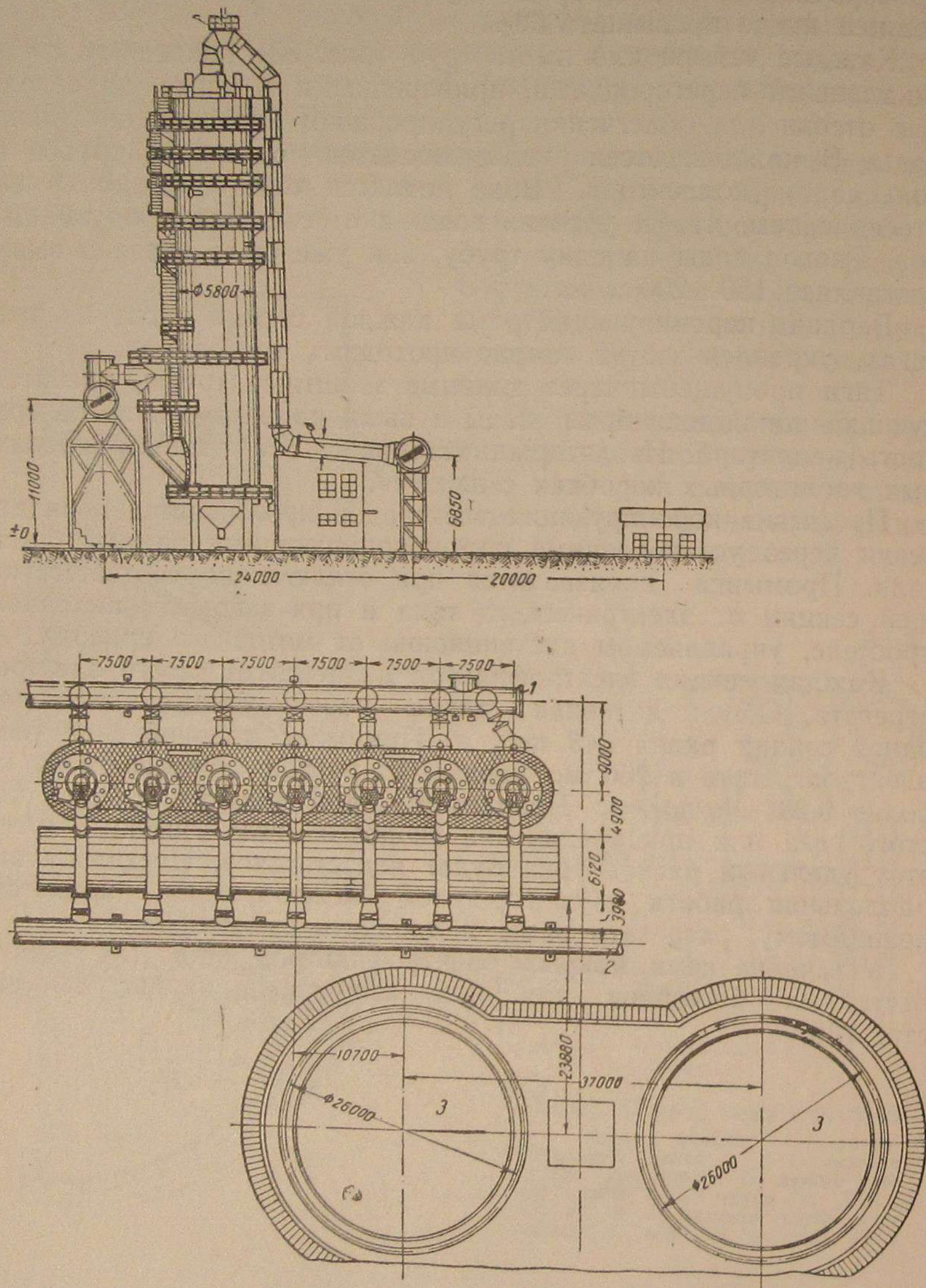


Рис. 84. Установка мокрой очистки доменного газа:

1 — газопровод грязного газа; 2 — газопровод чистого газа; 3 — отстойный бассейн

составе золы в зависимости от рода топлива и метода сжигания [8]. Как видно из этой таблицы, значительная часть золы уносится весьма дисперсной. Так, при пылевидном сжигании подмосковного угля 46% золы состоит из частиц размером менее 46 μ.

Значительные абсолютные величины золовых выбросов заставляют стремиться к максимальной степени улавливания, и при указанной значительной дисперсности золы достаточно полное сухое улавливание ее может быть произведено только в электрофильтрах. Это тем более необходимо, что окраску дыма создают мелкие частицы, а не крупные.

Поэтому оптическая степень очистки в электрофильтрах значительно выше, чем в других пылеулавливающих аппаратах.

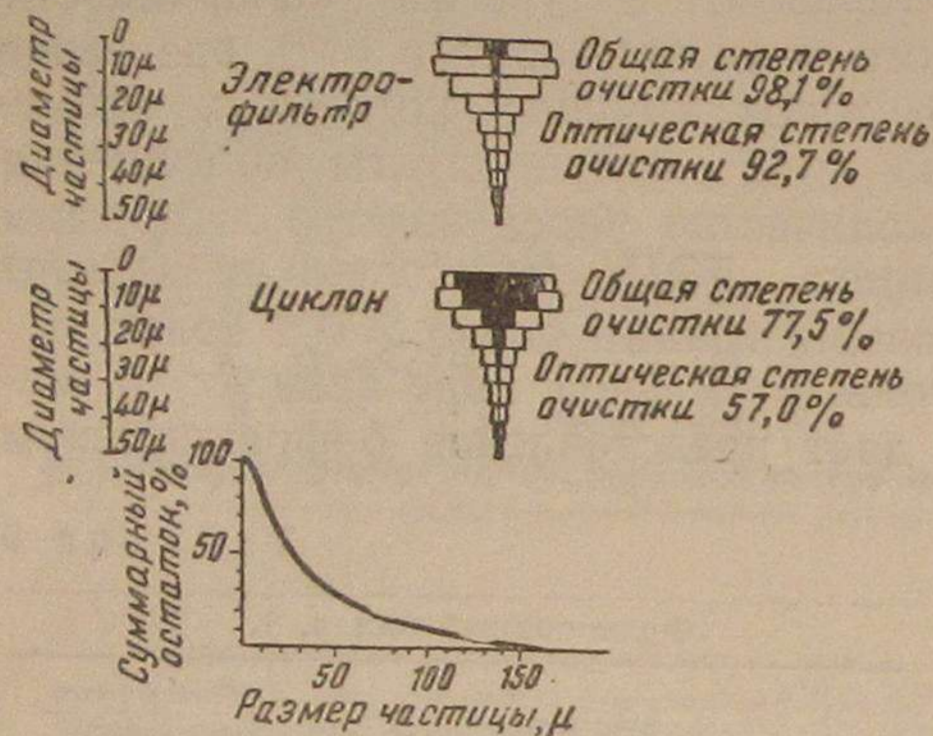


Рис. 85. Оптическая степень улавливания. Суммарная проекция всех пылинок из 1 г пыли в неочищенном газе: в грязном газе 280 см² после циклона 120 см² после электрофильтра 20 см²

Оптической степенью улавливания называется отношение суммы проекций частиц, оставшихся в газе после пылеуловителя от 1 г пыли в грязном газе, к сумме проекции частиц 1 г пыли в грязном газе. На рис. 85 даны для сравнения степень очистки в электрофильтре и циклоне пыли, характеристичная кривая остатков которой дана там же. Весовая степень улавливания составляет в циклоне 77,5% (пыль, как видно из кривой, крупная), а в электрофильтре 98,1%. Оптическая же степень улавливания составляет для циклона только 57%, т. е. 73,5% от весовой. В электрофильтре же она равна 92,7%, т. е. 95,6% от весовой.

Поэтому включение, например, батарейного циклона, улавливающего 60% пыли, мало сказывается на цвете дымового факела, в то время как включение электрофильтра, улавливающего 80%, сказывается резко.

На рисунке высота каждого прямоугольника соответствует 5μ, длина его равна сумме проекций частиц соответственного размера на 1 г пыли в грязном газе. Затусшеванная часть дает суммы проекций частиц, оставшихся от этой пыли в чистом газе. Таким образом, здесь представлена оптическая фракционная степень улавливания. Отношение затусшеванной поверхности всех прямоугольников к их общей поверхности и является оптической степенью улавливания.

Недожог, содержащийся в золе, улавливается значительно хуже.

Оптической степенью улавливания называется отношение суммы проекций частиц, оставшихся в газе после пылеуловителя от 1 г пыли в грязном газе, к сумме проекции частиц 1 г пыли в грязном газе. На рис. 85 даны для сравнения степень очистки в электрофильтре и циклоне пыли, характеристичная кривая остатков которой дана там же. Весовая степень улавливания составляет в циклоне 77,5% (пыль, как видно из кривой, крупная), а в электрофильтре 98,1%. Оптическая же степень улавливания составляет для циклона только 57%, т. е. 73,5% от весовой. В электрофильтре же она равна 92,7%, т. е. 95,6% от весовой.

На рис. 86 дана зависимость степени очистки в электрофильтре от длительности работы после отряхивания электродов при улавливании золы из газов, полученных от сжигания тощего угля [15]. Кривые сняты при скорости газов в электрофильтре с сотовыми осадительными электродами типа ДВ1 (описываемого далее) в 1,2—1,4 м/сек, недожоге в уносе в 27—35% и входной запыленности в 17—22 г/м³. Кривая 1 снята при удельной плотности тока 0,25 ма/м коронирующего электрода, кривая 2 — при плотности тока 0,112—0,154 ма/м. Кривая 3 — при плотности тока 0,091—0,098 ма/м и кривая 4 — при плотности тока 0,06—0,07 ма/м.



Рис. 86. Степень очистки в зависимости от длительности работы после встряхивания

Из этих кривых видно, как сильно снижается очистка в зависимости от загрязнения электродов. При чистых электродах плотность тока почти не влияет на степени улавливания. Однако по мере загрязнения электродов увеличение плотности тока, а следовательно и сил, действующих на частицу в электрофильтре (как в объеме, так и на поверхности), начинает резко сказываться на степени улавливания.

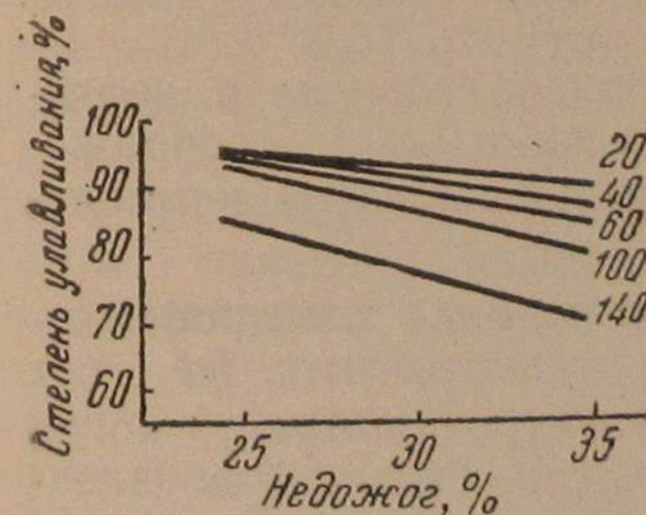


Рис. 87. Зависимость степени улавливания от величины недожога

Зависимость степени улавливания от величины недожога видна на рис. 87. Цифры у кривых показывают число минут, прошедших от момента встряхивания. Частицы недожога значительно крупнее частиц золы и при прочих равных условиях должны были бы лучше улавливаться согласно уравнению (31 а). Худшее улавливание больших частиц объясняется, повидимому, лучшей проводимостью пыли, благодаря чему она хуже удерживается на электроде. При встряхивании, действующем непрерывно (удары с интервалами в 8 мин., см. далее описание электрофильтра), степень очистки при скорости газа в электрофильтре 1,4 м/сек (время пребывания при высоте осадительных электродов 4,9 м 3,5 сек.), недожоге в золе 32—36% и плотности тока, лежащей в пределах 0,06—0,112 ма/м, равнялась

лучшей проводимостью пыли, благодаря чему она хуже удерживается на электроде. При встряхивании, действующем непрерывно (удары с интервалами в 8 мин., см. далее описание электрофильтра), степень очистки при скорости газа в электрофильтре 1,4 м/сек (время пребывания при высоте осадительных электродов 4,9 м 3,5 сек.), недожоге в золе 32—36% и плотности тока, лежащей в пределах 0,06—0,112 ма/м, равнялась

94% и не зависела от начальной запыленности, менявшейся от 10 до 25 г/м³.

Так как несгоревшие частицы улавливаются значительно хуже частиц золы, то унос после электрофилтра сильно обогащается углеродом, и унесенные частицы крупнее таковых частиц пыли в газе до электрофилтра. До электрофилтра в газе содержалось по весу частиц, меньших 46 мк, 65%, а в газе после электрофилтра таких частиц было только 48%.

При содержании углерода в уносе до электрофилтра, лежащем в пределах 25—45%, его содержание в уносе после электрофилтра лежит в пределах 70—85%.

Указанная степень очистки в 94% начинает постепенно снижаться вследствие того, что на осадительных электродах накапливается плотный неотряхиваемый слой.

При сжигании на одной из ТЭЦ тощего угля перед электрофилтрами были включены циклоны. При этом степень очистки превышала 95% и была устойчивой.

Характер золы, ее дисперсность и количество горючих в ней определяют выбор типа осадительных электродов и интенсивность отряхивания. При улавливании крупной, легко сваливающейся с электродов золы, содержащей много недожога, видимо, лучше применять карманные электроды с непрерывным их отряхиванием под током газов. При улавливании же золы типа получаемой при сжигании подмосковного угля при тонком его помоле применение таких электродов приведет к замазыванию карманов.

Выбор между электрофилтром с горизонтальным и вертикальным ходом газов определяется компоновочными соображениями. Электрофилтры с вертикальным ходом газов компонуются лучше.

Проектная скорость газов в установленных электрофилтрах доходит до 2 м/сек и выше. Если учесть, что во всех других случаях улавливания пыли в электрофилтрах, когда пыль или газ имеют определенную ценность, скорость в электрофилтре не превышает 1 м/сек, следует признать, что увлечение высокими скоростями при очистке дымовых газов мало основательно и если по компоновочным или иным соображениям необходимо устанавливать электрофилтр со скоростью газов в нем выше 1,8 м/сек и со временем пребывания газов менее 2,7 сек., лучше принимать к установке батарейные циклоны или иные механические пылеуловители.

Основной трудностью в конструировании электрофилтров для улавливания золы, получающейся при тонком помоле углей типа подмосковного, является конструкция механизма очистки электродов.

Аппараты типа ДВМ треста Газоочистка

Одним из наиболее распространенных типов аппаратов для очистки дымовых газов является аппарат типа ДВМ. Основным в этом типе является вертикальный ход газов и устройство осадительных электродов из шестигранных груб, собранных в пакеты. Аппарат ДВМ-1 (рис. 88), предназначенный для очистки газов от котла паропроизводительностью 160/200 т/час пара, представляет железобетонную камеру, разделенную на четыре самостоятельные секции. Внутри каждой секции на тягах, проходящих через железобетонную крышку-диффузор, подвешены четыре пакета сотовых электрофилтров. В каждом пакете 72 ячейки общей площадью в 4,07 м². Полезная площадь сечения всего аппарата 4,07 · 16 = 65,1 м². Высота пакета (длина осадительного электрода) 4,9 м. Активная длина коронирующих электродов в аппарате 5645 м. Диаметр описанной окружности ячейки в пакете 300 мм.

Коронирующие электроды из фехральной проволоки диаметром 2 мм подвешиваются к верхней раме. Последняя подвешена на тягах к четырем изоляторам ПО-1. Тяги проходят через длинные трубы. Коронирование самих тяг в трубе препятствует попаданию золы на внутреннюю поверхность изолятора. Кроме того, на тягах укреплены колпачки — отражатели газа.

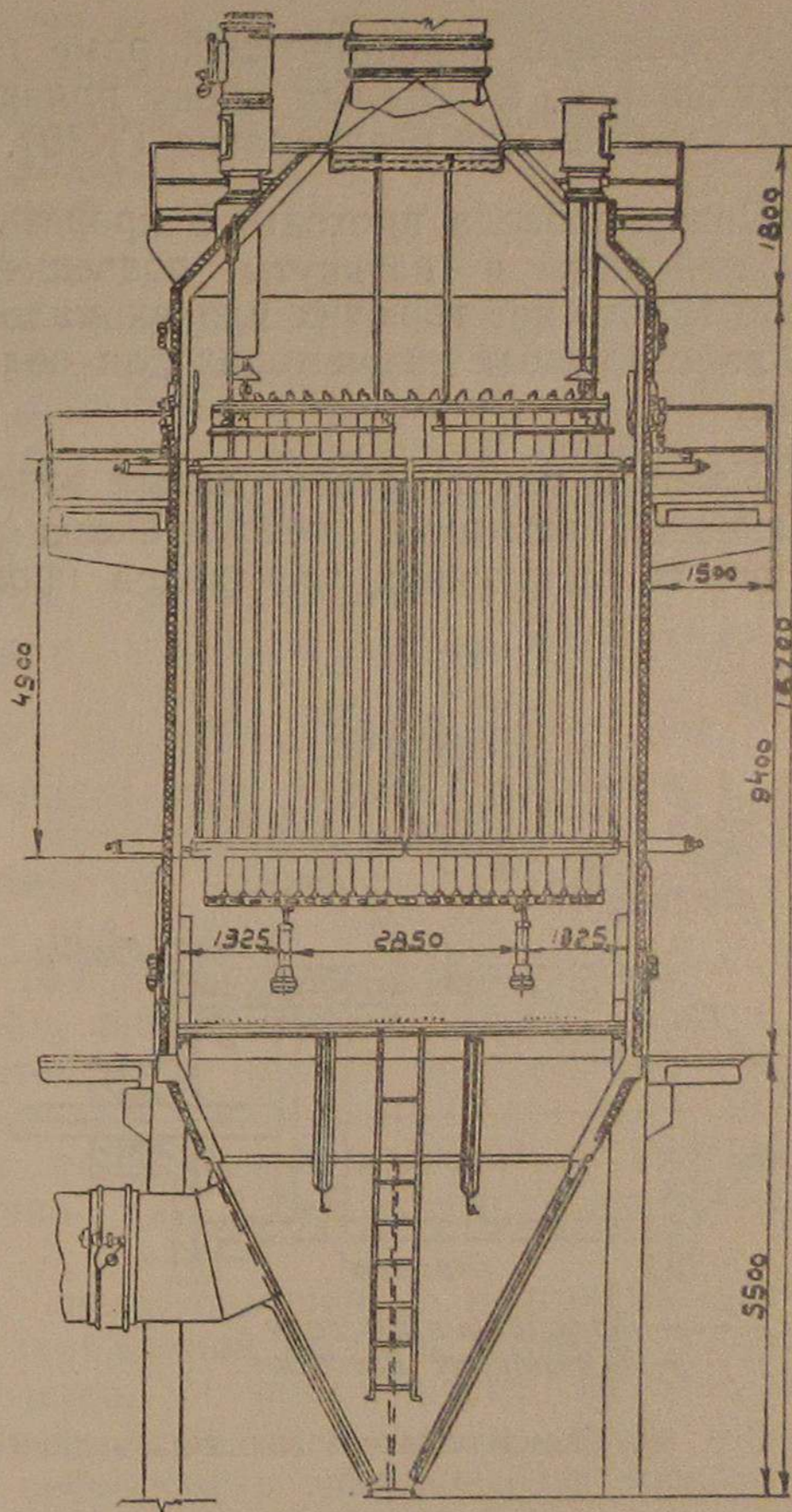


Рис. 88. Аппарат типа ДВМ-1

Крышка на головке изолятора имеет отверстия, закрывающиеся полностью или частично. Через эти отверстия внутрь изолятора может подсасываться воздух за счет разрежения в аппарате, препятствуя опять-таки попаданию золы на изолятор. Через лючок в опоре под изолятором внутренняя его поверхность может быть очищена от осевшей золы.

К основной коронирующей раме гибко подвешены рамки встряхивания, к которым сбоку привязаны коронирующие провода (так же, как в аппаратах ГК30).

Снизу провода проходят в прорезы общей нижней коронирующей рамы и натянуты подвешенными к ним грузами. Если в золе нет горючих или их мало, то нижняя рама крепится на кварцевых изоляторах для облегчения центровки проводов.

Каждый пакет осадительных электродов периодически отряхивается четырьмя пневматическими молотками. Встряхивание коронирующих электродов производится (при выключенном токе) ударами рычага сбоку по рамке встряхивания. Рычаг приводится от пневматической же трамбовки.

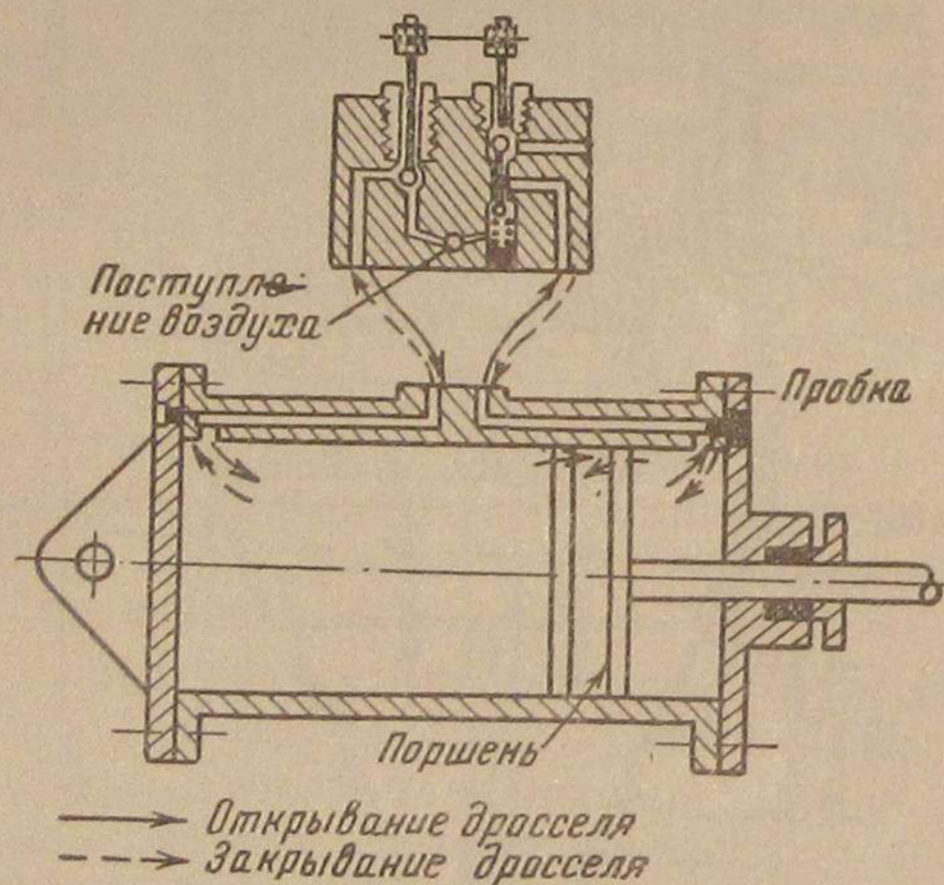


Рис. 89. Схема подачи воздуха разъединителей

При вращении вала контроллера (от электропривода через редуктор) включается реле той или другой секции. Керн электромагнита реле нажимает при включении на шарики воздухораспределителя. При этом воздух, как это видно на рисунке, попадает в одну или другую сторону поршня и либо закрывает, либо открывает дроссель. Выключение привода разъединителя производится таким же примерно образом, обрат-

ное же включение — под влиянием противовеса. Число оборотов вала контроллера, включающего реле управления дросселя, разъединителя и подачи воздуха на молотки и трамбовки, может регулироваться.

Отряхивание электрофилтра производится в следующем порядке:

1. Закрывается дроссель на выходе данной секции.
2. Отключается соответственный разъединитель.
3. Включается подача воздуха в молотки и трамбовки.
4. Выключается подача воздуха.
5. Включается разъединитель.
6. Открывается дроссель.

Продолжительность всех операций — 1 мин. Отряхивание каждой секции производится в зависимости от числа оборотов вала контроллера каждые 4—16 мин.

Пыль, отряхиваемая с электродов, попадает в бункер секции и удаляется оттуда либо через шлюзовые затворы, либо через затворы гидроудаления.

Бункер стальной отъемный (конструируется с таким расчетом, чтобы снизу в аппарат можно было подавать пакеты осадительных электродов).

Вход газа в бункер под газораспределительную решетку. На входном газоходе устанавливается дроссель с ручным приводом. Выход из каждой секции снабжается измерительной трубой для определения количества проходящего газа.

Расход сжатого воздуха при работе молотков одной секции составляет $20 \text{ м}^3/\text{мин}$. Так как продолжительность отряхивания составляет всего 5—6% времени, то к одному компрессору указанной производительности можно присоединить несколько электрофилтров. Давление воздуха 5 ата .

При отряхивании одной секции она выключается из газового потока, и соответственно (на 32%) увеличивается скорость газов в остальных.

Вследствие этого часть пыли, осевшая в неотряхиваемых секциях на толстый слой заряженной пыли и поэтому слабо прижимаемая к ней, срывается, и запыленность отходящих газов возрастает. Кроме того, при отряхивании какой-либо секции удары заставляют вибрировать электроды в соседних секциях, и унос возрастает. Влияние этих факторов показано на рис. 90 и на рис. 91. В обоих случаях запыленность отходящих газов определялась по оптическому дымомеру.

На оси ординат обеих кривых отложены показания гальванометров дымомера, установленного в диффузоре второй секции, а по горизонтали — время (надо заметить, что показания гальванометра непропорциональны запыленности, а дают величину светопропускаемости газа в условной шкале).

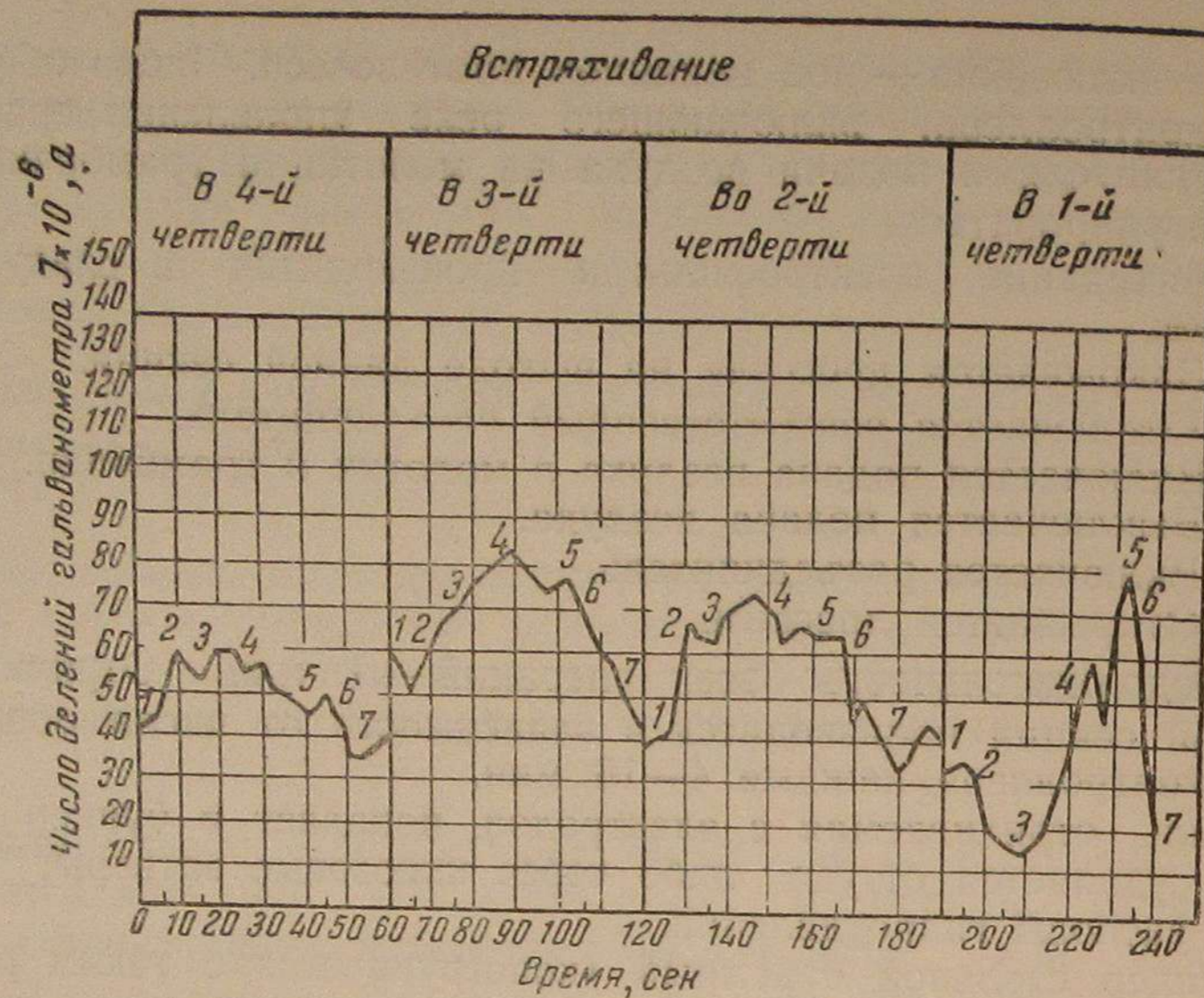


Рис. 90. Влияние скоростного толчка на степень улавливания

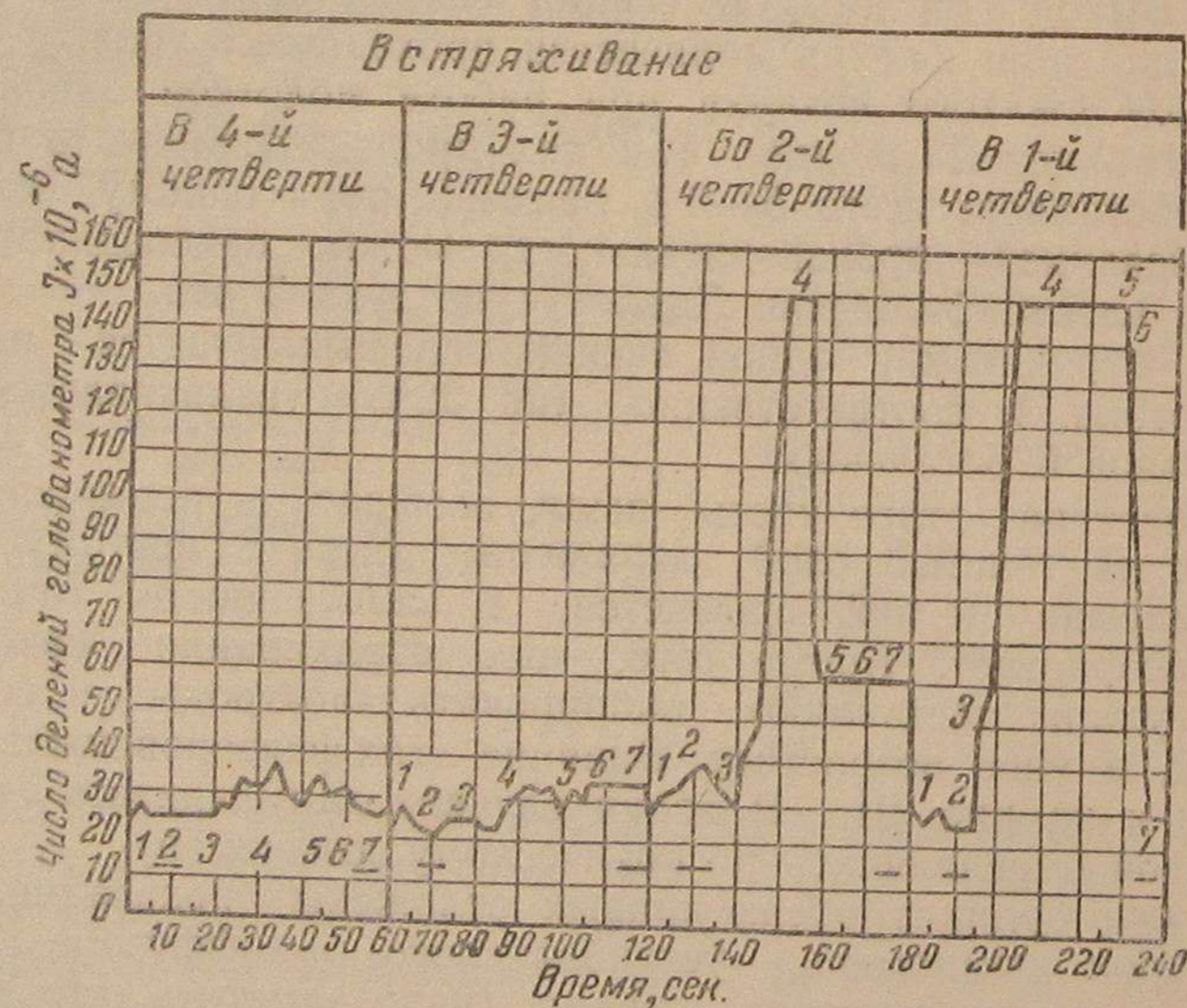


Рис. 91. Влияние вибрации на степень улавливания

При снятии первой кривой подача воздуха к молоткам и трамбовкам была закрыта, и открывались и закрывались только дроссели. Дроссель закрывался в момент 3 и открывался в момент 6. Как видно из этих кривых, влияние скоростного толчка невелико. Влияние же вибрации сильно сказывается на смежной секции.

Эти испытания проводились при улавливании золы от сжигания тощего угля в аппарате ДВ. Этот аппарат более старой конструкции отличался от ДВМ наличием стального диффузора и менее жесткой подвеской, вследствие чего влияние вибрации сказывалось более.

При содержании в уносе большого количества недожога, а также при необходимости достижения малой конечной запыленности газов необходимо перед электрофильтром установить предварительный грубый пылеуловитель.

Аппарат типа ДВП

На рис. 92 изображен оригинальный комбинированный золоуловитель треста Газоочистка типа ДВП. Он скомбинирован из батарейного циклона с диаметром элементов, равным 250 мм, и вертикального электрофильтра с карманными электродами. Соединение обоих аппаратов в одно целое вызвано желанием уменьшить размеры установки в плане, что особенно важно для котельных, расположенных в крупных городах на стесненных площадках, уменьшением сопротивления и удешевлением комбинированного аппарата.

Аппарат состоит из двух самостоятельных секций.

В нижней части каждой секции установлено 236 элементов батарейного циклона и над ними — электроды электрофильтра. Электрофильтр и батарейный циклон в каждой секции имеют отдельные бункеры с отдельными затворами. Входной газопровод проходит через бункеры, и по нему грязный газ попадает в среднюю щель батарейного циклона и разветвляется в две стороны, опускаясь в кольцевые щели элементов циклонов. Пройдя батарейный циклон, газ попадает в электрофильтр. Площадь сечения каждой секции электрофильтра 20 м². При скорости газа в электрофильтре в 1,75 м/сек его производительность равна 70 м³/сек. Активная длина коронирующих электродов в одной секции 4400 пог. м. Расстояние между осями осадительных электродов 350 мм. Сопротивление батарейного циклона 30 мм вод. ст., электрофильтра 10 мм и суммарное сопротивление 40—45 мм вод. ст.

Зола, уловленная в батарейном циклоне, выпадает в бункеры А, а попавшая при встряхивании во внутреннюю щель осадительных электродов — сваливается в желоба В и оттуда

спускается по течкам Г в свой бункер Б, минуя батарейный циклон.

На входе и выходе секций установлены затворы.

Устройство осадительного электрода видно из рис. 93.

Оно состоит из отдельных горизонтальных элементов 1, каж-

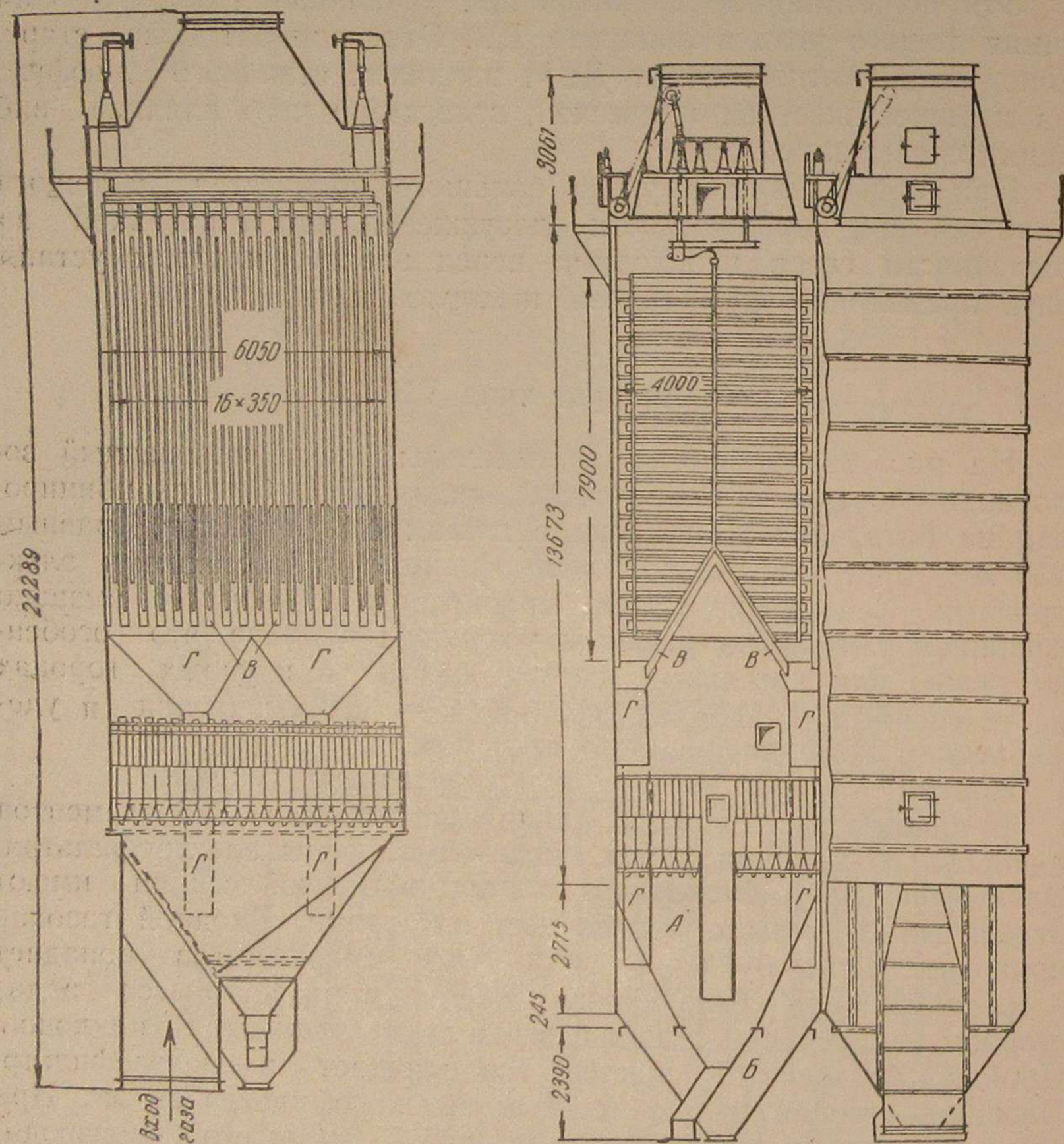


Рис. 92. Электрофильтр типа ДВП

дый склепан из двух листов. Верхние два листа 2 соединены друг с другом жестко и опираются краями на балки аппарата. К этим листам крепится неподвижная труба 3 и швеллер 4. На этой трубе и швеллере висят осадительные элементы. К трубе они крепятся на зашплинтованных штырях,

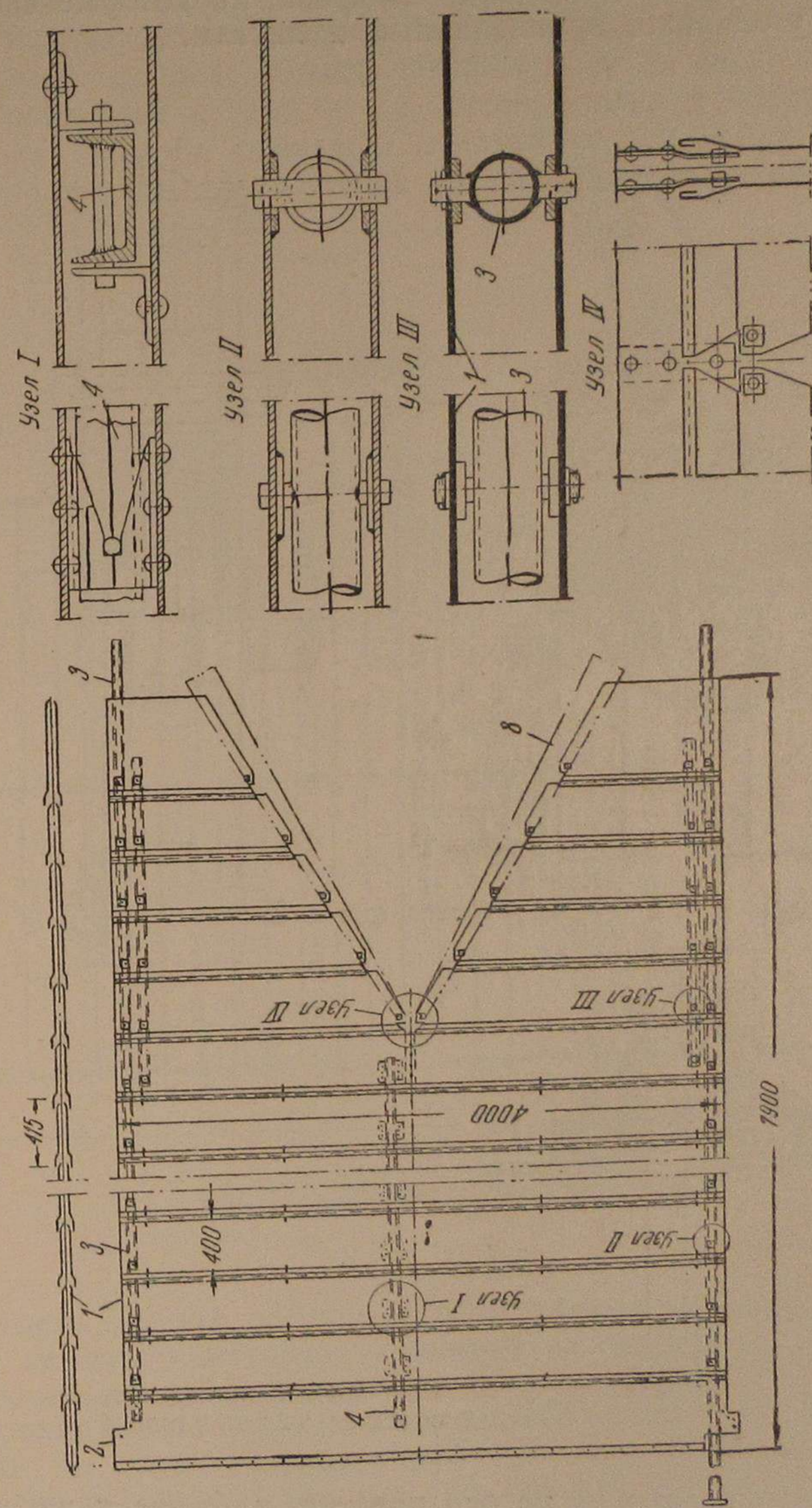


Рис. 93. Осадительные электроды

приваренных к трубе, так что листы могут вращаться вокруг штырей. К швеллеру приварены штырьки, на которые свободно опираются угольники, приклепанные к листам.

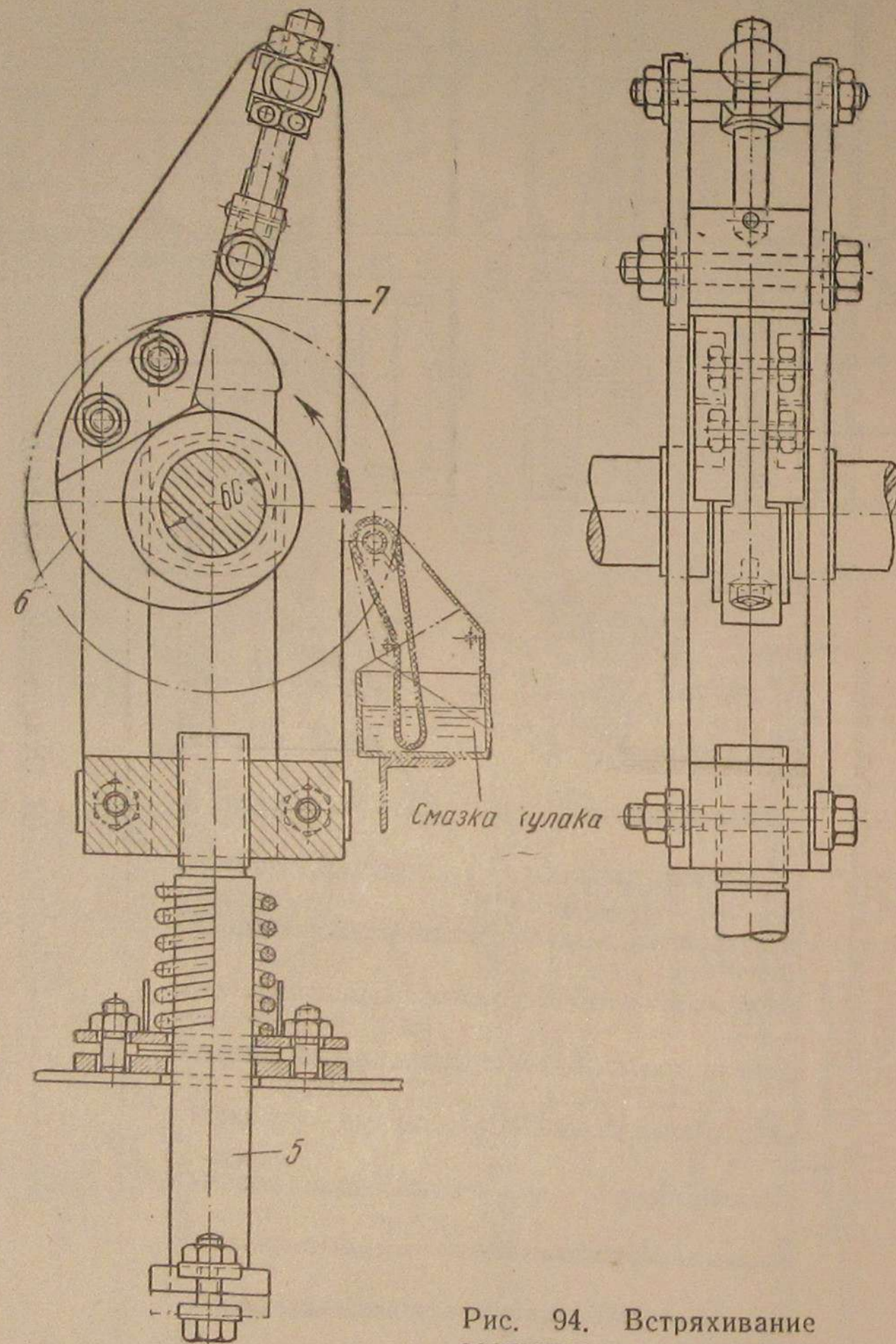


Рис. 94. Встряхивание осадительных электродов

Швеллер проходит не по оси пластин, а ближе к неподвижной трубе 3. С другой стороны листы крепятся к такой же трубе, соединенной со штангой механизма встряхивания. Эта штанга 5 (рис. 94) висит свободно на пружине. По мере вращения кулака 6 штанга 5 поднимается и поднимает края

всех листов, снимая их со штыря швеллера 4 (см. рис. 93). При срыве кулака с ползуна 7 все листы падают, и их середины ударяются по штырям на швеллере 4. Зола при этом сваливается в щель между листами и, не попадая в газовый поток, поступает в желоба 8, подвешенные к нижним краям электрода (желоба показаны пунктиром). Пружина на штанге смягчает удар. Положение ползуна, а следовательно высо-

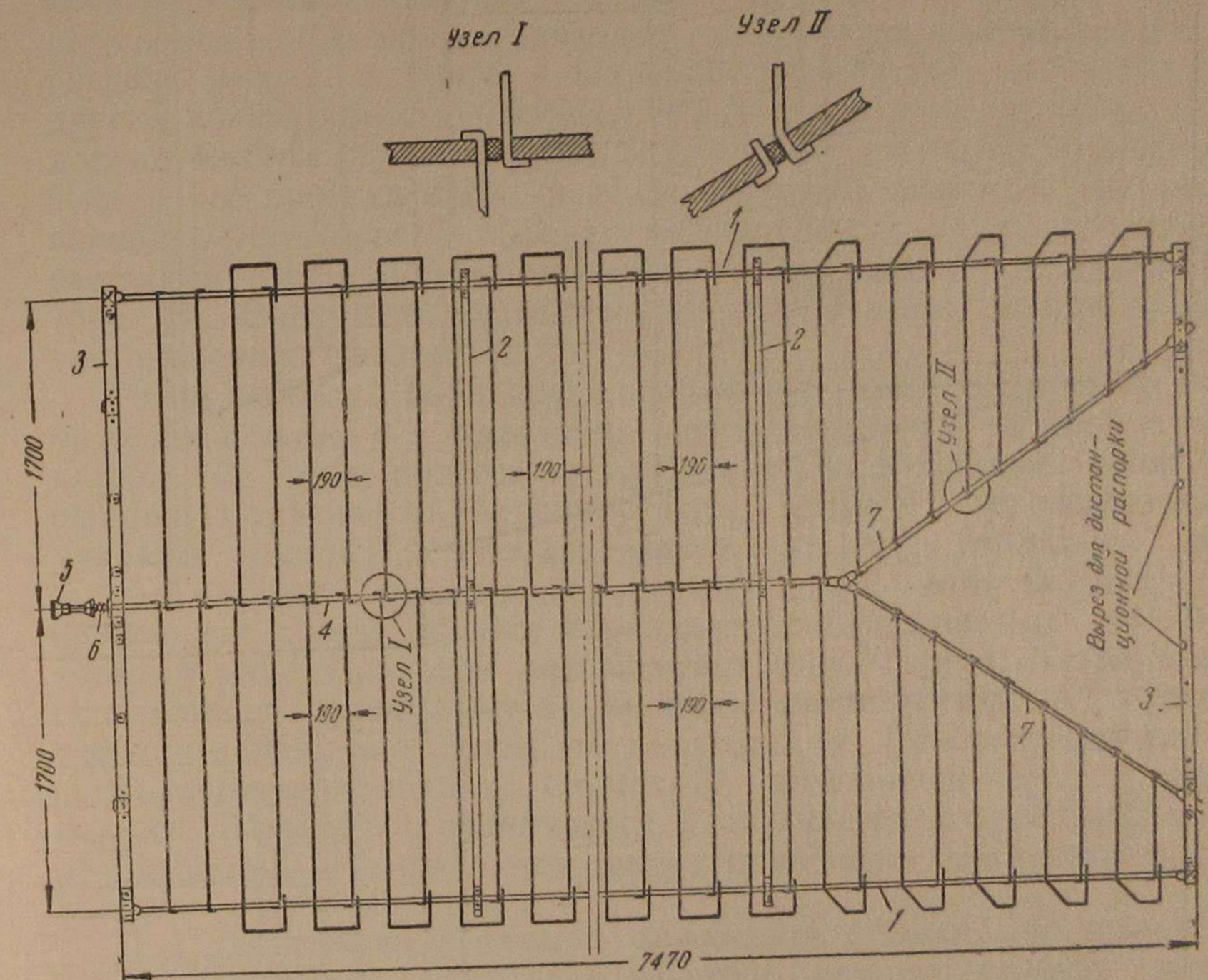


Рис. 95. Коронирующие электроды

та подъема, может регулироваться гайками. Кулаки (по одному на каждую пластину) укреплены на одном валу вразбежку, так что электроды отряхиваются по очереди.

Коронирующие электроды рамного типа (рис. 95). Рама состоит из двух газовых труб (19 мм) 1, связанных друг с другой двойными полосами (35 × 6 мм) 2 и сверху и снизу двойными полосами (60 × 10 мм) 3.

По оси рамы между полосами свободно проходит труба 4. Для предупреждения отклонения этой трубы от оси рамы поло-

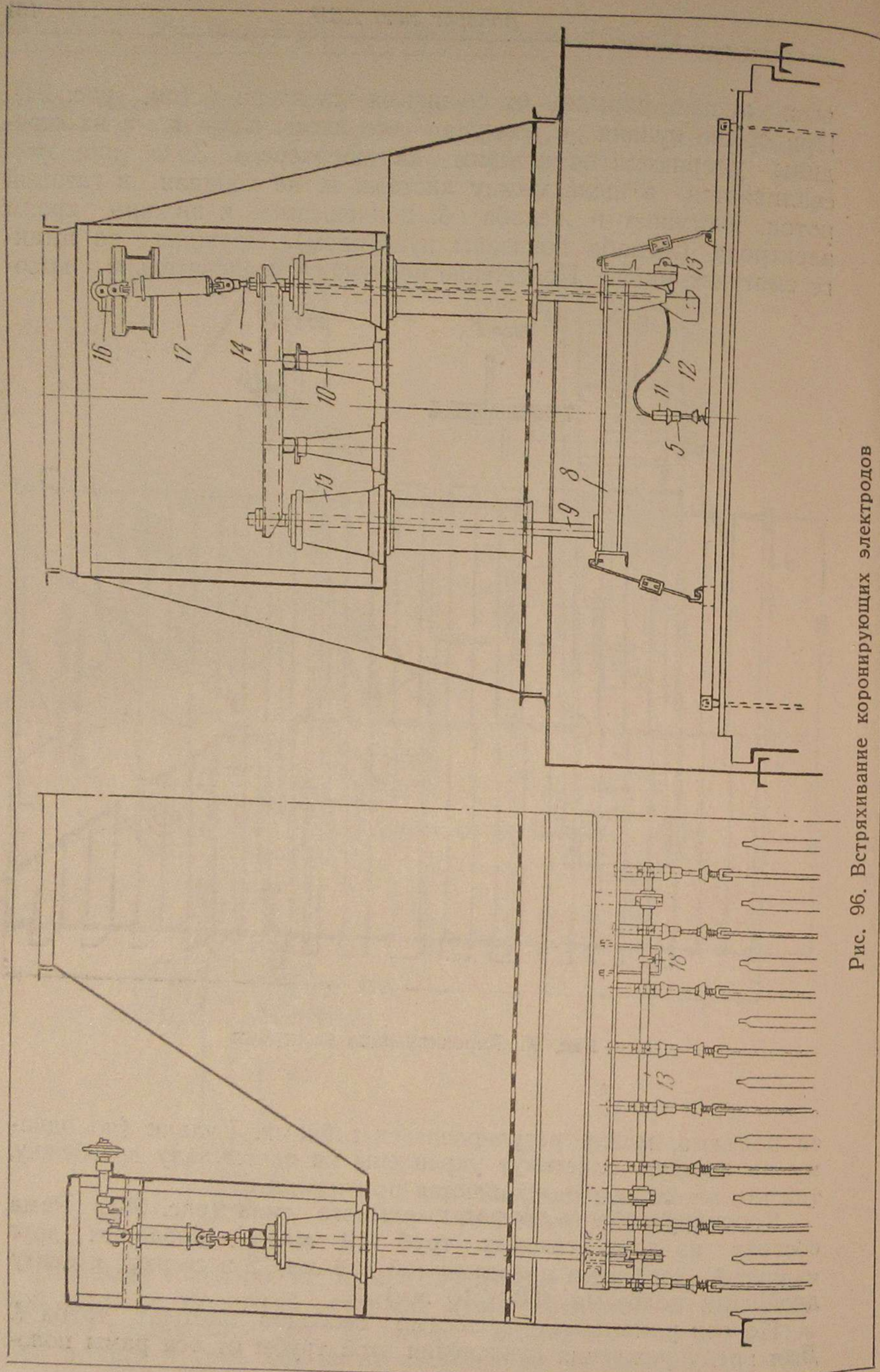


Рис. 96. Встряхивание коронирующих электродов

сы по обе стороны трубы схвачены болтами на прокладках. Сверху трубы 4 укрепляется наковальня 5. Труба 4 опирается на полосы 3 через пружину 6.

Коронирующие провода из квадратного железа 4×4 мм. Грани квадрата имеют форму вогнутых лунок. Провода натянуты горизонтально на расстоянии 190 мм один от другого. Для этого в трубах 1 и 4 проделаны отверстия. В трубе 4 провода крепятся по два в одном отверстии и между ними загоняется клин. Концы проводов загибаются, как указано на рисунке. Внизу к трубе 4 шарнирно крепятся две трубы 7, другие концы которых свободно проходят между нижними полосами 3. При ударе молотка о наковальню 5 труба 4 дергает быстро все провода вниз и столь же резко отпускает их под влиянием пружины 6. Каждая коронирующая рама подвешивается на тягах к раме подвеса коронирующих электродов 8 (рис. 96). Внизу все коронирующие рамы связаны между собой дистанционной распоркой.

Рамы подвеса коронирующих электродов подвешены на трубчатых тягах 9 к балочкам, опирающимся на опорные изоляторы 10. Трубы подвеса пропущены через проходные изоляторы 15. Отряхивание коронирующих проводов производится ударами молотка 11 по наковальне. Молотки укреплены на гибкой плоской пружине 12, другой конец которой жестко прикреплен к валу 13. Вал периодически поворачивается на некоторый угол. При этом все молотки поднимаются. Затем вал отъединяется (расцепляется) от подъемного механизма и все молотки падают и ударяют по наковальням. Поворот вала осуществляется при подъеме штанги 14, проходящей через трубу подвеса. Штанга 14 поднимается и опускается кривошипом через изолятор 17. Вращается шатун приводным механизмом от мотора.

При достижении верхнего положения штанги, ее нижний конец отцепляется от вала и молотки падают, приводя вал в первоначальное положение. Для ограничения удара установлен амортизатор 18. Подобный аппарат при улавливании золы из дымовых газов при пылевидном сжигании тощего угля дал очень хорошие показатели. Из трубы идет небольшой дымок, рассеивающийся в двух десятках метров от устья трубы.

При работе такого аппарата без батарейного циклона следует устанавливать внизу распределительную решетку.

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ СМОЛЫ ИЗ ГЕНЕРАТОРНОГО И КОКСОВОГО ГАЗА

Электрофильтры для очистки генераторного газа от смолы принципиально мало отличаются от описанных. Корпус и все части изготовляются из стали. При работе на молодых углях или торфе смола кислая. В этих случаях корпус аппарата футеруется деревом. Подвес коронирующих электродов изготовляется так же, как в аппаратах типа М на масляных затворах. Так как в этом случае выброс масла из затворов особенно недопустим из-за взрывоопасности газа при подсосе воздуха через опустевший затвор, их иногда выполняют по рис. 97. Здесь изолятор прямо залит маслом. Изоляторы выбираются с юбками. В масло помещены змеевики для обогрева. При нагреве вязкость масла уменьшается и попавшие в него частицы смолы и воды быстрее осаждаются на дно. Кроме того, если помещение, в котором установлены затворы, не отапливается, то вода, осевшая в затворе, может замерзнуть. При этом удельный вес льда становится почти равным удельному весу масла, льдинки всплывают и, располагаясь на поверхности масла по силовым линиям, вызывают пробой между колпаком и стенкой затвора. В этом случае включают паровой обогрев.

На рис. 97 изображен аппарат с подвесом рамы в двух точках. В одном подвесе установлен штыревой изолятор на 35 кВ, в другом — проходной типа ПРБ. Через последний в аппарат подается ток. Под проходным изолятором в одной с ним коробке установлена концевая кабельная муфта. Смоляные электрофильтры снабжаются взрывными предохранительными клапанами. Необходимо следить в работе за их герметичностью. Смоляные электрофильтры могут быть пластинчатыми и трубчатыми. Каждый электрофильтр должен быть снабжен свечей для продувки газом перед включением.

Не допускается, как правило, работа аппарата под разрежением, и поэтому установка должна быть оборудована автоматом, отключающим ток от электрофильтра при понижении давления в нем. По этой же причине при остановке дутьевого вентилятора газогенератора должен автоматически отключаться хвостовой вентилятор.

После электрофильтров обычно устанавливаются скрубберы для охлаждения газов и конденсирования из них воды. Если газ далее идет на разводку по трубам малого диаметра и если в газе имеются, помимо высококипящих смол, также масла, то устанавливается после скрубберов вторая ступень электрофильтров. Электрофильтры, устанавливаемые для улавливания смолы из коксового газа, ничем не отличаются от описанного.

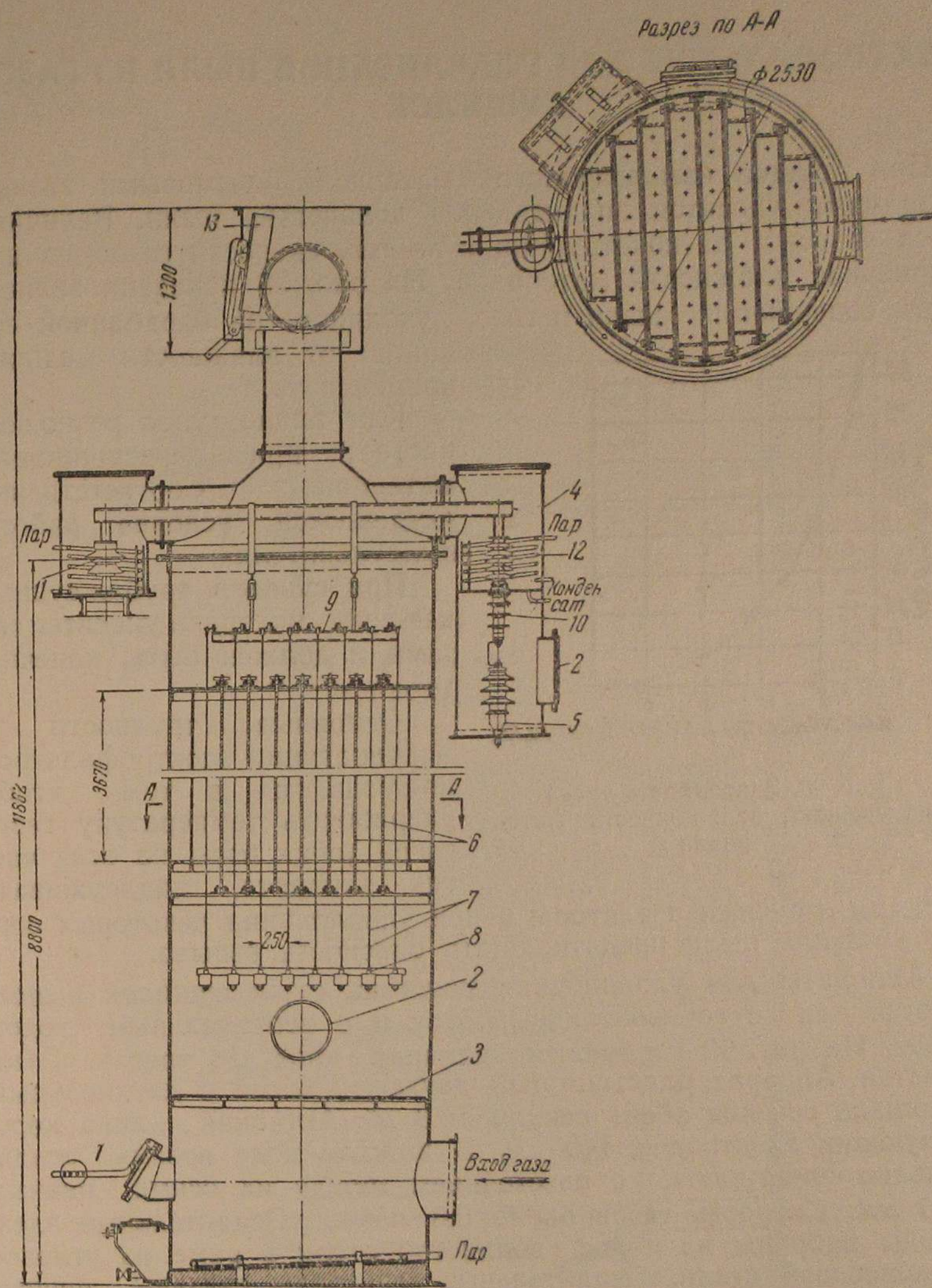


Рис. 97. Электрофильтр для улавливания смолы
Площадь сечения (активная) 3,37 м². Длина коронирующих электродов 288 м.

1 — взрывной клапан; 2 — люк; 3 — распределительная решетка; 4 — масляная изоляторная коробка; 5 — концевая кабельная муфта; 6 — осадительные электроды; 7 — коронирующие электроды; 8 — нижняя рама и грузы; 9 — верхняя рама; 10 — проходной изолятор ПРН35; 11 — штыревой изолятор; 12 — змеевик для пара; 13 — колокольный затвор

ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ПЫЛИ ИЗ ГАЗОВ СУШИЛОК

При сушке измельченного материала дымовыми газами последними уносятся значительное количество пыли. Величина уноса зависит от конструкции сушилки, скорости газов в ней и конечной влажности материала. На рис. 98 показана зависимость содержания пыли в газе, уходящем из барабанной сушилки от влажности медного концентрата.

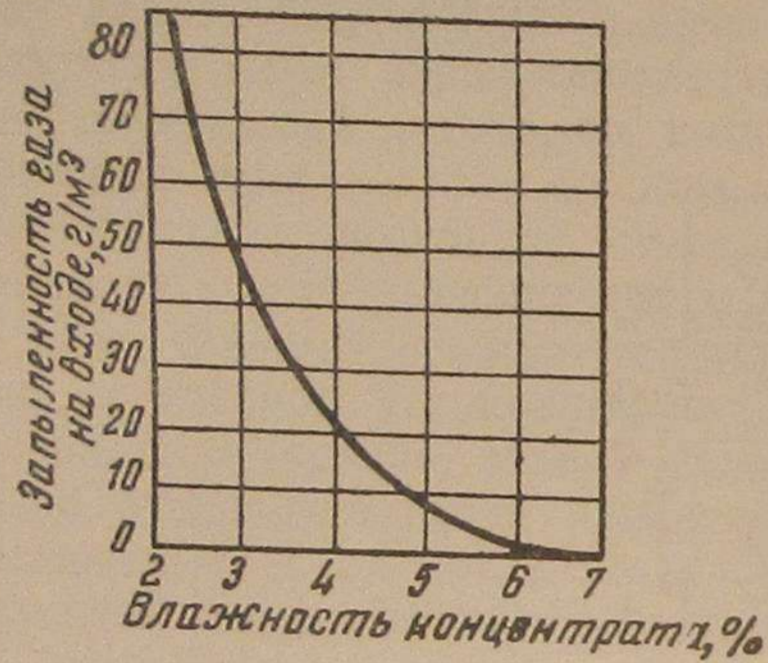


Рис. 98. Зависимость уноса из сушилки от влажности материала

Как видно, унос резко возрастает при пересушивании материала. Соответственно ухудшаются условия работы пылеуловителя.

При сушке в трубах-сушилках весь материал уносится газами и должен быть, конечно, уловлен.

Основные трудности в эксплуатации электрофильтров заключаются в том, чтобы удерживать температуру газов выше точки росы во всех частях аппарата, поддерживать

чистыми и сухими изоляторы и при улавливании некоторых сортов угольной пыли предотвращать опасность взрыва.

Аппараты для улавливания пыли из газов сушилок выполняются как с горизонтальным, так и с вертикальным ходом газов. На рис. 99 изображен аппарат типа Ц8 треста Газочистка. Аппарат пластинчатый двухсекционный и двухполюсный. Площадь сечения обеих секций $14,9 \text{ м}^2$. Активная длина коронирующих электродов 1400 м . В каждом поле восемь осадительных электродов, с расстоянием между их осями равным 300 мм . Скорость газов около $0,8 \text{ м/сек}$. Осадительные электроды набраны из полос волнистой стали в раме из угловой и полосовой стали. Осадительные электроды связаны перпендикулярной тягой, выступающей за стенку железобетонной камеры аппарата. По выступающим концам ударяют молоты, приводимые от мотора и редуктора через цепную передачу. Подвешены осадительные электроды к верхним железобетонным балкам корпуса.

В отличие от ранее описанных аппаратов для подвески коронирующих электродов применяются трубчатые рамы, расположенные между осадительными электродами и подвешенные

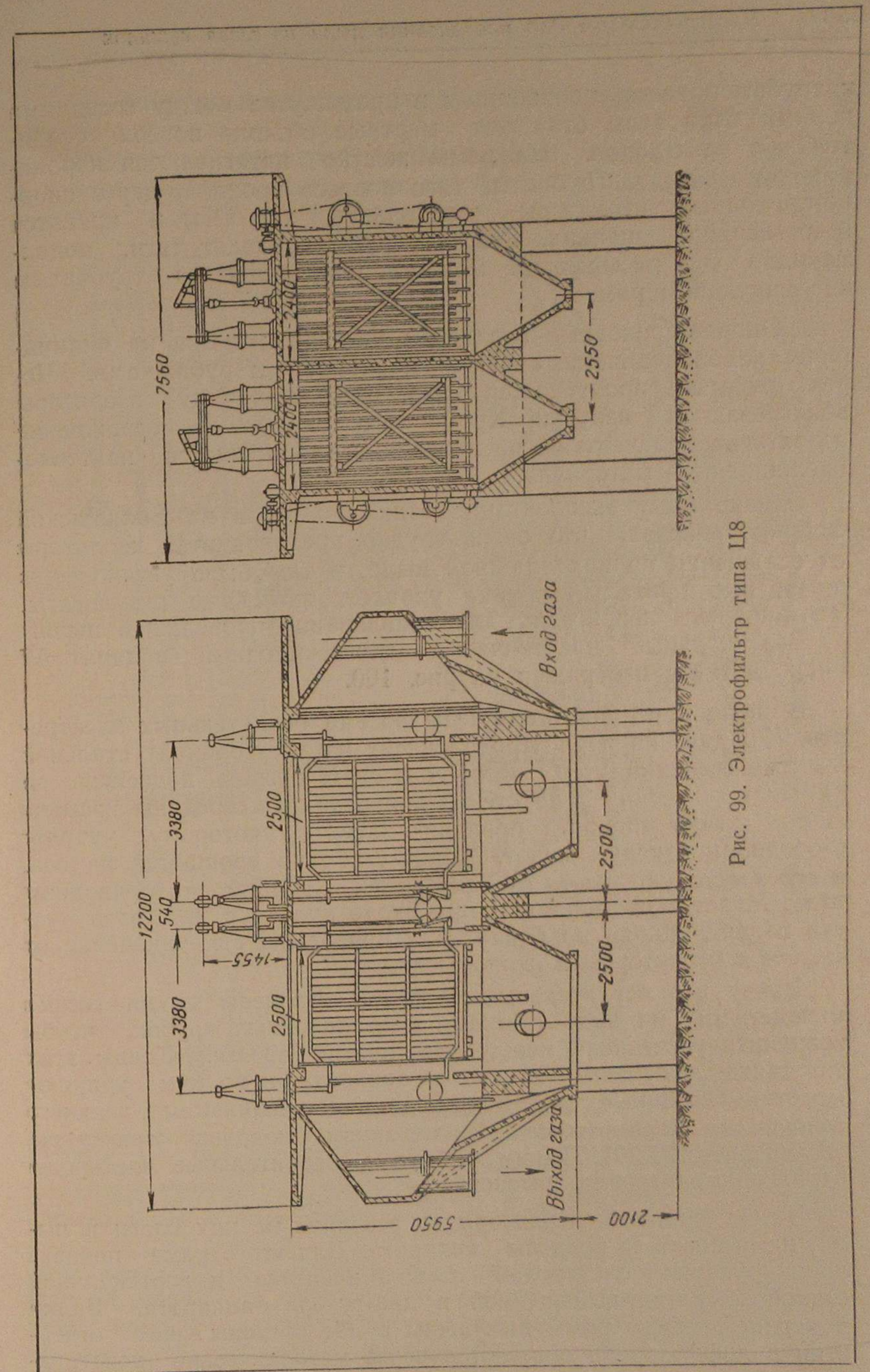


Рис. 99. Электрофильтр типа Ц8

к трубам подвеса, проходящим в промежутке между соседними полями. При этом отпадают мертвые объемы поверх осадительных электродов. На рамы жестко натягиваются коронирующие провода. Трубчатые тяги подвеса проходят через опорно-проходные изоляторы (специальный тип ОП) и крепятся в их верхних шапках. Сквозь трубы проходят тяги, поднимающие и сбрасывающие молотки, ударяющие по трубчатым коронирующим рамам.

Опорно-проходные изоляторы устанавливаются на цилиндрические барабанчики, снабженные паровыми рубашками. Через рубашки пропускается пар, благодаря чему изоляторы подогреваются изнутри. Кроме того, наружное ограждение изоляторов (на чертеже не показаны) изготавливается из теплоизоляционного материала.

Однако опыт эксплуатации этих аппаратов на Балхашской фабрике показал, что очень трудно предохранить изоляторы от осаждения на них влажной пыли, и там были установлены кварцевые проходы, давшие удовлетворительные результаты. Эти аппараты непригодны для улавливания проводящей пыли.

Вертикальный пластинчатый двухсекционный аппарат А7 Гипроцветмета изображен на рис. 100.

В каждой секции подвешены восемь осадительных электродов. Каждая пара электродов висит на треугольной стальной косынке, верхний угол которой в свою очередь подвешен за тягу к кронштейну на стенке аппарата. Из середины косынки через стенку аппарата пропущен боек, по которому ударяет свободно падающий молот. Молот свободно вращается на оси, и его хвостовую часть отводит кулак, сидящий на приводном валу. Молот поднимается и при сходе кулака с хвостовой части падает, ударяя по бойку. Вал приводится во вращение от мотора с редуктором и цепной передачей.

Внизу все осадительные пластины схвачены двумя тягами с надетыми на них отрезками дистанционных трубок, чтобы сохранить расстояние между пластинами 250 мм. Концы этих тяг также выпущены за стенку аппарата, и по ним ударяют молотки связанные тягами с обгонным механизмом верхнего приводного вала (обгонный механизм подобен такому же в аппарате ГК30). Таким образом, осадительные электроды отряхиваются весьма интенсивно.

Чтобы защитить изоляторы от оседания на них влаги и пыли, их выносят за пределы аппарата. Для этого рама подвеса коронирующих электродов жестко крепится к вертикальной стальной раме, помещенной в диффузоре аппарата. Балки в верхней части рамы выпущены в обе стороны через отверстия в диффузоре и опираются через металлические конструк-

ции на опорные изоляторы, установленные на кронштейнах на стенке аппарата.

Диффузоры электрофильтра выходят из крыши здания, а изоляторы стоят внутри здания. Чтобы на изоляторы не попа-

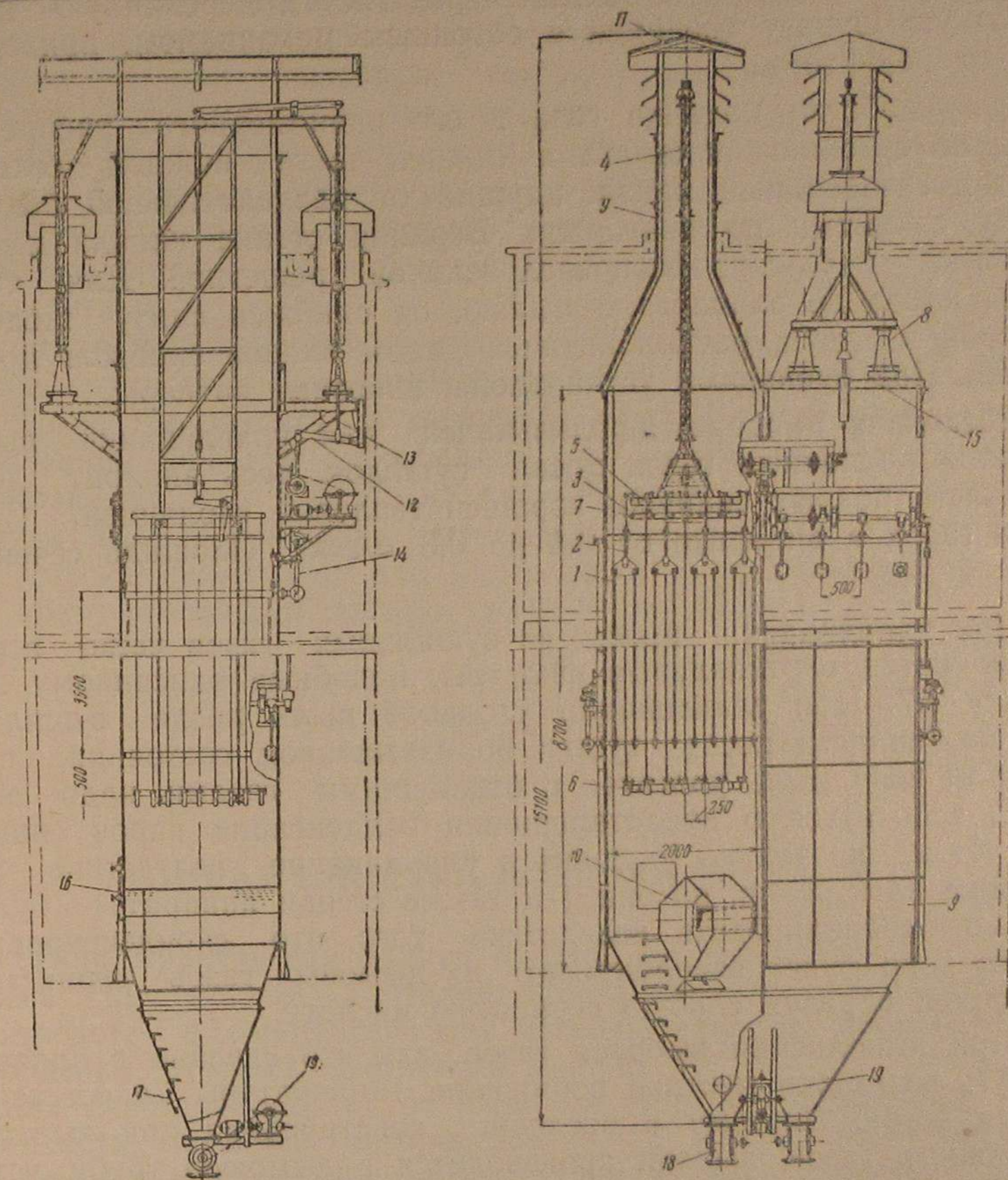


Рис. 100. Электрофильтр типа А7:

1 — осадительный электрод; 2 — подвес осадительного электрода; 3 — коронирующие электроды; 4 — подвес коронирующих электродов; 5 — верхняя рама коронирующих электродов; 6 — нижняя рама коронирующих электродов; 7 — рамка встряхивания; 8 — опорные изоляторы; 9 — корпус; 10 — ввод газа — распределительная решетка; 11 — выхлоп газа; 12 — рычаг встряхивания; 13 — тяга-изолятор; 14 — молотки встряхивания; 15 — опора изоляторов; 16, 17 — люки; 18 — шлюзовой затвор; 19 — привод

дали атмосферные осадки и пыль, могущая выбиваться из отверстий диффузора, они закрыты сверху колпаком. Для отряхивания коронирующих электродов под основной рамой подвеса находится вторая рамка, подвешенная к первой на цепочках.

Эта рамка, к которой привязаны коронирующие провода, отводится коленчатым рычагом, по которому ударяет падающая штанга. При каждом ударе провода отряхиваются. Подъем штанги производится коромыслом, укрепленным в вершине рамы. Другой конец коромысла через тягу и деревянную изолирующую штангу соединен с обгонным механизмом, приводимым от редуктора.

Для удобства подвода газа и его равномерного распределения по сечению аппарата в нижней части каждой секции имеется газопроводный канал, идущий от разделительной стенки между секциями по диагонали. Верхняя стенка канала имеет отверстия и служит распределительной решеткой. Для того чтобы канал не заваливало пылью, он снабжен снизу щелью. Каждый из двух, расположенных рядом входов снабжен дросселями. Под бункерами установлены шлюзовые затворы.

Поскольку аппарат предназначен для улавливания пыли из сильно влажных газов после сушилок, весь аппарат должен быть покрыт снаружи хорошей тепловой изоляцией. Скорость газов в аппарате от 0,4 до 0,8 м/сек. Площадь сечения 7 м².

При улавливании пыли из сушильных газов чаще всего применяются вертикальные фильтры, подобные описанному аппарату А7. При улавливании угольной пыли после сушилок, а в особенности после сушки во взвешенном состоянии, при котором вся пыль уносится с отходящими газами, надо всячески заботиться о предотвращении конденсации паров воды. При этом не только ухудшится улавливание вследствие залипания электродов, но они (а также стенки аппарата) будут сильно корродировать вследствие того, что сконденсировавшаяся вода будет абсорбировать из дымовых газов сернистый ангидрид, образуя слабую сернистую кислоту.

При выполнении выброса газов, как это сделано в аппарате А7, возможно местное понижение температуры из-за задувания ветра. Поэтому в последних конструкциях при высокой влажности газов выхлоп производится в дымовую трубу, установленную на аппарате. В этом случае изоляторы не выносятся полностью наружу, а продуваются подогретым воздухом для предупреждения оседания пыли на них.

При улавливании угольной пыли должны быть предусмотрены специальные устройства для возможности быстрой промывки аппарата водой. Удаление пыли должно быть так выполнено, чтобы бункер был всегда пустым и не было самовозгорания пыли в нем. Учитывая проводимость пыли, аппараты часто снабжают карманными электродами, подобно устанавливаемым в описанных аппаратах типа ДВП.

Возможность взрыва угольной пыли в электрофильтре определяется качеством угля, крупностью помола и содержанием паров воды в газе. При случайном прекращении подачи угля в сушилку влажность газов резко падает, и опасность взрыва увеличивается. Так как при этом повышается и температура газов, то в электрофильтре устанавливается автомат, выключающий ток при повышении температуры газа сверх определенного предела. При дальнейшем повышении температуры автоматически включается подача воды, а в некоторых случаях и пара. Особенно опасны моменты пуска и остановки электрофильтра. При сушке каменного угля опасность взрыва весьма невелика, причем она сильно увеличивается при сушке молодых бурых углей.

Электрофильтры для сушки угля должны быть так выполнены, чтобы в них не было никаких выступающих частей, где могла бы оседать и задерживаться угольная пыль. Перед включением фильтра он должен быть продут паром, а после остановки промыт водой из установленных в нем форсунок. Выпуск пыли из бункера производится шлюзовым затвором. Для спуска промывных вод устанавливается в бункере спускной кран, отводящий грязную воду в отстойник.

ТОНКАЯ ОЧИСТКА ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

Тонкая, практически полная очистка воздуха от пыли необходима при подаче вентиляционного воздуха в помещения производств фармацевтической промышленности, производства фотопленки, ртутных подстанций и т. д.

Для очистки воздуха от пыли на 90% при начальной запыленности, лежащей в пределах 4—20 мг/м³, применяются аппараты, в которых ионизация газа и зарядка пылинок производятся отдельно от ее осаждения. Принцип работы таких аппаратов уже был описан ранее.

На рис. 101 изображен общий вид такого аппарата, разработанного трестом Газоочистка. Аппарат этот (тип РИОН) представляет стальную коробку, склепанную из листа 0,5 мм на каркасе из угловой стали. Снизу имеется сварной бункер 1, куда залито масло и где собирается пыль. Избыток масла стекает в карман 2. Со стороны входа газа, огражденной сеткой как для защиты от случайного прикосновения, так и для задержания крупных частиц, установлена ионизационная систе-

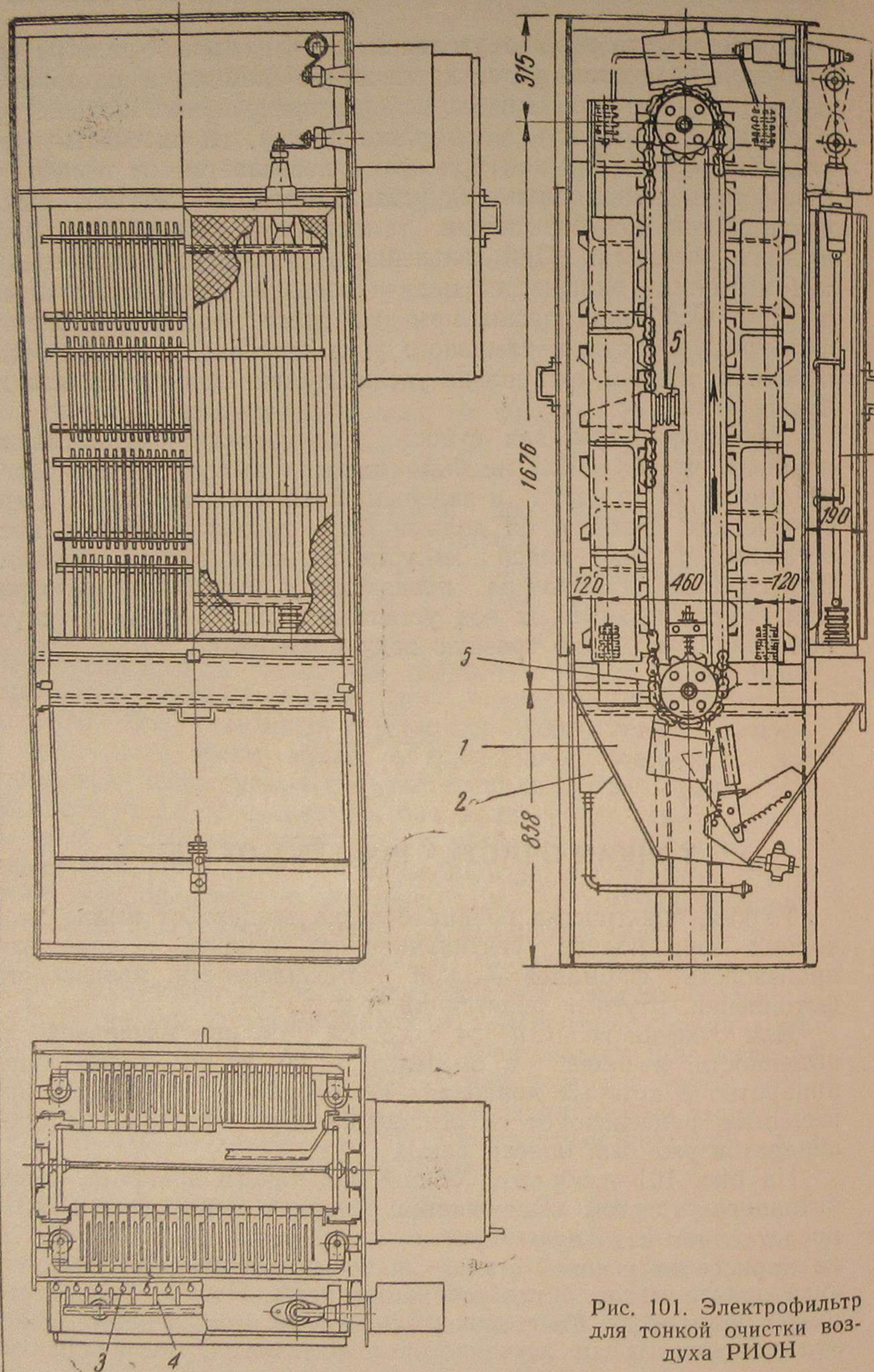


Рис. 101. Электрофильтр для тонкой очистки воздуха РИОН

ма, состоящая из заземленных труб 3 обтекаемой формы и размещенных между ними коронирующих проводов 4.

Диаметр (ширина) трубки 20 мм. Шаг трубок 69 мм. Диаметр коронирующего вольфрамового провода 0,2 мм. Провода крепятся на пружинках к раме, установленной на изоляторы. Для предотвращения колебания проводов они крепятся в нескольких точках по высоте. Напряжение между проводом и трубками 13 кв.

Осадительная часть аппарата состоит из двух систем пластинок, параллельных друг другу. Одна система неподвижна и изолирована от корпуса. Другая, состоящая из пластин, заходящих в промежутки первой, крепится к двум цепям Галля, натянутым между двумя парами звездочек. Пластины изготовлены из листовой стали толщиной 1,5 мм. Подвижные пластины собраны в пакеты, снабженные с каждого конца двумя пальцами. Этими пальцами пакеты крепятся посредством скоб к звеньям цепей. В одной скобе ввиду изменения расстояния между ними при огибании звездочек палец крепится свободно.

При вращении верхнего приводного вала пластины подвижной системы медленно продвигаются в промежутках пластин неподвижной. Расстояние между подвижной и неподвижной пластиной 7,5 мм. Напряжение между пластинами 6 кв.

В системе подвижных пластин пропущен один пакет, и вместо него к цепям скобами крепятся изоляторы 5. К этим изоляторам крепятся щетки, скользящие по изолированным от корпуса неподвижным пластинам, стирающие с них осевшую пыль и наносящие слой масла. В бун-

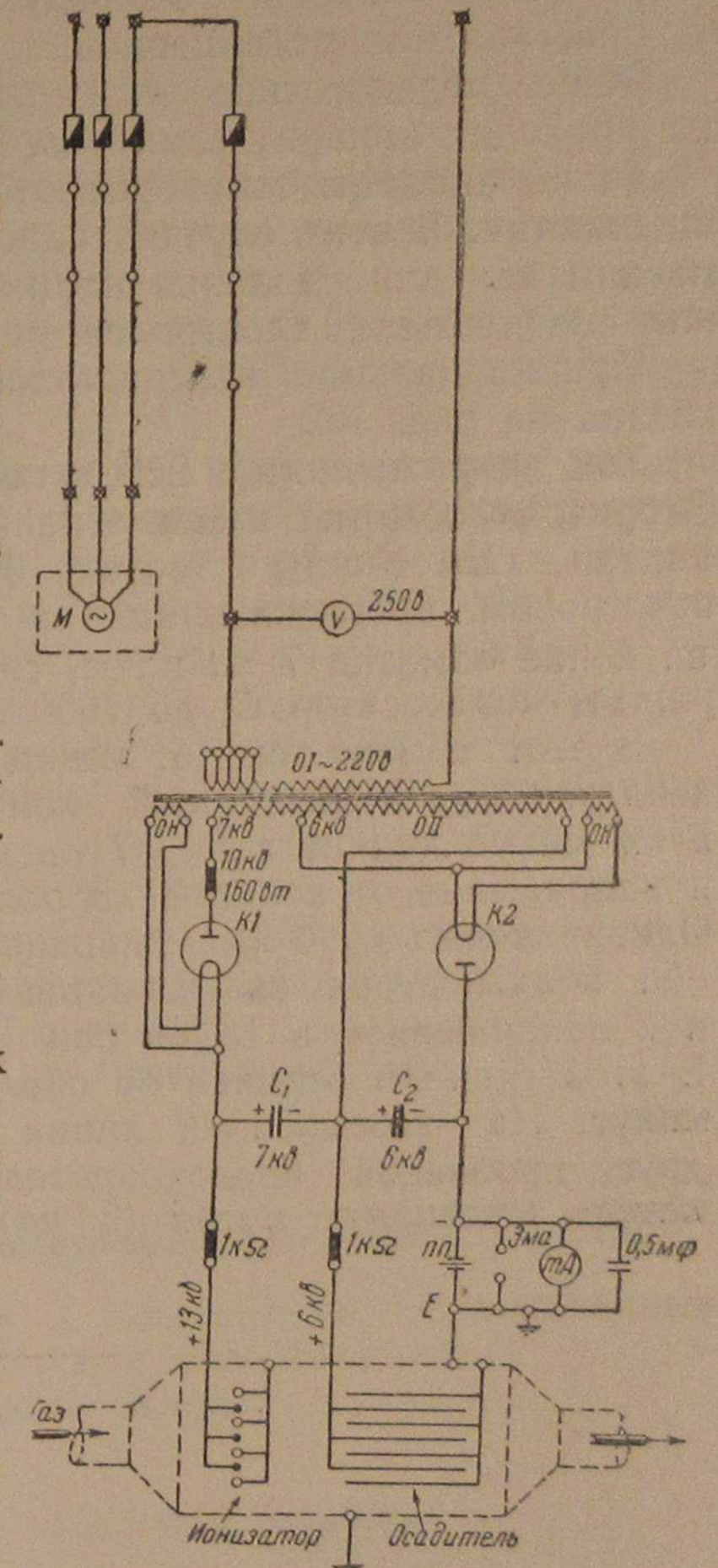


Рис. 102. Электрическая схема РИОН

жерере установлена другая система щеток, снимающая пыль с подвижных пластин.

Привод осуществлен от мотора 0,4 ква с числом оборотов 1400 в минуту. Ременной передачей с отношением 1:2,4 он приводит во вращение двухчервячный редуктор с передаточным числом 1:3600. От редуктора приводится во вращение верхний вал аппарата цепной передачей с отношением 1:5,4.

Общее передаточное число равно 47 000. За сутки пластины проходят аппарат семь раз.

Такие аппараты изготавливаются и с неподвижными системами пластин. В этих случаях пластины периодически обмываются маслом как для удаления налипшей пыли, так и для смачивания осадительных электродов.

Принципиальная электрическая схема такого аппарата показана на рис. 102.

Ток напряжением в 220 в подается на первичную обмотку. Вторичная обмотка имеет отпайки на 6 и 7 кв и две обмотки накала ОН. Концы обмоток 6 и 7 кв присоединены к двум кенотронам, пропускающим ток только в одну сторону. Когда на конце обмотки 7 кв плюс, ток идет через кенотрон K_1 и заряжает конденсатор C_1 до 7000 в.

В этот момент ток от конца 6 кв не может пройти через кенотрон K_2 . В следующий полупериод, когда на концах 7 и 6 кв минус, ток от конца 7 кв не может пройти кенотрон K_1 , а напряжение от конца 6 кв попадает на пластины осадителя. Одновременно до 6 кв заряжается конденсатор C_2 . При этом оба конденсатора оказываются включенными последовательно и с напряжением в 13 кв они разряжаются через ионизатор. В этой схеме в отличие от обычных электрофильтров заземлен минус. На заземленной линии включены параллельно друг другу пробивной предохранитель ПН, миллиамперметр, замыкатель миллиамперметра (3 ма) и конденсатор.

ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Хорошая работа установки электрофильтров возможна лишь при том условии, что обслуживающий установку персонал хорошо знает ее особенности, умеет во-время обнаружить и устранить неисправности и точно соблюдать правила технической эксплуатации. Весьма важно добиться заботливого, хозяйского отношения к аппаратуре, не допускать даже малейших отклонений от эксплуатационных инструкций.

Необходимо требовать, чтобы любая неисправность машины или аппарата, даже если она допускает возможность продолжения работы, была немедленно устранена. В противном случае контроль над работой всей установки может быть утерян, появляется опасность для обслуживающего персонала и возрастает степень износа оборудования.

В настоящем разделе излагаются правила обслуживания подстанций электрофильтров и некоторых электрофильтров, а также описываются наиболее часто встречающиеся неисправности оборудования и способы их устранения. Подробно даются правила обслуживания сухих электрофильтров типа ХК45 и ГК при очистке горячих газов, содержащих серный ангидрид, как требующих наиболее квалифицированного ухода.

В применении к улавливанию пыли из газов, требующих предварительной подготовки, эти правила должны быть дополнены в соответствии с местными условиями.

Правила обслуживания других типов электрофильтров даны в кратком виде, и при составлении на месте инструкции она должна быть дополнена общими пунктами, изложенными в разделе, описывающем обслуживание аппаратов типа ХК и ГК.

А. Правила обслуживания подстанций для электрофильтров

(Составлены применительно к подстанциям, оборудованным машинами типа ТУ производства Московского рентгеновского завода)

Правила пуска и остановки машины

а. Начальное положение установки электрофильтров перед включением машины

1. Рубильники центрального щита и рубильники и автомат щита машины выключены: высоковольтные линии заземлены; указатель положения коммутатора автотрансформатора стоит на первом делении.

2. Изоляторы высоковольтных подводящих линий к электрофильтрам или кабельных муфт, разъединителей, трансформаторов, а также лопасти креста выпрямителя протерты.

3. Шинная или кабельная высоковольтная подводка, питающая фильтр, заземлена с помощью разъединителей или переключателей.

4. Люки на электрофильтрах закрыты, двери ячеек и входы на площадки электрофильтров закрыты и заперты на замок.

5. За ограждениями и на линии нет людей и посторонних предметов.

б. Подготовка к пуску

1. Собрать схему высоковольтного питания электрофильтра, для чего:

- а) включить разъединители подключаемого электрофильтра;
- б) включить высоковольтный переключатель соответствующего фильтра и высоковольтной машины.

в. Пуск машины

1. Включить на щит машины напряжение с центрального щита подстанции.

2. Включить главный рубильник щита машины. При этом должна загореться зеленая лампа и начать вращаться мотор выпрямителя.

3. Включить неоновую лампу синхронизатора и в зависимости от характера свечения включить (повернув в то или другое положение) переключатель полярности.

Примечание. Неоновая лампа включается кратковременно (не более чем на 0,5 мин.)

4. Включить автомат повысительного трансформатора (при этом должна загореться красная лампа).

5. Включить миллиамперметр и постепенно вращением коммутатора автотрансформатора поднять напряжение до необходимой величины.

6. Выключить миллиамперметр и записать показания приборов в журнал.

г. Наблюдение за машиной во время работы

1. Следить за показаниями приборов и один раз в час производить запись их в журнал.

2. Следить за чистотой поверхности изоляторов трансформатора и лопастей креста и протирать их один раз в сутки; электрофильтр на время протирки необходимо переключить на резервную машину. При отсутствии резервных машин протирку можно производить реже в зависимости от условий рабо-

ты, запыленности и загазованности подстанции, приурочивая протирку к перерывам в подаче газа на очистку.

3. При ненормальной работе машины выключить ее и установить причину неисправности. В случае надобности включить резервную машину, записать об этом в журнал и сообщить начальнику смены.

4. При выпадении максимально-нулевого автомата снизить напряжение на трансформаторе поворотом штурвала коммутатора на два-три деления, после чего снова включить автомат и поднять напряжение до установленной величины.

д. Остановка машины

1. Выключить автомат.

2. Поставить коммутатор регулировочного автотрансформатора на первое деление.

3. Выключить главный рубильник.

4. Выключить высоковольтный переключатель, поворотом штурвала заземлить вывод выпрямителя.

5. При аварийном состоянии машины или несчастном случае выключить машину главным рубильником с последующим приведением приборов в предпусковое — начальное положение. Повесить табличку «не включать».

е. Переход на резервную машину

При неисправности рабочей машины, питающей электрофильтр, или при необходимости произвести на этой машине протирку креста выпрямителя, изоляторов и пр., электрофильтр следует переключить на питание током высокого напряжения от резервной машины.

Для этого нужно:

1. Включить в работу резервную машину и поднять напряжение до величины, на 20—30 в меньшей, чем напряжение на рабочей машине (см. правила пуска машины, раздел «в», пп. 1—5).

2. Понизить напряжение на рабочей машине на 20—30 в (по вольтметру на щите машины).

3. Высоковольтным переключателем отключить электрофильтр от рабочей машины и включить на резервную.

4. Поднять напряжение на резервной машине до величины, соответствующей рабочему режиму.

5. Остановить рабочую машину (см. правила остановки машины, раздел «д», пп. 1—3).

6. Заземлить переключателем высоковольтный вывод трансформатора.

В том случае, когда резервная машина уже находится в работе, переключение произвести так:

1. Снизить напряжение на рабочей и резервной машинах на 20—30 в.
2. Высоковольтным переключателем фильтра отключить рабочую машину и включить резервную.
3. Поднять напряжение на резервной машине до величины, соответствующей рабочему режиму.
4. Остановить рабочую машину.
5. Заземлить переключателем высоковольтный вывод трансформатора.

Правила ухода за подстанцией и разводкой тока высокого напряжения

а. Уход за помещением

1. Поддерживать чистоту в помещении подстанции, производя уборку его не реже одного раза в сутки.
2. Не реже одного раза в месяц производить протирку мокрыми тряпками стен и потолка помещения.
3. Следить за исправным состоянием вентиляции, не допуская перебоев в работе.

Помнить, что образующиеся в помещении (особенно при большом числе работающих машин) окислы азота вредно действуют на оборудование и обслуживающий персонал и могут привести к отравлению. Воздух, подаваемый в подстанцию, должен проходить пылевой фильтр.

4. Следить за тем, чтобы в помещении всегда имелись противопожарные средства (сухие огнетушители, песок), а также достаточное число табличек, предупреждающих об опасности.

б. Уход за щитами управления

1. Производить своевременный ремонт аппаратуры, следить за плотностью всех контактов, за состоянием проводов, за исправностью всех включающих устройств и контрольно-измерительных приборов.
2. Каждые 30 дней производить проверку максимально-нулевых автоматов на выключение как при номинальном токе, т. е. 45 а, так и при открывании двери трансформаторной ячейки. Результат проверки заносить в журнал.

в. Уход за трансформаторами

1. При первоначальном пуске в работу трансформатора вывернуть из шапок проходных изоляторов имеющиеся в них пробки, чтобы дать выход воздуху из изоляторов при нагреве во время работы трансформатора.

2. Следить за тем, чтобы масло не подтекало, подтягивая своевременно болты крышки или принимая другие необходимые меры.

3. Один раз в 6 мес. производить испытание масла на пробой и один раз в год производить полный анализ трансформаторного масла. Пригодное масло по своему химическому составу должно удовлетворять ОСТ, а по пробивному напряжению — не быть ниже 35 кв.

Масло для пробы следует отбирать со дна трансформатора. Результаты испытаний заносить в журнал.

4. При каждой остановке машины проверять нагрев трансформатора наощупь и в случае чрезмерного нагрева сообщать об этом начальнику установки.

5. При предположении о неисправности трансформатора проверить ток холостого хода.

У исправного трансформатора он не должен быть больше 5 а.

6. Уровень масла у холодного трансформатора должен быть ниже крышки на 25 мм.

г. Уход за механическими выпрямителями

1. Один раз в год проверять состояние подшипников и наличие в них смазки.

2. Крест выпрямителя должен быть хорошо отбалансирован и при работе не должен «бить».

3. Зазоры между наконечниками лопастей и щетками не должны превышать 2 мм.

4. При «пробое» лопасти следует поврежденное место очистить куском стекла и стеклянной бумагой так, чтобы не осталось угля в оставшемся следе «пробоя», и покрыть это место бакелитовым лаком.

5. При замене поврежденной лопасти крест выпрямителя должен быть заново отбалансирован. Лопасты устанавливаются на втулку креста таким образом, чтобы при вращении они рассекали воздух тупой кромкой.

6. При первоначальном пуске механический выпрямитель должен быть отрегулирован на максимальный съем тока (см. раздел «ж»).

д. Уход за заземлением

1. Производить замер переходного сопротивления заземления не реже двух раз в год: в теплое время года и зимой.

Исправное заземление должно иметь сопротивление не более 60 см.

2. Проверять целостность заземлительных шин.

е. Уход за изоляторами и кабельными муфтами высоковольтных линий

Уход за изоляторами заключается в своевременной протирке их. Протирать изоляторы следует чистой тряпкой или концами с применением небольшого количества сухой соды или спирта. Необходимо следить за тем, чтобы на поверхности изоляторов или на их армировке после протирки не осталось волокон. Сроки протирки изоляторов устанавливаются примерно следующие:

- 1) подвесные гирляндовые изоляторы типа П45 — один раз в месяц;
- 2) опорные изоляторы типа В и кабельные муфты — один раз в 15 дней;
- 3) изоляторы трансформаторов и крест в ячейках — один раз в сутки;
- 4) опорные изоляторы переключателей — по мере необходимости, но не реже одного раза в 15 дней.

Эти сроки уточняются для каждой установки отдельно в зависимости от местных условий.

Проверять заполнение кабельных муфт один раз в месяц, доливая их, по мере усадки заливки, кабельной массой марки МК45.

ж. Регулирование выпрямителя

Для правильной работы машины вращение креста выпрямителя должно находиться в определенном соответствии с изменением кривой напряжения переменного тока. Правильное положение креста характеризуется максимальным съемом тока высокого напряжения при одном и том же напряжении с низкой стороны трансформатора.

Регулирование выпрямителя производится при напряжении и силе тока с высокой стороны, близких к показаниям при работе. В агрегатах ТУ-200 регулирование производится посредством поворота статора мотора специальным механизмом. При этом, как и при нормальной работе установки, к машине должна быть подключена камера электрофильтра. Напряжение по вольтметру на щите агрегата, выпрямитель которого регулируется, должно быть равно рабочему или ниже на 10—15 в. Вращая статор мотора при помощи поворотного механизма в ту или другую сторону, наблюдают за показанием миллиамперметра и закрепляют статор мотора выпрямителя при максимальном отклонении стрелки прибора, т. е. тогда, когда дальнейший поворот статора в ту или другую сторону понижает показания миллиамперметра.

Напряжение при регулировании изменять не надо, и коммутатор автотрансформатора следует держать на одном и том же контакте.

Если вращением статора не удастся достигнуть необходимого положения, т. е. если при повороте статора до упора показания прибора повышаются или образуется большая искра, переходящая в круговой огонь, необходимо сместить крест на валу ротора примерно на 15° , отпустив для этого нажимной болт втулки креста. Такой последовательный поворот креста на валу делается до тех пор, пока не будет достигнуто правильное его положение.

Рекомендуется на втулке креста и на валу мотора отрегулировать выпрямителя сделать контрольную риску.

Выпрямитель никакой дальнейшей регулировки не требует, и при возникновении пробоев в электрофильтрах, а следовательно, при изменении из-за этого режима выпрямителя менять установку не следует, а нужно устранить причину, вызывающую пробой в электрофильтре.

Примечание. В машинах трехфазных, а также типа АФ18 втулка диска или креста выпрямителя крепится на валу мотора при помощи шпонки; поэтому нельзя при регулировании выпрямителя поворачивать втулку на валу. При первоначальном же включении выпрямителя необходимо присоединить концы обмотки к фазам питающей сети так, как они были присоединены на стенде завода-изготовителя. Это достигается одним или двумя пробными переключениями концов кабеля питающего мотор выпрямителя при соблюдении должного направления вращения креста. Тогда для производства регулировки выпрямителя достаточно поворота статора мотора выпрямителя или траверсы, на которой закреплены изоляторы выпрямителя.

з. Балансировка креста выпрямителя

Крест выпрямителя или диск должны быть сбалансированы, так как при отсутствии этого мотор выпрямителя, работающий при 1500 об/мин, сильно вибрирует, что нарушает нормальную работу подшипников мотора, вызывает их преждевременный износ и расстраивает болтовое крепление конструкции, на котором установлен мотор выпрямителя.

Балансировку производят обычным способом, принятым для балансировки шкивов и маховиков, т. е. крест, снятый с вала мотора и насаженный на вспомогательный вал, проверяют на

Армировоч

Наименование армировочной замазки	Основные составные части	Соотношение весовых частей
Глето-глицериновая	1. Глет свинцовый (ОСТ 5252, Технические условия МТЭ-302-А) 2. Глицерин дистиллированный (ОСТ/НКТП-533) с 2% воды (удельный вес смеси 1,2 или 26° Б)	Для густой подмазки: глета 120 г или 44 см ³ , глицерина 26 г или 21 см ³ . Для жидкой заливки: глета 120 г или 44 см ³ , глицерина 44 г или 36 см ³
Магнезиальная (цемент Сореля)	1. Жженая магнезия (каустический магнезит) (ОСТ 3035) 2. Хлористый магний (удельный вес 1,2 или 26° Б) 3. Фарфоровая мука	Для заливки: магнезита 37% или 135 г, хлористого магния, 45% или 165 г, фарфоровой муки 17% или 70 г. Для предварительного крепления: магнезита 135 г, фарфоровой муки 100 г, хлористого магния в количестве до нужной густоты
Ангидритовая	1. Ангидритовый цемент 2. Сернокислый аммоний (сульфат-аммоний) 3. Сернокислый глинозем 4. Вода	Ангидритового цемента 1 кг. Горячего раствора солей 300—400 см ³ удельного веса 1,1
Портланд-цементная	1. Портланд-цемент марки 400—600 (бывший 000). 2. Речной песок сухой сеяный 3. Вода	Для предварительного крепления: цемента 1 часть по весу, песку 1,5 части, воды 0,3—0,4 части Для заливки: цемента 3 части, песку 1 часть, воды 1 часть

Примечания: 1. В зависимости от потребности для армировки одного или объема от указанного в таблице соотношения.

2. Составные части должны быть тщательно перемешаны.

3. Переносить заармированные цементной замазкой изоляторы в паровую камеру не менее суток и при условии осторожного и аккуратного обращения с ними.

4. Хлористый магний для магнезиальной замазки готовится путем раствора в течение 25—30 час. снимается образовавшаяся пена и раствор переливается в другой

5. Если замазанные швы должны быть маслоупорны, то с внутренней стороны лаком № 350, 462 или эмалевой краской.

6. Замешанная масса глето-глицериновой, магнезиальной или ангидритовой замазки не допускается.

7. Ангидритовая замазка замешивается на горячем (порядка 60—80°) 30%-ном сернокислом глиноземе). Сернокислый аммоний может быть заменен алюмокалиевыми

ные замазки

Время схватывания	Время выдержки до сборки для полного затвердевания	Механическая прочность на разрыв кг/см	Основные свойства	Основные назначения
30—50 мин.	24 час.	20—25	Маслоупорная, быстросхватывающаяся	Срочные ремонты и ответственные маслоупорные швы
6—7 час.	48 час.	20—25	Маслоупорная	Армировка изоляторов, работающих под давлением масла
20 мин.	24 час.	15—20	Неводоупорная и немаслоупорная	Опорные изоляторы внутренней установки
В паровой камере 24 часа Влажный покров 48 час.	1—5 суток 7—15 суток	30	Немаслоупорная, водоупорная	Подвесные опорные и проходные изоляторы наружной установки

нескольких изоляторов смесь может быть составлена в пятидесяти- (и т. д.) кратном

или в другое помещение разрешается после нахождения во влажном состоянии в покое

ния двух весовых частей хлористого магния в одной весовой части воды. После отстоя бак или чистые бутылки.

их покрывают бензилцеллюлозным лаком или лаком № 1154, а с наружной стороны

мазки должна быть израсходована в течение 10—15 мин. Разбавление загустевшей

растворе алюмоаммиачных квасцов (с 1 л воды, 44 г сернокислого аммония и 220 г квасцами; на 1 л берется 300 г.

«ножах». Балансировка достигается креплением к наконечнику лопасти креста дополнительной шайбы или намоткой проволочного банджа на более легкую лопасть.

и. Армировка изоляторов

Армировку изоляторов следует делать на замазке по одному из приведенных в следующей таблице рецептов (см. табл. на стр. 172—173).

Неполадки, наиболее часто встречающиеся в работе машин

Неполадки, с которыми приходится встречаться обслуживающему персоналу установки, можно разделить на три основные группы:

- 1) неполадки низковольтной части машины,
- 2) неполадки выпрямителя,
- 3) неполадки трансформатора и высоковольтной части машины.

а. Неполадки в низковольтной части машины

1. При включении главного рубильника мотор выпрямителя гудит, вздрагивает, но не вращается.

Причина: сгорел предохранитель мотора на щите управления машиной или на центральном щите. Если при этом сигнальная зеленая лампа на щите управления не горит и одновременно стрелка вольтметра остается на нуле, то сгоревший предохранитель следует искать только на центральном щите или далее на линии.

2. При включении главного рубильника мотор выпрямителя вращается нормально, но сигнальная лампа не горит, и стрелка вольтметра остается на нуле.

Причина: сгорел силовой предохранитель на щите управления машиной. Если стрелка вольтметра отклонилась, но зеленая сигнальная лампа не горит, то испорчен лишь предохранитель сигнальных ламп или перегорела лампа.

3. При включении главного рубильника мотор выпрямителя вращается, но крест рассекает воздух с сильным шумом.

Причина: мотор вращается в сторону, противоположную нормальной (лопасти креста выпрямителя должны рассекать воздух тупой стороной).

4. При вращении мотора наблюдается дрожание трансформатора и вибрация вала мотора.

Причина: не отбалансирован крест выпрямителя. Если одновременно наблюдается дробный стук в основании мотора, то причина заключается в слабом закреплении статора мотора.

5. При нажатии кнопки включения синхронизатора щетки выпрямителя неоновой лампы остаются неподвижными, и лампа не горит.

Причина: перегорел предохранитель синхронизатора или имеет место обрыв в катушке электромагнита, накладывающего щетки (обрыв чаще всего бывает в выводных концах катушки). Может быть также неисправной включающая кнопка.

6. При нажатии кнопки включения синхронизатора щетки выпрямителя неоновой лампы накладываются, но лампа не горит.

Причины:

- а) щетки не имеют контакта с шайбой;
- б) имеет место обрыв подходящих к щеткам проводов;
- в) перегорела неоновая лампа.

7. Щетки накладываются на шайбу, но неоновая лампа горит тускло.

Причина: загрязнение поверхности шайбы или контактов щеток.

8. Лампа горит одновременно двумя электродами.

Причина: закорочены полукольца шайбы или неправильно установлена шайба.

Правильную установку шайбы следует проводить после того, как отрегулирован выпрямитель. Установка шайбы производится так, чтобы при нахождении лопастей креста против изоляторов трансформатора — полукольца шайбы находились в положении, симметричном относительно щеток синхронизатора.

Такое положение шайбы обеспечит зажигание неоновой лампы в тот момент, когда величина синусоидального тока достигнет своего максимума. Если после установки шайбы обнаруживается расхождение между показаниями синхронизатора и положением ручки переключателя направления тока (кольцо-кружок) необходимо переменить местами концы проводов, идущих в патрон неоновой лампы.

9. Лампа синхронизатора горит поочередно обоими электродами.

Причина: мотор выпрямителя вращается несинхронно (подробно см. неполадки выпрямителя).

10. Максимально-нулевой автомат не включается (при этом якорь нулевой катушки остается не притянутым).

Причины:

- а) нет контакта в дверном замыкателе;
- б) обрыв выводных концов или витков нулевой катушки (второе — редкий случай).

11. То же, но якорь нулевой катушки притягивается недостаточно сильно.

Причина: нулевая катушка, рассчитанная на 500 в, ошибочно включена на напряжение 380 или 220 в.

12. То же, но нулевая катушка держит якорь с достаточной силой.

Причина: неисправность механической части автомата. Наиболее часто встречающейся неисправностью механической части автомата является недостаточное опускание поводка, захватываемого защелкой. В этом случае указанную неисправность удастся устранить изменением длины штока рычажного привода.

В том случае, когда поводок захвачен защелкой, но включения автомата все же не произошло, следует проверить пружину коленчатого рычага.

13. Автомат не производит максимального отключения.

Причины:

а) велик зазор между якорем и сердечником серийных катушек;

б) плоха смазка частей автомата;

в) поводок, сорвавшись с защелки, задерживается осью контактора сигнализации (часто встречающийся случай).

В тех случаях, когда имеет место последняя из причин, лучше всего укоротить пружину, отжимающую ось контактора вниз.

14. При вращении штурвала коммутатора стрелка вольтметра резко колеблется, одновременно искра на кресте выпрямителя прерывается.

Причины:

а) перегорело сопротивление ползушки коммутатора;

б) подгорели контакты коммутатора или контакты ползушки.

15. Сильное разогревание сопротивления ползушки коммутатора.

Причина: неправильная установка ползушки на оси.

16. При вращении штурвала коммутатора стрелка вольтметра отклоняется, но на кресте выпрямителя нет искры. Контрольная лампа, подключенная к клеммам первичной обмотки трансформатора, не горит (см. раздел о неполадках трансформатора).

Причины:

а) отсутствует контакт в переключателе направления тока;

б) обрыв линии низкого напряжения на участках: между автоматом и переключателем направления тока, между переключателем и клеммной доской, между клеммной доской и трансформатором (проверяется контрольной лампой); чаще всего повреждение заключается в поломке наконечников.

17. При включении главного рубильника горит предохранитель на щите управления.

Причина: короткое замыкание в щите управления. Чаще всего короткое замыкание можно найти: на клеммах автотрансформатора, в спиралях балластного сопротивления, в контактах дверного замыкателя, в конденсаторе провода «О» у вольтметра.

18. При включении автомата наблюдаются явления короткого замыкания. При отключении концов кабеля от клемм первичной обмотки трансформатора явления короткого замыкания не исчезают (см. неполадки трансформатора).

Причина: пробой кабеля от клеммного щитка к трансформатору. В тех случаях, когда кабель трехжильный и холостая жила заземлена с обоих концов, следует проверить, правильно ли заземлены концы (проверить принадлежность их к одной жиле).

б) Неполадки в выпрямителе

1. Прерывистая, то усиливающаяся, то ослабевающая искра на кресте, резкое колебание стрелки миллиамперметра, неоновая лампа горит попеременно обоими электродами (см. неполадки низковольтной части).

Причина: мотор выпрямителя идет несинхронно. Подобная неполадка в подавляющем большинстве случаев является следствием разработки подшипников мотора или сильного их загрязнения. Реже встречаются случаи неправильной фрезеровки полюсов ротора. Иногда несинхронный ход мотора является результатом того, что мотор включен на более низкое напряжение. Если указанные признаки появились внезапно во время работы машины, то причина заключается в порче предохранителя. Однако необходимо отметить, что сгорание предохранителя не всегда выводит мотор из синхронизма, и в этом случае легко просмотреть разогревание мотора, остающегося включенным на две фазы, и последующую затем порчу изоляции статора. Поэтому необходимо внимательно следить за тем, чтобы силовые предохранители щита управления были поставлены на силу тока, меньшую, чем предохранители центрального щита.

2. Явления те же, что и приведенные в п. 1, но лампа синхронизатора горит нормально.

Причина: слабое закрепление креста на валу мотора. Крест может проворачиваться во время вращения мотора.

3. Выпрямитель работает беспокойно с перемежающимся сильным треском. Сила тока на высокой стороне при рабочем напряжении ниже нормальной.

Причина: не отрегулирован выпрямитель.

4. Искрение на поверхности лопастей креста, сопровождаемое возрастанием силы тока по приборам щита управления.

Причина: перекрылась одна или несколько лопастей креста выпрямителя.

В этом случае, если перекрытие произошло по поверхности лопасти, то, зачистив обугленные места стеклом, прошеллачив и просушив лопасть можно вернуть ей работоспособность. Если же произошел внутренний пробой лопасти, то она подлежит замене. После смены лопасти крест следует перебалансировать.

в. Неполадки в трансформаторе и в высоковольтной части машины

1. При вращении штурвала коммутатора стрелка вольтметра отклоняется, но на кресте машины нет искры. Лампа, подключенная к клеммам первичной обмотки трансформатора, горит.

Причины:

- а) поврежден вывод первичной обмотки трансформатора,
- б) оборван выводной конец вторичной обмотки трансформатора;
- в) не включен разъединитель на линии высокого напряжения (в последнем случае на щетках креста нередко проскакивают мелкие искры).

2. При рабочем напряжении, но несколько пониженной силе тока на высокой стороне, наблюдается непропорциональное увеличение тока на низкой стороне, сопровождающееся разогревом трансформатора.

Причина: междувитковое замыкание во вторичной обмотке трансформатора.

Следует весьма внимательно следить за соотношением силы тока на высокой и низкой сторонах. Работа машины при наличии междувиткового замыкания вторичной обмотки трансформатора вызывает в течение довольно короткого промежутка времени увеличение объема масла, заключенного в баке. Это увеличение объема может повлечь за собой фонтанирование масла через вентиляционные отверстия в шапках проходных изоляторов и вызвать пожар.

Для машины с максимальным напряжением на первичной обмотке трансформатора, равным 220 в, сила тока на высокой стороне в миллиамперах должна равняться удвоенной силе тока на низкой стороне в амперах. Для машин с трансформатором 380/90000 в сила тока на высокой стороне в миллиамперах должна равняться учетверенной силе тока на низкой стороне в амперах. Отклонения от этих соотношений не должны превышать 5—10 ма.

3. При включении автомата наблюдаются явления короткого замыкания. При отключении концов кабеля от клемм первичной

обмотки трансформатора (при помощи, например, переключателя направления тока) явления короткого замыкания исчезают.

Причины:

а) пробой витков первичной обмотки трансформатора на землю (редкий случай);

б) пробой проходного изолятора клемм первичной обмотки.

4. При рабочем напряжении имеет место завышенная сила тока на высокой и низкой стороне, при этом наблюдается колебание стрелок приборов, регистрирующих силу тока.

Причина: утечка тока по изоляторам на линии высокого напряжения.

5. При рабочем напряжении наблюдается пониженная сила тока как на высокой, так и на низкой сторонах.

Причина: загрязнение электродов активной части электрофильтра.

6. При рабочем напряжении и нормальной силе тока на низкой стороне сила тока на высокой стороне ниже нормы.

Причины:

- а) неисправность выключателя миллиамперметра;
- б) утечка в конденсаторе, шунтирующем миллиамперметр;
- в) утечка в искровом предохранителе.

7. При рабочей силе тока на низкой стороне и нормальном искрении креста выпрямителя миллиамперметр не указывает наличия тока на высокой стороне.

Причина: пробит искровой предохранитель.

На этом заканчивается перечень неполадок в машинном отделении установок электрофильтров, с которыми чаще всего приходится иметь дело обслуживающему персоналу.

Приводимый перечень не является, конечно, исчерпывающим, он охватывает лишь наиболее часто встречающиеся неполадки и должен помочь обслуживающему персоналу устранять неполадки, связанные с работой машинного отделения. Отчетливое знание схемы машины, ясное представление о назначении и работе каждой ее части, позволят разобраться и в других неисправностях, возникающих в работе машины и не попавших в данный перечень, найти их причину и устранить ее.

Б. Правила обслуживания установок электрофильтров

Электрофильтры для улавливания пыли из газов, содержащих серный ангидрид

Этот раздел относится к обслуживанию электрофильтров, установленных для пылеочистки горячих газов, содержащих серный ангидрид.

Описание имеет в виду электрофильтры типа ХК20, ХК30, ХК45, СС6, выполненные по проектам треста Газоочистка с вертикальным ходом газа в них, или двухпольные и трехпольные двухкамерные электрофильтры с горизонтальным ходом газа, как, например, электрофильтр типа ГК30 треста Газоочистка и Гипроцветмета и горизонтальные электрофильтры заводов Челябинского, Кировоградского и др.

а. Подготовка электрофильтра к пуску

1. Пуск электрофильтра производится по распоряжению начальника смены.

2. Включать в работу разрешается только исправный электрофильтр и исправную машину.

3. Перед пуском электрофильтра нужно убедиться в хорошей центровке коронирующих электродов путем проверки их осевого положения относительно осадительных пластин или труб с помощью шаблона или мерки.

Допускаемые отклонения коронирующего электрода от осевого положения между пластинами или от центра трубы ± 5 мм.

Кроме того, необходимо:

4. Проверить отсутствие скопления пыли в бункерах, на распределительных решетках, в шахтах на выходе газа из электрофильтра или в диффузорах перед распределительной решеткой.

5. Проверить исправное действие колокольных затворов, дросселей и бункерных задвижек.

6. Проверить целостность и чистоту кварцевых труб и кварцевых муфт.

Примечания: а) Допускается работа электрофильтра с трещинами на нижних концах кварцевых труб при длине трещины не более 400 мм при наличии скрепляющего бандаж на конце трубы;

б) временно разрешается оставить в работе кварцевые трубы с отломанными нижними концами, при условии, что длина оставшейся целой части труб, расположенной выше выравнивающих торцы труб бандажей внутри аппарата, не менее 350 мм.

7. Проверить исправность действия встряхивающих механизмов: механизма встряхивания осадительных электродов, механизма встряхивания коронирующих электродов и механизма встряхивания или опрокидывания газораспределительной решетки.

8. Закрывать на специальные замки ручные приводы молотков встряхивания коронирующих электродов — молотки должны находиться в поднятом положении.

Примечание. Пункт касается электрофильтров с ручным приводом отряхивания коронирующих электродов, не имеющих изоляторов, разъединяющих заземленный привод от находящегося под напряжением ударника.

9. Проверить наличие песка в песочных уплотнениях колокольных затворов, люков лаза и на крышке электрофильтра.

10. Проверить плотность закрытия всех люков.

11. Протереть все изоляторы включаемой под напряжение линии чистыми тряпками с сухой содой или спиртом.

12. Протереть лопасти креста (или диска) механического выпрямителя чистой мягкой тряпкой.

13. Убедиться в отсутствии людей и посторонних предметов в пускаемом электрофильтре, трансформаторной ячейке и за ограждением токоведущих частей электрофильтра.

14. Закрывать и запирать все люки изоляторных коробок и коробок концевых муфт, труб подвода тока, дверь трансформаторной ячейки.

15. Состояние электрофильтра и обслуживающих его машин должно удовлетворять разделу «Начальное положение установки электрофильтра перед включением машины».

б. Порядок включения электрофильтра в работу

1. При первоначальном пуске электрофильтра или при пуске после длительной остановки электрофильтр до подачи на него напряжения должен быть прогрет поступающим газом до 250°. Для этого необходимо открыть входные и выходные колокола или другого вида затворы и проследить за подъемом температуры до желательной величины.

2. После того как температура на выходе из электрофильтра станет равной 250°, включить напряжение, пользуясь указаниями раздела «пуск машины».

3. Если электрофильтр подключается к работающей машине, то включение напряжения производится при помощи разъединителя.

Примечание. Специальным разрешением руководства завода в отдельных случаях, в зависимости от точки росы газа (с учетом содержания SO₃ и основных окислов металла в пыли), может быть допущено включение высокого напряжения при температуре в камере электрофильтра ниже 250°.

в. Обслуживание электрофильтра во время работы

1. Во время работы электрофильтра нужно следить за тем, чтобы температура газа в электрофильтре поддерживалась в пределах 250—472°.

Примечание. Для крепких газов с содержанием SO_2 до 5—7% и соответственно SO_3 0,5—1% минимальной температурой, ограничивающей возможность включения напряжения, следует считать 250°. Для слабых газов с содержанием SO_2 до 2%, а также в случае высокого содержания основных окислов в пыли температура газа на выходе из электрофильтра может быть снижена с разрешения руководства завода.

2. Регулярно производить встряхивание электродов. Время, затрачиваемое на производство встряхивания, составляет 2—3 мин. без учета времени на отключение напряжения и газа.

Сроки встряхивания электродов устанавливаются следующие.

Для газов с запыленностью свыше 10 г/м^3 — каждые 2 часа.

Для газов с запыленностью, не превышающей 10 г/м^3 , — каждые 4 часа.

Эти сроки уточняются для каждой установки.

Встряхивание следует производить в следующем порядке:

а) закрыть выходной колокол или дроссель встряхиваемой секции электрофильтра;

б) отключить напряжение от встряхиваемой секции электрофильтра при помощи высоковольтного разъединителя;

в) произвести встряхивание коронирующих электродов, осадительных электродов и газораспределительной решетки;

Примечание. По окончании встряхивания коронирующих электродов молотки встряхивания, оборудованные ручными приводами встряхивателя, должны быть закреплены в поднятом положении и заперты на специальные замки, в противном случае коронирующие электроды будут через молотки «накоротко замкнуты на землю». По этой же причине нельзя производить встряхивание молотками с ручным приводом под напряжением.

Встряхивание коронирующих электродов в электрофильтрах типа СС6, ГК30 и подобных им производится под напряжением, так как приводные механизмы встряхивания изолированы от ударников молотков.

г) включить разъединитель и дать напряжение на встряхнутую секцию;

д) открыть колокол или дроссель этой секции.

После этого сделать те же операции встряхивания с другой секцией электрофильтра.

Примечание. При встряхивании электрофильтра ГК30, имеющего три последовательных поля и изолированные от земли молотки встряхивания коронирующих электродов, встряхивание двух первых полей может производиться без отключения газа дросселем и без выключения напряжения, если встряхивания нужно производить чаще, чем указано ниже.

Встряхивание третьего поля производится обязательно при перекрытом дросселе, и напряжение с третьего поля также не снимается.

Сроки встряхивания: первых и вторых полей через 2—4 часа, третьих — через 8 час.

Регулярно производить выгрузку пыли из бункеров электрофильтра.

Сроки выгрузки устанавливаются следующие:

а) при работе электрофильтров на газе с большой запыленностью (выше 10 г/м^3) — один раз в сутки;

б) при работе на газе с запыленностью до 10 г/м^3 — один раз в двое суток;

в) бункеры первых и вторых полей трехпольных аппаратов разгружаются один раз в сутки;

г) бункеры третьих полей разгружаются один раз в двое суток.

При выгрузке пыли из бункеров необходимо закрывать выходной колокол или дроссель секции электрофильтра.

4. Электрические показатели электрофильтров следует поддерживать следующие:

	ХК30 и ХК45	СС6	ГК30 и другие горизонтальные аппараты
Напряжение первичное, в	270—280	260—270	По специальной инструкции
Ток вторичный, ма	180—200	190—200	

5. Изоляторы держать чистыми. Следить за плотностью фланцев труб ограждения высоковольтных шин, коробок кабельных муфт, а также всех люков.

6. Следить за тем, чтобы во время работы электрофильтра проходы валов через стенку электрофильтра были надежно

уплотнены, а седла колокольных затворов и песочницы (в электрофильтрах типа ХК) были засыпаны песком во избежание подсосов воздуха.

7. Один раз в сутки в присутствии мастера или старшего электрика производить остановку работающих машин на ревизию, переводя питаемые ими фильтры или секции их на резервную машину. Во время остановки машины протереть лопасти креста механического выпрямителя и изоляторы в трансформаторной ячейке (см. раздел «Наблюдение за машиной во время работы»).

Примечание. Перед осмотром машины необходимо вынуть предохранители выключенной машины на вводном щите и заземлить при помощи троса высоковольтную шину для снятия остаточного заряда, выключить линию сигнализации и повесить на щите табличку: «Не включать, на линии работают».

г. Остановка работающего фильтра

Остановку работающего фильтра производить в следующем порядке:

1. Отключить электрофильтр от газа колокольными затворами или дросселями.
2. Произвести остановку машины в соответствии с указанием раздела: «Остановка машины».
3. Если машина питает несколько фильтров, то отключение электрофильтра производится выключением разъединителя без остановки машины.

д. Уход за электрофильтром

1. Периодически необходимо вскрывать секции электрофильтра для осмотра их состояния и для производства очистки электродов от той пыли, которая не отряхивается при работе и, накапливаясь на электродах, ведет к снижению рабочего напряжения, силы тока и ухудшению очистки.

Очистку электродов производить следующим образом:

- а) соответствующую секцию электрофильтра отключить от напряжения и газа;

Примечание. После снятия напряжения с секции электрофильтра необходимо выполнить мероприятия по технике безопасности, изложенные в разделе «Правила техники безопасности при обслуживании электрофильтров».

- б) вскрыть верхние или боковые люки секции;

в) обстукиванием молотками и очисткой электродов металлической щеткой, насаженной на длинную рукоятку, освободить электроды от наростов пыли.

Чистку электродов электрофильтров ХК можно производить, не остужая камеры и не залезая в нее.

Примечание. При чистке электродов необходимо надевать суконный костюм, валенки, рукавицы и противогаз.

2. При всякой продолжительной остановке секции электрофильтра (и особенно после чистки электродов) необходимо проверять: состояние осадительных и коронирующих электродов, коронирующих рам, механизмов встряхивания, кварцевых труб и газораспределительной решетки.

Все оборванные электроды должны быть заменены. «Выпучины» осадительных сеток или прутковых осадительных электродов должны быть выправлены.

Особое внимание при этом должно быть обращено на центровку, правку и натяжку коронирующих электродов. Допускаемые отклонения от осевого положения ± 5 мм.

3. Необходимо следить за состоянием корпуса электрофильтра, за герметичностью его, за хорошим состоянием изоляции или кладки, не допуская подсосов воздуха.

е. Главнейшие неисправности электрофильтров, их нахождение и устранение

1. Электрофильтр не держит напряжения. При включении выпадает максимально-нулевой автомат.

Причины и способы исправления:

а) обрыв одного или нескольких коронирующих проводов — сменить оборванные провода;

б) пробой или сильное загрязнение кварцевых труб или изоляторов в изоляторных коробках — протереть или сменить изоляторы;

в) низкая температура газа в электрофильтре, отчего кварцевые трубы смачиваются конденсирующейся серной кислотой или водой, — очистить изоляторы и повысить температуру газа;

г) провернулась верхняя рама коронирующих проводов на ее подвесе так, что сильно сократилось пробойное расстояние между коронирующими проводами и заземленными частями (осадительными электродами) или произошло касание проводов и заземленных частей, — отрегулировать подвес рамы;

д) не закреплен в отведенном положении ударник (молоток) ручного встряхивания коронирующих проводов, — отвести молоток от рамы коронирующих проводов и закрепить.

2. Электрофильтр работает с частыми пробоями через примерно одинаковые промежутки времени.

Причины:

а) качается нижняя рама коронирующих проводов;

б) вытянулись, вышли из нижнего закрепления и качаются отдельные коронирующие провода, — закрепить раму, укоротить и закрепить провода.

3. Электрофильтр потребляет слишком мало тока; рабочее напряжение снижается; иногда бывают пробой.

Причины: загрязнение коронирующих электродов, образование на них наростов («колбас») от плохого или несвоевременного отряхивания, а также от чрезмерно высокой температуры — произвести усиленное отряхивание; если не поможет, остановить электрофильтр для внеплановой ручной очистки электродов.

4. Резко ухудшилась очистка газа в электрофильтре без заметного изменения электрических показателей по току и напряжению.

Причины: забились газораспределительная решетка, вследствие чего газ идет в камере одной стороной с повышенной скоростью, — очистить решетку.

Обслуживание аппаратов для мокрой очистки доменного газа типа ДМ и улавливания смолы

1. Аппарат, не находящийся в работе, должен иметь открытыми нижний шламовый затвор и клапан свечи для возможности вентилирования аппарата. Листовые задвижки и водяные затворы (если последние имеются) должны быть закрыты. Соединительные водяные магистрали должны быть отъединены от выключенного аппарата, с тем, чтобы газ по ним не мог попасть из действующего аппарата.

2. Перед пуском, производимым по распоряжению начальника цеха, аппарат должен быть тщательно проверен. Для этого после осмотра аппарата включается водное орошение и проверяется, правильно ли и равномерно промываются все трубы и насадки скрубберов. Все люки открываются.

После этого включается напряжение (без подачи газа) и снимается вольтамперная характеристика. Она должна соответствовать паспортной, установленной для данного аппарата. Затем ток выключается, коронирующая система заземляется и открывается затвор со стороны грязного газа.

3. Во время пуска аппарата тщательно закрываются все люки и закрывается гидравлический затвор на спуске из электрофиль-

тра. Открывается газовый затвор со стороны грязного газа и аппарат продувается газом в течение времени, установленного для данного аппарата (несколько минут). Обратить внимание на то, чтобы было продут межтрубное пространство. Затем включается напряжение и поднимается до нормального значения. После этого открывается затвор со стороны чистого газа.

4. Останавливают аппарат так: закрывают затвор со стороны чистого газа, выключается напряжение и после этого затвор со стороны грязного газа. Открываются затвор свечи, гидравлика и люки. Через некоторое время, определенное для данной установки, выключается подача воды.

После тщательного вентилирования аппарата производится внутренний осмотр аппарата и в случае необходимости очистка электродов и изоляторов изнутри и снаружи.

При эксплуатации электрофильтров для очистки доменного газа руководствоваться утвержденными «правилами безопасности в газовом хозяйстве металлургических заводов».

При обслуживании электрофильтров для улавливания смолы необходимо следить за уровнем масла в масляных затворах и время от времени спускать скопившийся на дне затвора конденсат.

Обслуживание мокрых электрофильтров типа М

Кроме общих положений, ясных из изложенных правил о других аппаратах, следует тщательно следить за состоянием масляных затворов и время от времени (через одну — три недели) промывать осадительные и коронирующие электроды теплой водой.

Обслуживание электрофильтров для улавливания пыли из сушильных газов

Помимо сказанного, следует следить за тем, чтобы температура газа ни в одной точке аппарата не опускалась ниже точки росы газа. При улавливании угля следует после остановки промыть аппарат водой, закрыв шлюзовый затвор и открыв спускной шламовый кран. Перед пуском следует проверить вольтамперную характеристику. Она должна соответствовать нормальной.

При ненормальном повышении температуры в электрофильтре выключить ток и включить водную промывку.

Перед включением газа и тока продуть аппарат паром, если это предусмотрено местной инструкцией.

В. Правила техники безопасности при обслуживании электрофильтров

1. Прикосновение к частям, находящимся под током высокого напряжения, смертельно. Никакие работы вблизи неогражденных частей, находящихся под током высокого напряжения, не допускаются.

2. К частям, бывшим под током высокого напряжения, нельзя прикасаться тотчас после выключения, так как на них в течение некоторого времени остаются значительные заряды. Прикосновение к неразряженной линии может привести к несчастному случаю, даже при снятом с нее напряжении.

3. Воспрещается приступать к ремонтным работам в устройствах высокого напряжения (электромашинные помещения, электрофильтры, линии высокого и низкого напряжения) до получения письменного наряда, выданного ответственным руководителем данной установки.

4. Производить работу разрешается только на отключенных от напряжения участках линий, после выполнения следующих мер предосторожности:

- а) убедиться в действительном отключении данного участка;
- б) надежно заземлить выключенный участок линии в начале и в конце участка;
- в) на включающих приспособлениях повесить предупреждающие надписи: «не включать — на линии работают».

5. Присутствие второго лица, знакомого с мерами подачи первой помощи, обязательно при производстве следующих работ:

а) при протирке высоковольтных изоляторов, установленных в защитных трубах, трансформаторных ячейках и на электрофильтрах;

б) при осмотре и протирке переключателей, кабельных муфт и опорных изоляторов, несущих коронирующий подвес электрофильтра;

в) при работе внутри электрофильтра.

6. Воспрещается включение напряжения в линию и в электрофильтр при открытых или незапертых на специальные замки дверках изоляторных коробок, коробок кабельных муфт, люков для протирки изоляторов, ограждений токоведущих частей, а также при незакрытых лазах электрофильтра.

7. Воспрещается работа машин с неисправными максимально-нулевыми автоматами или с неисправной блокировкой дверей трансформаторных ячеек.

8. При производстве работ внутри электрофильтра необходимо надевать соответствующий роду производства костюм.

ЖУРНАЛ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА

по установке электрофильтров № _____

цеха _____ завода.

Начальник установки _____
(фамилия)

Начат « _____ » _____ 19 ____ г.

НАЧАЛЬНИК ЦЕХА _____
(подпись)

Год, месяц, число	Характер производимых работ	Должность и фамилия лица, давшего распоряжение о производстве работ	Должность и фамилия лица, ответственного за производимую работу	Примечание

НАЧАЛЬНИК УСТАНОВКИ _____
подпись

Год, месяц, число	Результаты анализов трансформаторного масла	Отметки о фильтрации или замене масла	Результаты проверки переходного сопротивления заземления установки. Способ измерения	Фамилия ответственного лица	Примечание

Примечание. Для записей о проверке масла и заземления отводится несколько отдельных страниц в книге.

СМЕННЫЙ ЖУРНАЛ

установки электрофильтров № _____ цеха _____

_____ завода. Начальник установки _____

(фамилия)

Начат « _____ » _____ 19 _____ г.

НАЧАЛЬНИК ЦЕХА _____
(подпись)

Год, месяц, число	Время записи по- казаний	Показания измерительных приборов						Температура газа и содер- жание пыли г/м ³ до (после) фильтра	Время и характер произ- веденных работ (встряхи- вание электродов, протирка изоляторов и пр.)	Неисправности и аварии
		Камера № _____			Камера № _____					
		Машина № _____			Машина № _____					
		вольт	ампер	миллиам- пер	вольт	ампер	миллиам- пер			

Смена с « _____ » до « _____ » часов. Дежурный _____
(фамилия)Смену сдал дежурный _____
(подпись)Принял в « _____ » часов дежурный _____
(подпись)

Распоряжения дежурному _____

НАЧАЛЬНИК УСТАНОВКИ _____
(подпись)

Примечание. Запись показаний электроизмерительных приборов производится в журнале каждый час; время перевода камеры на питание током с одной работающей машины на другую (резервную) отмечается в журнале.

обувь, перчатки и другие защитные средства от пыли, улавливаемой в электрофильтре.

Примечание. Работа производится только в хорошо проветренном аппарате.

9. Для освещения при ремонтах разрешается пользоваться переносными лампами с напряжением не выше 24 в.

10. Наличие в помещении подстанции сухих огнетушителей и ящиков с песком является обязательным, так как при авариях с трансформаторами возможно загорание масла.

11. Находиться в помещении подстанции длительное время при отсутствии вентиляции нельзя из-за возможности отравления окислами азота, образующимися при работе механических выпрямителей.

12. Установка электрофильтров должна иметь достаточное количество табличек правил подачи первой помощи при поражении электрическим током и других травмах, специфических для данного рода производства.

13. При несчастном случае, происшедшем при поражении током, необходимо выключить главный рубильник, оказать пострадавшему первую помощь, вызвать врача и сообщить администрации.

14. Всякая работа на высоте разрешается только при наличии прочных подмостей (лесов) или устойчивых стремянок.

Во всех случаях, когда имеется опасность падения во время производства работ, необходимо пользоваться предохранительным поясом.

15. Находиться на установке посторонним лицам воспрещается.

Отчетность по установке электрофильтров

На установке должны быть заведены два журнала: сменный журнал и журнал текущего ремонта и паспорт установки, дающий подробное ее описание. Журналы должны иметь нумерацию страниц, прошнуровку и подпись начальника цеха. Журналы хранятся в помещении подстанции. Форма записи в журналах приводится ниже.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Капцов, Электрические явления в газах и вакууме, Теоретиздат, 1947.
2. Н. А. Капцов, Коронный разряд, Теоретиздат, 1947.
3. Б. Л. Шнеерсон и Н. Егоров, Электрическая очистка газов, Госхимтехиздат, 1933.
4. Б. Л. Шнеерсон, Электрическая очистка газов в химической промышленности, Химиздат, 1936.
5. Б. Л. Шнеерсон, Очистка газов в цветной металлургии, «Цветные металлы», № 1, 1940.
6. В. Н. Ужов, Обслуживание электрофильтров, Госхимиздат, 1944.
7. С. Жебровский и В. Попков, Корона при постоянном напряжении в электрофильтре, «Электричество», 1937, № 20.
8. Н. Г. Залогин и С. М. Шухер, Очистка дымовых газов, Госэнергоиздат, 1948.
9. И. С. Попов, Электрическая очистка газов в цементной промышленности, Стройиздат, 1941.
10. Г. М. Гордон, Селективное пылеулавливание в цветной металлургии, «Цветные металлы», 1949, № 4.
11. Н. Фукс, Экспериментальная и теоретическая физика, т. 6, вып. 6, 1936.
12. Каталог треста Газоочистка, Стандартгиз, 1941.
13. С. Жебровский, Физические основы электрической очистки газов, Труды Совещания по очистке промышленных газов, Металлургиздат, 1941.
14. Б. Л. Шнеерсон, Электрический, химический и механический методы очистки промышленных газов, Труды Совещания по очистке промышленных газов, Металлургиздат, 1941.
15. П. Цвиллинг, Электрическая очистка дымовых газов, Труды Совещания по очистке промышленных газов, Металлургиздат, 1941.
16. Н. Кунаков, Рациональные нормы очистки доменного газа, «Сталь», 1948, № 11.
17. Н. И. Востоков, Питание электрофильтров однополупериодным выпрямленным током, «Очистка промышленных газов», Госхимиздат, 1947.
18. Ю. А. Скорецкий, Модернизация электрофильтра типа «К», «Очистка промышленных газов», Госхимиздат, 1947.
19. Н. Н. Егоров, Газоочистка, «Справочник химика», Госхимиздат, 1947.

Редактор *М. В. Румянцев*

Технический редактор *О. Г. Беккер*

Сдано в производство и подписано к печати 14/IV 1950 г.

Формат бумаги 60 × 92¹/₁₆

Уч.-изд. л. 12,0

Печ. л. 12

Зн. в 1 п. л. 36183

Т-02768

Зак. 458

Тираж 4000

Цена 7 р. 80 к.

Типография Металлургиздата, Москва, Цветной бульвар, дом 30.