

Годжесмо М.Г.

Взрывы промышлен-
ных пылей и их пре-
дупреждение

Москва 1952г.

П.1
Г 59

М. Г. ГОДЖЕЛЛО

ВЗРЫВЫ
промышленных пылей
И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ



1.11.23

Проверено

М. Г. ГОДЖЕЛЛО
Кандидат технических наук

П.1
Г 59

Г.59

спис

ВЗРЫВЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕЙ И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

~~20941~~

20941



ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РСФСР

Москва — 1952

ЧИТАЛЬНЫЙ ЗАЛ

В книге подробно освещены явления, предшествующие горению и взрыву пылевоздушных смесей, методика исследования пожароопасных свойств пылей, методика оценки взрывоопасности производств, связанных с пылеобразованием, и основные мероприятия по предупреждению пылевых взрывов в промышленности.

В книге приведено много фактического материала, представляющего обобщение результатов многолетней исследовательской работы автора по изучению пожароопасных свойств пылевых взвесей. Она представляет практический интерес для пожарных работников, специализирующихся в области пожарной профилактики, и для инженерно-технических работников промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций, которым приходится сталкиваться с процессами пылеобразования.



19008

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее пособие посвящено вопросу предупреждения пожаров и взрывов промышленной порошковой продукции. Оно предназначается в первую очередь для инженерно-технических работников, занимающихся совместно с техническим персоналом промышленных предприятий, пожарной профилактикой.

Автор высказывает надежду, что его труд окажется также полезным и для руководящих инженерно-технических работников (комбикормовых заводов, мельниц, элеваторов, предприятий пищевой промышленности и т. д.), которым приходится иметь дело с пылеобразованием при выработке порошковой продукции.

Лабораторные исследования взрывоопасности различных промышленных пылей начаты были автором в 1936 г. Наряду с лабораторными работами проводились систематические обследования промышленных предприятий с целью установления пожарной опасности и разработки мероприятий по предупреждению взрывов пыли.

Ввиду прикладной направленности книги, сознательно не заостряется внимание на вопросах теории горения и возбуждения пылевого взрыва.

Явление взрыва вообще, и взрыва пыли в частности, относится к интереснейшим явлениям природы, в которых под влиянием количественных изменений пассивные силы сопротивления в материи теряют присущие им свойства, и материя мгновенно, самопроизвольно, скачкообразно распадается с образованием новых более устойчивых форм.

С точки зрения диалектического метода познания сложных процессов развития, в явлении взрыва мы наблюдаем характерное скачкообразное качественное превращение. Диалектика учит, что каждому качественному превращению материи обязательно должны предшествовать количественные изменения, количественные накопления.

К таким едва уловимым предшествующим взрыву признакам (количественным накоплениям), несомненно, следует отнести в первую очередь выделяющееся от реакции окисления тепло, которое в первоначальной стадии процесса окисления еще успевает рассеиваться в окружающую среду. Затем наступает момент, когда теплоприход от реакции превысит теплоотвод в ок-

ружающую среду. С этого момента создаются условия для дальнейшего самопроизвольного течения реакции, приводящей к взрыву. Вторым характерным количественным изменением в системе является появление и накапливание горючих газов, приводящих в конечном счете к заметным проявлениям процесса самовоспламенения: искрообразованию, тлению, вспышке и воспламенению.

В результате исследования взрывчатости пылевых систем автором доказана необходимость направить весь комплекс мероприятий по предупреждению взрывов, в первую очередь на наиболее опасные участки предприятия. Этим устраняются причины количественных накоплений в системе, которые могут привести к взрыву.

В народном хозяйстве Советского Союза имеется огромное количество производств, связанных в той или иной мере с пылеобразованием. Между тем количество возникающих пожаров и взрывов из года в год уменьшается. Это объясняется тем вниманием, которое уделяется Коммунистической партией и Советским правительством вопросам сбережения общественной социалистической собственности и обеспечению максимальной безопасности для жизни и здоровья трудящихся.

Сбережению наших предприятий от взрывов способствовали продуманная система технических мероприятий и установление как в период стройки, так и в пусковой (наиболее опасный) и эксплуатационные периоды строжайшего противопожарного режима.

Настоящая работа имеет цель внести посильный вклад в дело охраны социалистической промышленности от пылевых взрывов.

Пользуюсь случаем выразить благодарность: научным сотрудникам И. Р. Млиник и Н. Д. Табакову, помогавшим на протяжении ряда лет автору в создании экспериментальной базы; старшему научному сотруднику В. В. Хлебниковой, разработавшей методики исследований в области расшифровки причин пылевых взрывов; К. Г. Северовой, обеспечивавшей в течение последних пяти лет экспериментальные исследования пожаровзрывоопасности различных промышленных пылей. Приношу также благодарность дирекции ЦНИЛ Комбикорма, создавшей все условия для исследовательской работы.

Автор

ГЛАВА I

СВОЙСТВА АЭРОВЗВЕСЕЙ

Пыль представляет собой твердое вещество в состоянии тонкого раздробления. Она может находиться во взвешенном состоянии в воздухе и в осевшем состоянии.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Твердые или жидкие тела в сильно раздробленном и взвешенном, рассеянном состоянии в жидкой или газообразной среде составляют так называемую дисперсную¹ систему. Частички пыли в этой системе составляют дисперсную фазу, а воздух (или смесь газов) является дисперсионной средой. В частном случае, когда дисперсионной средой является воздух, такая система называется аэрозольной².

Взвешенное состояние в спокойном воздухе присуще лишь мельчайшим пылевым частицам известной степени дробления, или, как говорят, степени дисперсности. Более крупные частицы, с диаметром свыше 10^{-5} см (см. ниже), в спокойном воздухе оседают, образуя грубодисперсные системы, к которым и относятся все реальные, в том числе и промышленные, пыли и порошки.

Осевшая из воздуха пыль носит название аэрогель, или просто гель³.

По физическому состоянию аэрозольные дисперсные системы подразделяются на пыли, туманы (когда золем являются конденсированные пары — жидкие частицы) и дымы (в которых дисперсная фаза образована твердыми частицами).

¹ Дисперсия (лат. *dispersus* — рассеянный, рассыпанный) — раздробление вещества на очень малые частицы.

² Золь, золи (нем. *Sole*) — коллоидные растворы. По характеру дисперсионной среды различают: гидрозоли, в которых дисперсионной средой является вода, и аэрозоли, — мельчайшие капельки жидкости или мелкие твердые частицы, распыленные в газе.

³ Гель (лат. *gelu* — мороз, лед) — однородный коллоидальный студень, в данном случае осажденные твердые мелкие частицы (из дисперсионной среды).

По степени дисперсности пыли, дымы и туманы классифицируются следующим образом (табл. 1).

Таблица 1

Наименование	Диаметр частиц в			Примечание
	см	мм	микронах	
Собственно пыль . . .	10^{-3}	0,01	10	Оседают в неподвижном воздухе
Облака и туманы . . .	10^{-5}	0,0001	0,1	Оседают с постоянной скоростью, не диффундируют
Дымы	10^{-7}	0,000001	0,001	В неподвижном воздухе не оседают, довольно энергично диффундируют

Все промышленные пыли полидисперсны, т. е. размеры пылинок неодинаковы и могут колебаться в весьма широких пределах. Степень дисперсности (измельченности) некоторых реальных промышленных пылей, порошковой продукции, дымов и туманов приведена в табл. 2.

Таблица 2

Наименование	Средний диаметр частиц в см
Молочный порошок	10^{-2}
Атмосферный туман	$2 \cdot 10^{-3}$
Пирофорный уголь	$1,25 \cdot 10^{-4}$
Пирофорное железо	$5,4 \cdot 10^{-4}$
Алюминиевая пудра	от $1,3 \cdot 10^{-4}$ до $3 \cdot 10^{-5}$
Смоляной дым	от $1,0 \cdot 10^{-4}$ до $5,0 \cdot 10^{-6}$
Табачный дым	от $1,5 \cdot 10^{-5}$ до $10 \cdot 10^{-6}$

Как видно из этой таблицы, наивысшей степенью дисперсности обладает табачный дым, размер частиц которого порядка 0,15—0,01 микрона.

Оседание частиц в дисперсионной среде, обладающей известной вязкостью, можно представить в следующем виде. В начальной стадии скорость оседания частицы под действием силы тяжести увеличивается, затем, по мере роста скорости и в связи с этим увеличения сопротивления среды, скорость оседания частицы должна установиться постоянной.

Для шаровых частиц эта установившаяся скорость оседания их выражается следующей известной формулой:

$$v = \frac{2}{9} r^2 \frac{(\rho - \rho')}{\eta} \cdot g \text{ см/сек},$$

где: r — радиус частицы,

ρ — плотность тела,

ρ' — плотность среды,

η — коэффициент вязкости дисперсионной среды; для воздуха при комнатной температуре он равен $1,81 \cdot 10^{-4}$ пуаз,

g — ускорение силы тяжести 981 см/сек .

Формула применима для частиц радиусом порядка 10^{-2} до 10^{-5} см .

Расчеты по этой формуле показывают, что при диаметре частиц пыли $2 \cdot 10^{-5} \text{ см}$, или 0,2 микрона, оседание их должно происходить со скоростью, измеряемой миллиметрами в час, а частицы диаметром $2 \cdot 10^{-2} \text{ см}$, или 200 микрон, оседают со скоростью, измеряемой километрами в час (около $1,2 \text{ м/сек}$).

Если диаметр частиц меньше, чем 10^{-5} см , диффузионное движение настолько препятствует оседанию, что оно практически не имеет места.

Выпаданию дисперсной фазы способствует коагуляция¹.

Коагуляция — это укрупнение частиц вследствие слипания их при столкновениях.

Коагуляции препятствуют наличие на поверхности частиц адсорбированных газов, а также присутствие одноименных электрических зарядов.

Удаление адсорбированной пленки способствует оседанию частиц.

Раздробленные частицы называют также парцеллами², а системы с раздробленной фазой — парцеллированными [6].

Под парцеллированными фазами подразумевается нахождение этих частиц на некотором расстоянии друг от друга или в непосредственном соприкосновении.

Исходной парцеллированной фазой могут быть твердые, жидкие тела или газы, которые в результате ряда химических, физических (фазовых) превращений (растворение, сублимация, горение, испарение, конденсация, химические реакции) могут образовывать любую конечную фазу.

К типичным примерам парцеллированных систем относятся: коллоидные растворы — аэрозоли и золи в жидкостях, раздробление фазы в них доведено до независимых свободных частиц;

порошки, в которых степень независимости отдельных частиц ниже, чем у коллоидов;

пористые тела, гели, поликристаллические агрегаты;

пены, в которых парцеллированными следует считать как газ, так и жидкость.

В ряду разнообразных дисперсных систем пыль занимает вполне определенное место. Однако в литературе можно встретить весьма противоречивые определения понятия «пыль».

Наиболее правильным определением понятия «пыль» можно считать: пыль — это одна из дисперсных систем, состоящая из га-

¹ Коагуляция (лат. coagulatio — свертывание, затверждение) — процесс превращения коллоидного раствора в гель или процесс выпадания в растворе осадка.

² Парцелла (фр. parcelle) — частица.

зоообразной среды и твердой дисперсной фазы, имеющей частицы различных размеров, способные быть взвешенными в дисперсионной (обычно воздушной) среде более или менее продолжительное время в обычных естественных и производственных условиях.

2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА АЭРОВЗВЕСЕЙ

Диспергированное в газе твердое или жидкое вещество приобретает сильно развитую поверхность. Для примера можно указать, что капля воды, диспергированная в туман, с размером частиц $4 \cdot 10^{-4}$ см, обладает общей поверхностью 1500 тыс. см², а при раздроблении 1 см³ твердого тела кубической формы на отдельные частицы такой же формы поверхность увеличивается с 6 см² при длине ребра куба 1 см до 60 000 см² при длине ребра куба каждой частицы 1 микрон. При этом число частиц возрастает в 10^{12} раз.

Благодаря диспергированному состоянию, вещество приобретает ряд свойств, отличающих его от исходного продукта. Из свойств аэровзвесей наиболее важными являются: химическая активность, адсорбционная способность, зарядность частиц.

Химическая активность. Скорость протекания химических реакций при взаимодействии отдельных частиц зависит (при прочих равных условиях) от легкости, с которой они могут быть приведены в соприкосновение. Известно, что газы реагируют с наибольшей скоростью. Скорость реакции между жидкостями значительно меньше по сравнению с газами, а между твердыми веществами — еще меньше.

Химическая активность того или иного вещества зависит от многих факторов, в том числе от его удельной поверхности, которая, как мы знаем, может быть увеличена раздроблением. Под удельной поверхностью понимается отношение поверхности частицы к ее объему или весу.

Чем выше степень дисперсности твердого тела, тем больше его удельная поверхность, а значит, и химическая активность. Этим может быть объяснен ряд явлений, в том числе и интенсивность окислительных процессов. Этим, например, объясняется, что железо и цинк в сильно диспергированном состоянии самовозгораются на воздухе.

Химическая активность вещества увеличивается по мере роста степени дисперсности вследствие увеличения поверхностной энергии отдельных частиц.

Адсорбционная способность. Если газ или пар приходят в соприкосновение с поверхностью твердых частиц, то часть молекул газа или пара поглощается (адсорбируется)¹ на этой поверхности, образуя сгущенную фазу в виде тонкой пленки.

¹ Адсорбция (происходит от лат. ad — при и sorbere — глотать) — поверхностное поглощение, поглощение какого-либо вещества из газообразной среды или раствора поверхностным слоем твердого вещества.

Молекулы, образующие пленку, могут выходить из нее за счет испарения в окружающую среду, а также за счет проникновения (диффузии) вглубь частиц диспергированного вещества. Процесс поглощения пара или газа будет продолжаться до тех пор, пока скорость поглощения не будет равна скорости испарения и диффузии, т. е. пока не установится равновесие. В равновесном состоянии пленка, предельно насыщенная газом, прочно окутывает твердые частицы аэрозвеси.

Возникающие на поверхности частичек диспергированного вещества газовые пленки повышают устойчивость (стабильность) аэрозоля, а с другой стороны, эти газовые пленки увеличивают химическую активность при адсорбции, например, кислорода, или, наоборот, — понижают ее при адсорбции азота либо углекислого газа.

Изучено, что чем легче сгущается газ, тем легче он адсорбируется. Так, например, углекислый газ, пары воды, пары органических растворителей адсорбируются легче, чем такие газы, как кислород, азот или водород.

Чем выше давление и чем ниже температура среды, тем адсорбция протекает энергичнее и быстрее.

Количество адсорбированного газа единицей веса данного твердого вещества пропорционально величине поверхности, т. е. удельной поверхности, иными словами, пропорционально степени дисперсности адсорбента.

Повышенной адсорбционной способностью обладают пылевые частицы пористой структуры. Так, например, 1 л сажки может адсорбировать 950 см^3 воздуха.

При размоле сахара в шаровых мельницах, по мере увеличения поверхности и роста адсорбции воздуха, в аппарате образуется значительный вакуум.

Многие вещества в порошкообразном состоянии при высокой степени дисперсности обладают текучестью. Это свойство пылей используется при транспортировке порошковой продукции (цинковой пыли, угольной в пылеприготовительных установках и др.) по трубопроводам на значительные расстояния.

Зарядность частиц. Твердые или жидкие частицы дисперсной фазы могут приобретать заряд путем непосредственной адсорбции ионов из газовой среды, при трении частиц друг о друга и о другие поверхности, при конденсации пара и пр.

Причиной ионизации газов может быть действие ультрафиолетовых лучей, лучей радиоактивных веществ, а также контакт с нагретым телом.

Вследствие зарядности частиц стабильность аэрозольной системы повышается или понижается в зависимости от того, несут ли они одноименные или противоположные по знаку заряды.

Исследование зарядности различных пылевых частиц при рассеивании их в воздухе показало, что пыли неметаллические получают положительный заряд, металлические — отрицательный, пы-

ли кислотных окислов — положительный, пыли основных окислов — отрицательный. Знак заряда для частичек солей зависит от относительной силы кислоты и основания.

Величина потенциала статического электричества при прочих равных условиях зависит от скорости движения аэрозоля, концентрации пыли и степени ее измельчения.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИСПЕРСНОСТИ ПЫЛИ

Из предыдущего параграфа видно, что все основные свойства пыли определяются главным образом степенью ее измельченности.

Таким образом, знание степени дисперсности или тонины помола пылевидной продукции необходимо для правильной оценки пожарной опасности данного производства.

Наиболее тонкие фракции пыли легко переходят во взвешенное состояние, образуя сравнительно устойчивые пылевые очаги, а оседа образуют, как увидим ниже, наиболее опасные в пожарном отношении залежи пыли (гель). В то же время грубые пылевые частицы, неспособные удерживаться во взвешенном состоянии, быстро оседают и не образуют опасных концентраций. Это вызывает необходимость ознакомления с существующими способами определения степени дисперсности пылей.

При изучении аэровзвесей обыкновенно определяют наибольший поперечник частиц, называя его неправильно диаметром. В действительности пылинки имеют неправильную форму и шаровые частицы почти не встречаются.

Единицей измерения размеров пылинок служит микрон. Иногда размеры пылинок выражают в долях сантиметра. Например, размер частицы в $1,5 \cdot 10^{-5}$ см соответствует 0,15 микрона; размер частицы в 3,5 микрона соответствует $3,5 \cdot 10^{-4}$ см.

Существующие методы определения дисперсного состава размеров и числа частиц можно подразделить на следующие виды:

а) методы индивидуального изучения, основанные на непосредственном измерении размеров частиц (микроскопический анализ);

б) методы седиментометрии¹, основанные на принципе различной скорости оседания частиц в спокойной, обычно жидкой, среде (дробное оседание, отмучивание, измерение плотности столба суспензии и пр.); границы применения этого метода — от 1 до 100 микрон;

в) методы динамические, основанные на принципе различной скорости парения или витания частиц в восходящем вертикальном потоке среды, например воздуха. В отличие от методов седиментометрии среда, в которой происходит динамическое разделение, находится не в «абсолютно спокойном» состоянии, а в равномерно-поступательном движении.

¹ Седиментация (лат. sedimentum) — осадок.

Границы применения этого метода: от 2—10 микрон до 60—100 микрон;

г) методы механического разделения частиц, основанные на просеивании и фильтрации (ситовой и фильтрационный анализы).

Микроскопический анализ. Микроскопический анализ — это метод прямого, непосредственного измерения частиц размерами от 0,2—0,3 микрона и крупнее.

Достоинство этого метода заключается в возможности изучения формы, поверхности и структуры частиц. При достаточно большом числе измеренных частиц может быть охарактеризован дисперсный состав пыли. Недостатки метода: условность разделения на фракции, большая трудоемкость.

Размер пылинок определяется посредством окулярного микрометра (платинки с нанесенной шкалой), помещаемого внутрь любого микроскопа, и специальным объективным микрометром со шкалой от 0,01 мм.

При изучении высокодисперсных пылей используют увеличения микроскопа до 700—1200 и выше.

Из методов седиментометрии упомянем об отмучивании и измерении плотности столба суспензии¹.

Метод отмучивания. Метод отмучивания основан на следующем принципе: если наполнить цилиндр суспензией, образованной взмучиванием в воде измельченного вещества, и оставить его в покое, то более крупные частицы суспензии будут оседать быстрее частиц меньшего размера.

Размер частиц, осевших из столба воды измеренной высоты за известный промежуток времени, вычисляется по формуле, которая нами была рассмотрена.

Метод измерения плотности столба суспензии

При методе измерения плотности столба суспензии используют приборы или по типу весов Мора-Вестфала, например, прибор Фигуровского и Путиловой, или по типу сообщающихся сосудов и одноколенных манометрических трубок. Одним из совершенных методов этой группы является метод Ребиндера, при котором используются сообщающиеся сосуды и манометрическая трубка.

Отрицательными сторонами этого метода являются недостаточная подвижность мениска в наклонной манометрической трубке, необходимость заключительного отсчета через длительное время и т. д.

В результате анализа вычерчиваются кривые накопления осадка (по времени), которые подвергаются обычно графической обработке и расчету дисперсного состава, что также сопряжено со значительными погрешностями.

Из методов динамических упомянем ниже о методах промывания и продувания.

Методы промывания. Методы промывания (гидродинамические) имеют ряд недостатков, присущих седиментационным методам с исследованием в жидкой среде.

Методы продувания. Методы продувания (аэродинамические) или воздушной сепарации имеют широкое применение в технике пылеприготовления и обеспыливания.

Преимуществами аэродинамических методов являются: применение воздушной среды, простота весовых определений и характеристика дисперсного состава по поведению частиц в воздушной среде.

Недостатки этого метода — прилипание частиц к стенкам прибора, а так-

¹ Суспензия (лат. *suspensio* — подвешивание) — смесь двух (или более) веществ, из которых одно (твердое или жидкое) распределено в виде мельчайших частичек или капелек в другом (жидкости) во взвешенном состоянии.

же погрешность в расчете по средней скорости потока в цилиндрической части сепараторов.

Ситовой анализ. Из методов механического разделения наиболее часто применяется метод ситового анализа.

Ситовой анализ является самым распространенным и наиболее доступным из всех перечисленных выше методов определения степени дисперсности пыли. Он осуществляется путем просева навески исследуемой пыли последовательно через несколько сит с различными размерами отверстий (ячеек) в них. О крупности пыли судят по остатку ее на каждом сите. Обычно остаток на ситах выражается в процентах к весу навески исследуемой пыли.

К достоинствам этого способа относятся простота определения степени дисперсности пыли и возможность путем подбора сит устанавливать любое количество промежуточных фракций исследуемой пыли.

Применяемые для отсева сита весьма разнообразны.

Сита бывают с пробивными отверстиями (обычно крупными круглыми ячейками) и тканые.

Пробивные сита маркируют по величине диаметра отверстий.

Тканые сита маркируют по числу ячеек на одном погонном дюйме или на одном погонном сантиметре, иногда по числу ячеек на площади в 1 см^2 сита.

Тканые сита разделяются на металлические и шелковые. Металлические в свою очередь подразделяются на тканые, плетеные, крученые, сварные и пр. Плетеные и крученые сита изготавливаются обычно с большими ячейками — от 3 до 50 мм.

Тканые сита бывают двух родов: гладкие (полотняного переплетения) и саржевые, где нити основы и утка каждая в отдельности пересекаются через две, образуя ткань с диагональным рисунком.

Саржевая ткань из латунной проволоки применяется в сахарных, крахмально-паточных, химических, красочных и других производствах.

Шелковые сита изготавливаются преимущественно из белого или желтого шелка-сырца. Они весьма прочны, мало гигроскопичны, а поэтому не уступают лучшим металлическим (бронзовым) ситам.

Принятая в Советском Союзе система сит отражена в ряде стандартов (табл. 3).

Ткани шелковые для сит по ГОСТ 4403 — 48 вырабатываются ажурным или смешанным (ажурным и гарнитуровым) переплетением, образующим между нитями основы и утка свободные промежутки (ячейки) строго определенных размеров. Ткани для сит вырабатываются по основе и утку из крученого шелка.

Шелковые ткани для сит различают по весу, в зависимости от толщины нитей, — облегченные и утяжеленные.

Таблица 3

№	Наименование
ГОСТ 3584—47	Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками для абразивной промышленности
ГОСТ 2715—44	Сетки металлические проволочные. Классификация. Характеристика и основные размеры
ГОСТ 2851—45	Сетки металлические проволочные. Шкала размеров ячеек
ГОСТ 3826—47	Сетки проволочные тканые гладкие с квадратными ячейками, общего назначения
ГОСТ 3584—50	Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками высокой точности
ГОСТ 3924—47	Сетки проволочные стальные тканые гладкие для мукомольной промышленности
ГОСТ 4403—48	Ткани шелковые для сит

Номер облегченного сита определяется числом ячеек на 1 погонный сантиметр.

Номер утяжеленного сита определяется числом ячеек на 10 погонных сантиметров.

Определение номера ткани производится отсчетом числа ячеек на 1 см по длине и ширине через ткацкий глазок (лупу), имеющий счетное отверстие в 1 см².

В практике угольной промышленности при исследовании взрывчатости угольной пыли образцы пыли просеиваются через сито № 20 (20 ячеек на линейном дюйме) и в качестве характеристики степени дисперсности показывается выход тонких фракций, проходящих через сито № 200, выражая этот выход в весовых процентах.

Для сопоставления данных ситового анализа по новым стандартным ситам, выпускаемым в СССР, со старыми ситами нумерация различных металлических сит и некоторые справочные данные по ним приводятся в табл. 4.

Таблица 4

№ сит	Число ячеек на			Число ячеек на 1 см ² сетки	Размер ячеек		Площадь ячейки в мм ²	Ближайший № сита по ГОСТ 3584—47	Живое сечение сетки в %
	парижском дюйме (27 мм)	английском дюйме (25 мм)	линейном см		в мм	в микронах			
20	20	20	7,8	60	0,85	850	0,57	085	38,7
50	54	51	20	400	0,29	290	0,066	03	33,4
100	105	99	38,7	1500	0,14	140	0,015	015	30,8
150	150	150	59,2	3505	0,10	100	0,0078	0105	29,0
200	200	188	74,0	5480	0,071	74	0,0043	005	30,7
250	250	235	92,6	8570	0,052	62	0,0030	003	28,6
325	350	325	130	16900	0,044	44	0,0015	0042	29,8

В табл. 5 приводятся справочные данные по применению шелковых сит в ситовом анализе порошковой продукции взамен металлических, проволочных.

Таблица 5

Металлические, проволочные сита				Шелковые сита
Нумерация сит		Размер ячеек в микронах	Число проволок на 100 мм сетки по ГОСТ 3584—50	Ближайший номер облегченной ткани по ГОСТ 4403—48
старая	метрическая			
20	0,5	850	71	11
50	0,3	300	193	32
100	0,15	150	370	67
150	0,105	105	513	76*
200	0,075	75	742	нет
250	0,063	63	842	нет
325	0,042	42	1300	нет

* № 76 — размер ячеек 130 микрон.

Пылеприготовительные установки электростанций Союза ССР в качестве стандартных сит для анализов угольной пыли принимают следующие пять номеров: 30, 50, 70, 80 и 100. Данные об этих ситах приведены в табл. 6.

Таблица 6

№ сит	Количество ячеек на 1 см ²	Размер ячеек в микронах	Диаметр проволоки в мм
30	900	200	0,130
50	2500	120	0,080
70	4900	86	0,055
80	6400	75	0,050
100	10000	60	0,040

Правила рассева и помольные характеристики, применяемые в пылеприготовительных установках, электростанций [5]

Образец пыли в количестве 25—50 г рассеивается на сите определенного номера. Остаток на сите является характеристикой помола и обычно обозначается буквой *R* с указанием в индексе номера сита. Так, *R*₈₀ означает остаток на сите № 80. Остаток выражается в процентах от взятого количества пыли.

Та часть пыли, которая проходит через сито, называется *проходом* или *просевом* и обычно обозначается буквой *D* с соответствующим индексом.

При ручном рассеве остаток пересыпают на более грубое сито например, с сита № 100 на сито № 80. Далее эта операция повторяется на следующих ситах вплоть до сита № 30.

Правилами устанавливается время отсева на каждом сите, причем на тонких ситах он должен производиться в течение не менее 10—15 мин., а на сите № 30 — 3—5 мин.

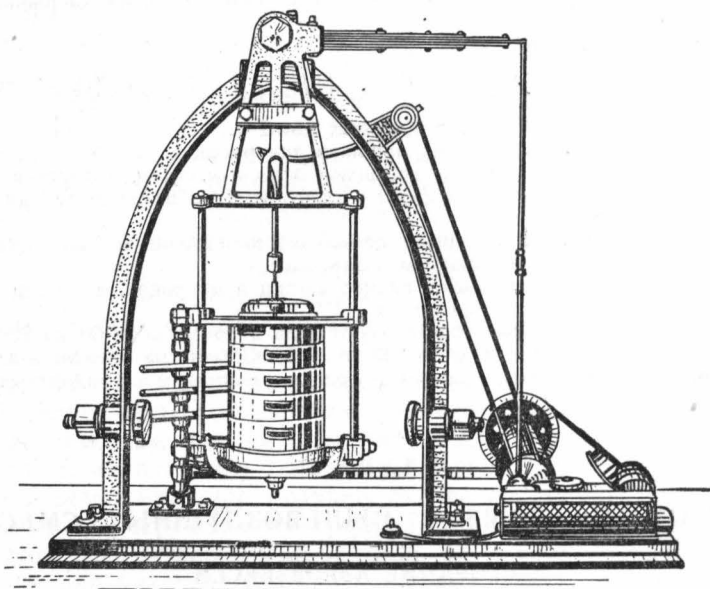


Рис. 1. Машинка для отсева.

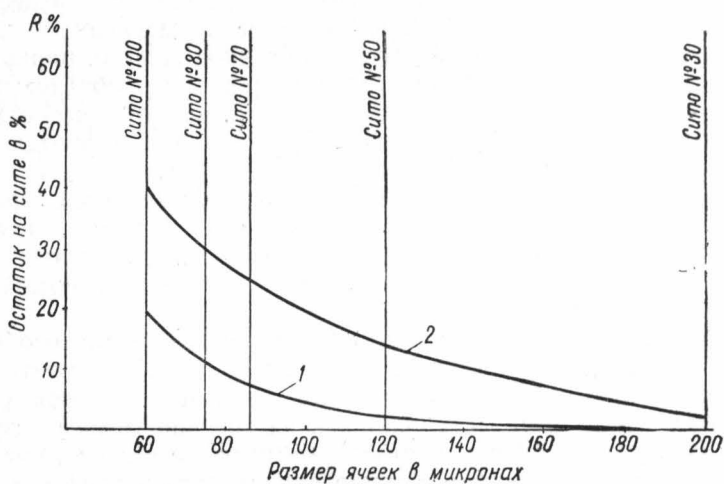


Рис. 2. Помольные характеристики промышленной пыли:
1 — тонкий помол; 2 — грубый помол.

Машинный способ отсева осуществляется посредством специальных механизмов в течение 20—30 мин.

При машинном способе отсева все пять сит устанавливаются стопкой одно на другое, причем наверху — сито № 30.

Промежуточные остатки на ситах называются фракциями и обозначаются буквой F . Так, например, фракция на сите № 70 обозначается $F_{50/70}$. Это указывает, что пыль проходит через сито № 50, но задерживается на сите № 70.

Очевидно, что для машинного отсева:

$$R_{30} + F_{30/50} + F_{50/70} + F_{70/80} + F_{80/100} + D_{100} = 100\%.$$

Потери обычно колеблются в пределах 1,5—2%.

На рис. 1 показан общий вид машинки для отсева.

В практике углеразмольных установок основным ситом считается сито № 70, по остатку на котором и судят о пригодности образца пыли для сжигания.

Наряду с этим дают неполные помольные характеристики по остаткам на всех пяти ситах с вычерчиванием диаграммы.

По оси абсцисс откладывают размер частиц в микронах, а по оси ординат — остатки R на ситах в процентах.

Вычерчиваемые кривые характеризуют пыль в пределах от 60 до 200 микрон, что соответствует ситам от № 100 до № 30. Обычно на этих же диаграммах наносятся ординаты, соответствующие отверстиям стандартных сит (рис. 2).

ГЛАВА II

ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ В ПЫЛЕВОЗДУШНЫХ СМЕСЯХ

1. СГОРАНИЕ АЭРОВЗВЕСЕЙ

Аэрозольные системы, в которых диспергированной твердой фазой являются горючие вещества (органические вещества, уголь, сера) или энергично окисляющиеся с выделением тепла вещества [алюминий, магний, восстановленное железо, цирконий, сульфиды некоторых металлов (FeS) и пр.], могут образовывать взрывоопасные концентрации и воспламеняться при нагревании до определенных температур, т. е. представляют значительную опасность в пожарном отношении.

Сгорание аэровзвесей несколько отличается от процесса горения газовых смесей и паров горючих жидкостей. Вместе с тем по своей природе, по механизму распространения горения этот процесс в наибольшей мере приближается к сгоранию воздушно-газовых смесей.

За последние десятилетия многими исследованиями, особенно школы акад. Н. Н. Семенова, установлено и экспериментально подтверждено, что все горючие тела сгорают в газовой фазе. Это утверждение распространяется и на горение твердых взрывчатых веществ, вопреки существовавшему ранее взгляду, что сгорание взрывчатых веществ должно происходить в пределах конденсированной фазы.

При наблюдении за процессом горения аэровзвесей в потоке, например, в прозрачной кварцевой трубке, в которой создается нагретая зона, не трудно констатировать, что тепловое воздей-

ствие на взрыв сопровождается сложными физико-химическими процессами; воспламенение пыли происходит не сразу.

Внешние признаки протекания этого процесса следующие. В области температур 300 — 400° в горячей зоне трубки наблюдается искрообразование, которое характеризуется тем, что отдельные частицы пыли, будучи нагретыми, перемещаются в потоке более холодных частиц, оставляя светящийся след. При дальнейшем повышении температуры, до 500 — 600 — 700°, последовательно усиливающееся от искрения свечение переходит во вспышку с появлением короткого, быстро потухающего пламени, но без распространения пламени по запыленному объему. Наконец, при еще более высоких температурах нагретой зоны в трубке наблюдается быстрое воспламенение взвеси с распространением пламени по всей трубке. Эта область температур может быть названа областью самовоспламенения, а минимально наблюдаемая температура — условной температурой самовоспламенения (взрывообразования).

По тепловой теории горения причиной самовоспламенения являются активные центры медленно протекающих реакций с постепенным нарастанием температуры веществ в результате того, что выделяющееся при реакции окисления тепло не успевает отводиться в окружающую среду. Постепенное нарастание температуры тела ускоряет ход реакции, что в свою очередь создает условия для развития быстрого лавинообразного процесса.

Самовоспламенение взвеси находится в зависимости не только от условий теплоотдачи, но и в значительной мере от сближения взвешенных частиц, т. е. от концентрации пыли в воздухе и от степени измельченности частиц.

По данным исследования самовоспламенения различных углей в куче, произведенного Институтом теплофизики МГУ [8], температура самовоспламенения снижалась с тониной помола (в пределах 100 — 30 микрон), как это видно из табл. 7, на 30 — 60°.

Таблица 7

Наименование углей	Выход летучих на горючую массу в %	Температура самовоспламенения пыли при дисперсности в микронах		
		0—30	0—67	0—95
Украинский бурый	55	155	165	175
Кизеловский	41	175	185	205
Ткварчельский	37	160	200	228

Температура самовоспламенения приведенных пылей значительно ниже температуры самовоспламенения кускового угля данных сортов.



Это объясняется тем, что угольная пыль в условиях опытов МГУ была в состоянии геля, т. е. диспергированная и осажденная. В этом виде, по сравнению с исходным твердым веществом, масса угля отличается сильно развитой поверхностью, что обеспечивает повышенную химическую активность в процессе окислительных реакций. С другой стороны, максимальное сближение пылинок обеспечивает быструю передачу тепла реакции от одной частицы геля к другим частицам. Все это и определяет низкую температуру самовоспламенения осевшей пыли.

Самовоспламенение взвешенной пыли протекает в иных условиях по сравнению с осевшей пылью. При переходе геля во взвешенное состояние (аэрозоль), по мере увеличения расстояния между частицами, теплотери в окружающую среду будут соответственно увеличиваться. Это неизбежно приведет к увеличению температуры, при которой можно получить эффект самовоспламенения.

Вместе с тем скорость сгорания аэрозоля будет больше скорости сгорания аэрогеля, вследствие значительно большей поверхности соприкосновения частиц с воздухом.

Из рассмотрения вопросов, связанных с началом горения взвешенной пыли, можно сделать вывод, что отношение аэровзвесей большинства промышленных пылей и порошковой продукции к тепловому воздействию определяется величинами:

- а) температуры искрообразования в пылевоздушном потоке;
- б) температуры вспышки аэровзвеси;
- в) температуры самовоспламенения аэровзвеси.

Под этими температурными показателями, в отличие от таких же для газо-паровоздушных смесей, следует подразумевать не температуру самих частиц или дисперсионной среды, а температуру источника зажигания, т. е. нагретой поверхности, соприкосновение с которой в течение весьма короткого промежутка времени, измеряемого долями секунды, приводит соответственно к искрению, вспышке или самовоспламенению.

Все эти температурные показатели не являются строго определенными величинами и не могут рассматриваться как физико-химические константы.

С практической точки зрения знание этих температурных показателей необходимо при оценке пожарной опасности тех или иных производственных процессов. Так, например, температура искрения показывает, при каких тепловых условиях в пылевоздушном потоке (в аспирационных системах, в сушильных агрегатах, пневмотранспорте и пр.) могут появиться искры и когда усиливающееся искрение может перейти во вспышку и быстро потухающим пламенем.

Единичные искрящие частички, а также местная вспышка аэровзвесей могут вызвать горение осевшей пыли.

Эти температурные показатели (т. е. температура искрения и температура вспышки) характеризуют пожарную опасность пы-

лей с точки зрения возможности возникновения в производственных условиях загораний или хлопков.

На это следует обратить внимание еще и потому, что с подобными не приносящими ущерба явлениями производственники зачастую мирятся, а причины искрения и хлопков часто не исследуются.

Температурный показатель самовоспламенения аэровзвеси показывает, при каких тепловых условиях может иметь место распространение пламени и взрыва по всему запыленному объему. Этот температурный показатель характеризует именно взрывоопасность пыли в состоянии аэровзвеси. При этой температуре сгорание аэровзвеси происходит обязательно с повышением давления в системе.

2. СГОРАНИЕ ОСАЖДЕННОЙ ПЫЛИ (АЭРОГЕЛЯ)

В свете представлений современной химической кинетики, изучающей скорости химических превращений, момент взрыва соответствует той критической точке — границе химической устойчивости материи, при которой силы пассивного сопротивления теряют способность противостоять внешнему воздействию (в данном случае, например, температуры) и материя почти мгновенно переходит в иные, более устойчивые формы.

С точки зрения диалектического метода познания сложных явлений природы, к которым, несомненно, следует отнести и взрыв, проявляющийся как качественный скачок, ему должны предшествовать количественные изменения, количественные накопления. Эти количественные накопления и будут теми причинами, которые приводят к взрыву.

В главе I говорилось, что процессу взрыва аэровзвеси предшествуют такие количественные изменения, как постепенное накопление тепловой энергии, выделяющейся в результате реакции окисления, а также образование газовой фазы.

Таким образом, изучив количественные накопления и сопутствующие им явления в развитии химического превращения, можно с полным успехом на этом принципе построить предупреждение нежелательного для нас течения процесса, приводящего к взрыву. Особенно важно было бы изучить роль газовой фазы и проверить, не является ли причиной развития окислительных реакций появление в дисперсионной среде горючих газов, как результат термического распада твердых частиц.

Изучение этого процесса в движущемся потоке аэровзвеси представляет значительную трудность, поэтому автором совместно с В. В. Хлебниковой изучался термический распад пылевидной продукции некоторых кормовых средств в состоянии аэрогеля.

Основной целью исследований было изучение явлений, предшествующих пламенной стадии горения пылей.

Исследованию подвергались кинетика выделения газа при постепенном нагреве порошковой продукции, состав газов пиролиза, минимальные температуры образования окиси углерода и углекислоты в газах пиролиза.

Надо заметить, что были произведены лишь предварительные исследования, не претендующие пока на строго количественную оценку процесса.

Ниже приведены краткие описания методов расшифровки явлений, которые дают некоторое представление о роли горючих газов в процессе подготовки пыли к горению.

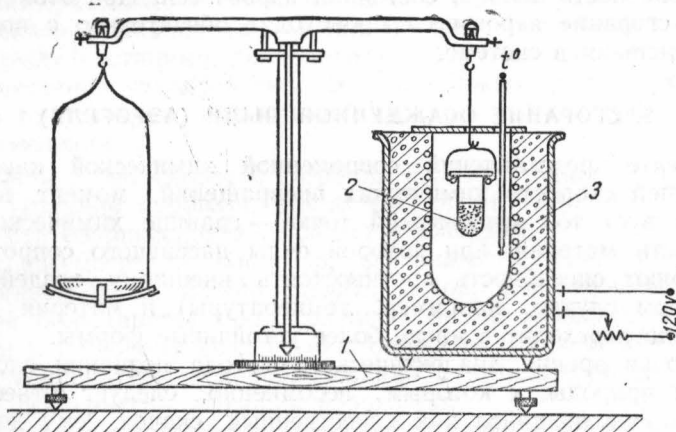


Рис. 3. Схема лабораторной установки для определения газоотдачи при пиролизе осажденной пыли (геля):
1 — весы технические; 2 — пробирка с навеской пыли; 3 — тигельная печь.

Исследования велись в области температур значительно ниже температур вспышки, так как имели своей задачей:

- а) определение температур, при которых начинается газовыделение;
- б) определение состава газа пиролиза в области температур, близких к температуре искрения аэровзвеси, и, в частности, определение количества горючих газов;
- в) определение температуры или области критических температур, выше которых, вследствие превышения теплоприхода над теплоотдачей в окружающую среду, возможно самовоспламенение исследуемой пыли.

Методика изучения кинетики выделения газа при постепенном нагреве порошковой продукции

Для того чтобы определить потери в весе при нагревании и приращение газовыделения навеска сухого вещества фракции 850 микрон в количестве 3 г смешивалась с 10 г песка и помещалась в пробирку 2 (рис. 3). Песок предварительно просеивался, промывался соляной кислотой и водой и прокаливался в муфеле.

Пробирка на длинной проволоке прикреплялась к сережке технических весов 1 вместо чашки и опускалась в тигельную печь 3; другая чашка весов уравнивалась разновесом.

Температура измерялась термометром, опущенным в тигельную печь так, что ртутный шарик термометра находился на одном уровне с дном пробирки.

Для предохранения весов от тепловых конвекционных токов тигельная печь покрывалась асбестовой крышкой с двумя отверстиями. Одно отверстие служило для свободного прохода проволоки, на которой подвешена пробирка, другое — для термометра.

Нагрев тигельной печи велся со скоростью 2—3° в минуту и регулировался реостатом.

Через каждые 10° определялась потеря в весе вещества, находящегося в пробирке, для чего с чашки весов снимались разновесы до полного равновесия весов.

Результаты опыта выражались двумя кривыми (рис. 4).

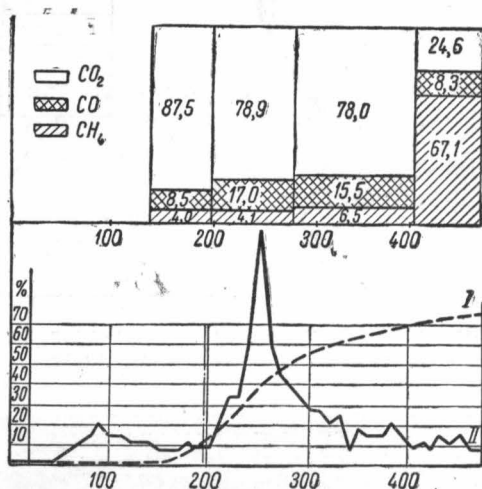


Рис. 4. График кривых кинетики газоотдачи при пиролизе осажденной пыли и состав газов пиролиза:

I — кривая хода газовой выделения; II — кривая кинетики газовой выделения.

Кривая I строилась так, что каждому значению температуры соответствовала общая потеря в весе.

По оси абсцисс откладывалась температура, а по оси ординат — суммарная потеря в весе от начала опыта, выраженная в процентах. Эта кривая показывала ход газовой выделения с повышением температуры.

Кривая II строилась так, что каждому значению температуры соответствовало приращение газовой выделения. По оси абсцисс откладывалась температура, а по оси ординат — приращение газовой выделения за температурный интервал в 10°, выраженное в процентах. Эта кривая показывала изменение характера газовой выделения на отдельных участках (в избранных температурных интервалах) и отражала его кинетику.

Определение состава газов пиролиза

Разложение навески исследуемого продукта в количестве 10 г велось в стеклянной реторте (рис. 5 и 6), нагреваемой в тигельной печи. Жидкие погоны конденсировались в специальной колбочке, охлаждаемой водой. Газообразные продукты собирались в газосборнике, состоящем из пипеток с кранами, соединенных между собой гребенкой, что позволяло осуществлять фракционный отбор проб.

Для равномерного нагрева вещества и уменьшения вредного пространства в реторте навеска пыли смешивалась с 50—70 г хорошо промытого песка, прокаленного в муфеле и просеянного через сито с ячейками в 2 мм.

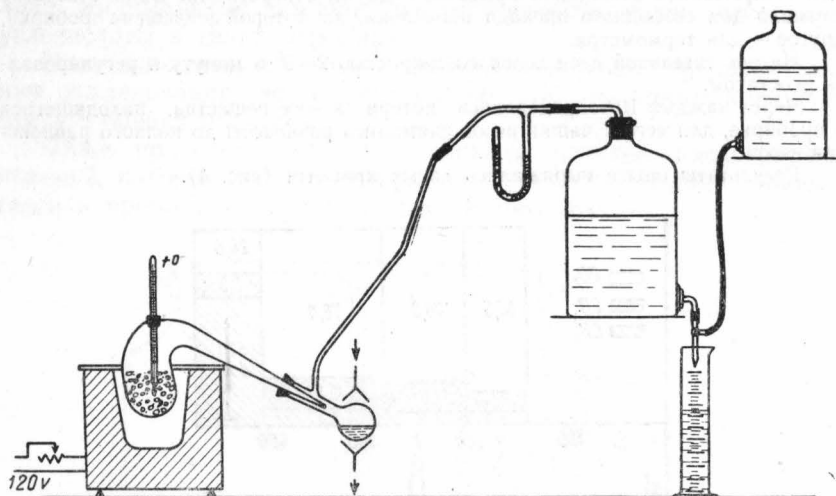


Рис. 5. Лабораторная установка для изучения пиролиза осажденной пыли (разложение в реторте).

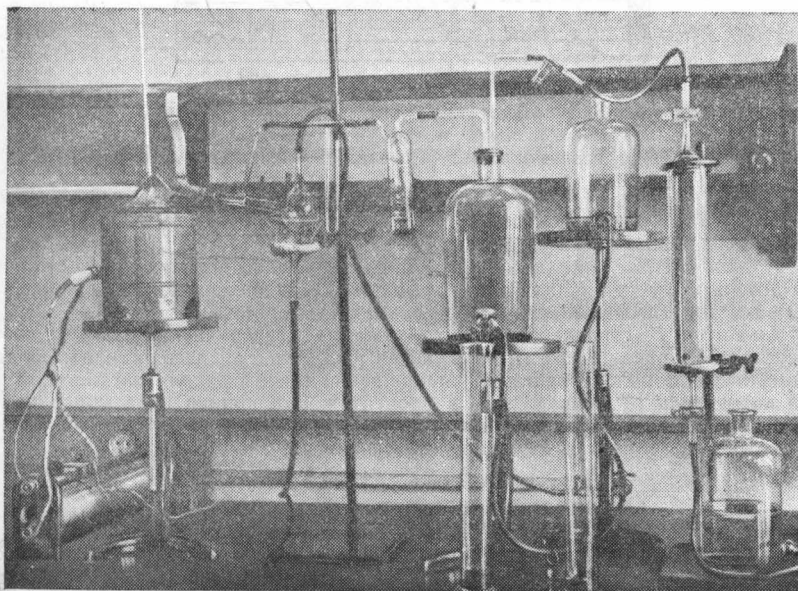


Рис. 6. Лабораторная установка для изучения пиролиза осажденной пыли (разложение в реторте).

Процесс разложения велся под небольшим давлением (2—3 мм вод. ст.), что осуществлялось присоединенной в конце уравнительной склянкой и регулировалось по водяному манометру.

Температура разложения измерялась термометром, введенным через пробку реторты в испытуемое вещество так, что ртутный шарик находился в центре слоя.

Нагрев реторты велся со скоростью 2—3° в минуту. Температурные интервалы, в которых отбирались пробы газа, устанавливались заранее по кривой характера газовыделения (см. рис. 4).

По достижении заранее заданной температуры нагревание прекращалось, газосборник отсоединялся и газы анализировались с определением углекислоты, кислорода, окиси углерода, отдельно водорода и метана.

Результаты анализа для каждого температурного интервала для наглядности изображались в виде диаграммы над графиком газовыделения (см. рис. 4).

Определение минимальной температуры образования окиси углерода и углекислоты в газах пиролиза

Процесс разложения (пиролиз) исследуемого вещества велся в токе чистого азота. Схема установки для определения минимальной температуры образования окиси углерода показана на рис. 7.

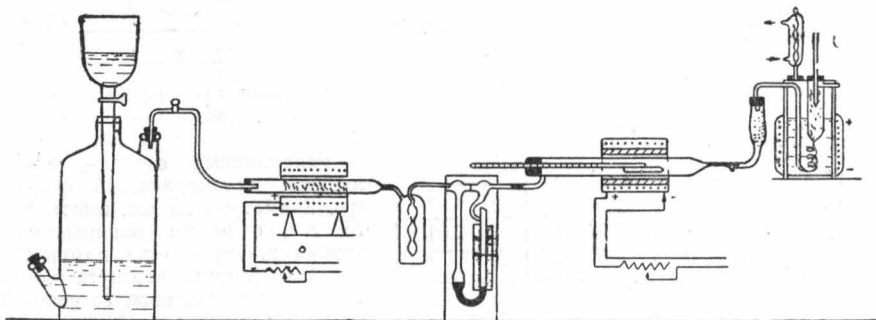


Рис. 7. Лабораторная установка для определения минимальной температуры образования окиси углерода.

Навеска пробы фракции 850 микрон около 0,5 г в фарфоровой лодочке помещалась в стеклянную трубку с одним оттянутым концом. С другого конца трубки на пробке вставлялся термометр так, что ртутный шарик его помещался над лодочкой. Трубка около пробки имела патрубок, через который подавался из газометра азот со скоростью 100—150 мл/мин. по реометру.

Азот (технический) до поступления в реакционную трубку пропусклся через раскаленную до 600—700° медную стружку и через промывную склянку со щелочным раствором пирогаллола.

Нагрев реакционной трубки осуществлялся кольцевой электропечью и регулировался реостатом.

Момент появления в газах углекислоты улавливался баритовой водой, окиси углерода — гопкалитовым термоиндикатором Т. М. Терновского.

Та температура, при которой наблюдались помутнение баритовой воды или подъем температуры в гопкалитовом слое термоиндикатора, принималась соответственно за минимальную температуру образования углекислоты или окиси углерода.

Методика определения критических температур загораемости осажденных пылей

Навеска испытуемого вещества в количестве 3 г помещалась в реакционный сосуд (рис. 8).

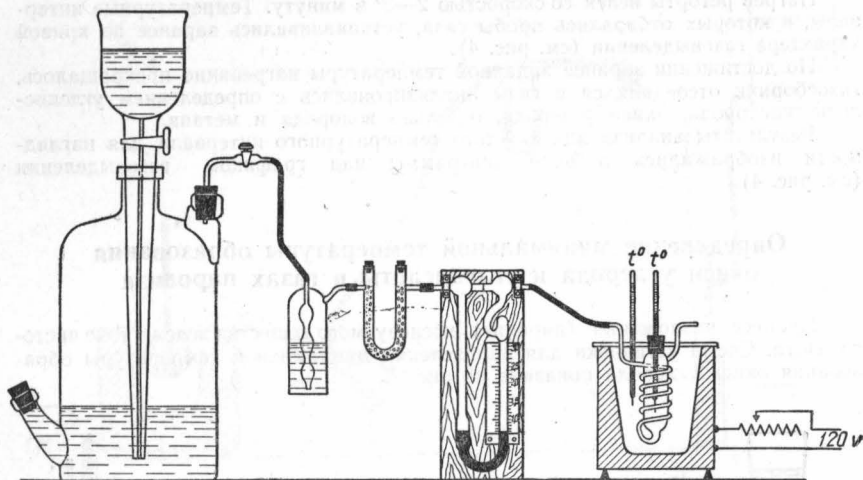


Рис. 8. Лабораторная установка для определения критических температур загораемости осажденных пылей.

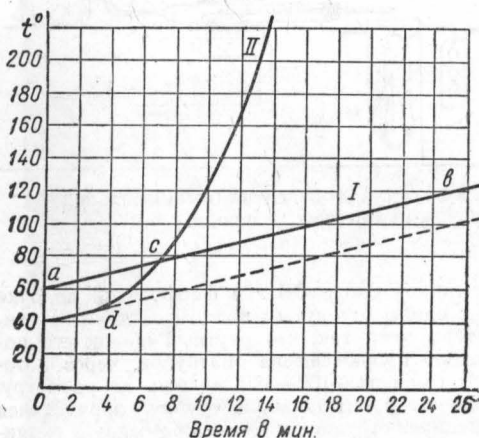


Рис. 9. График определения критических температур загораемости осажденной пыли: I — изменение температуры печи; II — изменение температуры осажденной пыли.

Реакционный сосуд — стеклянный, цилиндрической формы, диаметром 25 мм, высотой 75 мм, с двумя впаянными трубками. Трубка, по которой поступал воздух, изогнута четыре раза вокруг корпуса сосуда для подогрева поступающего воздуха. На дно помещался небольшой слой пемзы, а поверхность ее исследуемый гель. Через горловину реакционного сосуда в толщу осадка вводился термометр со шкалой до 360°. Установка собиралась, как указано на схеме (см. рис. 8). Реакционный сосуд помещался в воздушную баню (тигельная печь), в которой находился термометр для измерения температуры печи. Воздух поступал из газометра через промывную склянку с серной кислотой, хлоркальциевую трубку и реометр со шкалой до 3 л в минуту.

После сборки прибора воздушная баня нагревалась до начальной температуры опыта (25—30°), а затем в нее помещался реакционный сосуд и регулировался равномерный ток воздуха со скоростью 0,5 л/мин. по реометру.

Нагрев печи велся так, чтобы температура во время опыта равномерно повышалась со скоростью 3° в минуту. Запись показаний обоих термометров производилась одновременно через каждую минуту.

При нанесении результатов опыта на график (рис. 9), где по оси абсцисс откладывалось время в минутах, а по оси ординат — показаний двух термометров, получали две кривые. Кривая *I* показывала изменение температуры воздушной бани и при тщательно отрегулированном режиме печи представляла прямую линию (*ав*), а кривая *II* показывала ход изменения температуры в слое испытуемого осадка. При этом температура образца вначале несколько отставала от температуры печи, затем, после перегиба в некоторой точке *d*, пересекала кривую печи в точке *e*.

Эта характерная точка *C* указывает момент, с которого скорость выделения тепла от реакции становится больше, чем скорость теплоотдачи в окружающую среду. Температура, соответствующая этой точке, обычно принимается как «инициальная температура».

Значения инициальных температур являются условными, так как зависят от условий опыта.

Более характерной является точка *d* начала перегиба кривой *II*, по которой можно установить более точно критическую температуру начала экзотермического процесса окисления, приводящего к самовоспламенению.

Критериями относительной чисто качественной оценки загораемости осажденной пыли геля являлись:

- а) значение критической температуры (по точке *d* перегиба кривой);
- б) значение инициальной температуры (по точке *c*);
- в) время в минутах от начала опыта до момента пересечения кривых.

Значения инициальных температур для большинства исследованных кормовых продуктов лежат в области $200\text{--}250^{\circ}$. Минимальное значение их 196° получено для пшеничных отрубей (см. табл. 8).

Изложенная методика исследования загораемости осажденной пыли (геля) не претендует на количественную оценку этого сложного, не изученного еще процесса самоокисления, приводящего к самовоспламенению.

По сути дела эти определения должны рассматриваться лишь как качественная характеристика различных промышленных пылей для приближенной сравнительной оценки степени их пожарной опасности.

Что же касается более углубленного исследования этих процессов, то следует учитывать, что конечной фазой качественно выявленного признака саморазогревания исследуемой пыли является самовоспламенение, т. е. появление накаливаемого очага или отделяющихся в потоке воздуха искр. Этим как бы завершаются все предшествующие химические и тепловые процессы скрытого периода — стадии адсорбции и хемосорбции.

Наибольшего теплового эффекта этот процесс достигает при замедленной теплоотдаче в окружающую среду, т. е. в условиях, более близких к адиабатическим, чем к изотермическим.

По высказанным соображениям изучение процесса самовоспламенения, особенно в начальной стадии — саморазогревания в предельных, близких к адиабатическим условиям, должно производиться на специальной установке в адиабатическом калориметре.

Только по результатам таких исследований можно точно оценить степень пожарной опасности промышленных пылей и даже установить время, по истечении которого самоокисляющийся гель делается опасным в смысле возможного его самовозгорания и самовоспламенения.

Адиабатический калориметр был впервые осуществлен в 1915 г. Впоследствии значительные усовершенствования были внесены в автоматический калориметр с дифференциальной термобатареей, с помощью которой адиабатика автоматически достигалась с точностью до $0,013^{\circ}$ при работе в интервале температуры от 40 до 140° .

Адиабатическая установка С. З. Макарова и В. Ф. Орешко [34] была построена в институте горного дела Академии наук СССР для изучения процесса самовозгорания горных пород и полезных ископаемых. Она обеспечивала постоянство разности температур между калориметрической жидкостью и

испытуемым углем с точностью до 0,01°С. Установка рассчитывалась для температур от 50 до 150°.

Данные исследований шести образцов кормовых продуктов помещены в табл. 8.

Таблица 8

Наименование образцов промышленных пылей	Данные пиролиза							Минимальные температуры для взрывов в °С	
	Температура в °С		Инициальная температура	Содержание горючих в газовой фазе					
	начала газовой выделения	максимума газоотдачи		температура в °С	содержание в %	температура в °С	содержание в %	искрения	вспышки
Жом свекловичный	120	240	240	240	21	до 420	53	415	625
Шрот хлопчатниковый	130	240	238	240	10	до 360	45	355	850
Кукурузные початки	130	240	246	240	21	до 420	53	355	440
Сено	140	220	225	220	22,5	до 310	44	324	725
Отруби пшеничные	140	250	196	250	21	до 470	75	470	750
Жмых хлопчатниковый	150	225	225	225	11	до 420	57	415	550

По результатам даже небольшого числа исследованных образцов можно увидеть некоторые закономерности в кинетике их термического распада, а также в накоплении в газовой фазе горючих (окси углерода, метана).

Исследования дали возможность предположить, что горючие газы, окутывая частицы, могут способствовать как зажиганию самой частицы, так и распространению горения на соседние частицы взвеси.

Из этих данных видно, что термический распад, характеризующийся газовыделением, начинается с низких температур — 120 — 150°. Максимум газоотдачи лежит в области температур 220 — 250°, но к этому времени содержание горючих газов не превышает 10 — 20%. К моменту искрообразования их содержание уже достигает 44—57%, а в некоторых случаях и более (при пиролизе отрубей — 75%).

Это еще раз подчеркивает зависимость температурных показателей загоряемости взвесей — искрообразования и вспышки — от наличия в газовой фазе горючих газов.

Методика определения температуры самовоспламенения осажженной промышленной пыли (геля) в токе воздуха

Конечной фазой качественно выявленного признака самонагрева исследуемой пыли является самовоспламенение. Этим

как бы завершаются все предшествующие тепловые и химические процессы скрытого периода — стадии адсорбции и хемосорбции.

Рассматриваемая методика преследовала цель создания оптимальных условий для определения наинизшей температуры самовоспламенения исследуемых промышленных пылей. Определение температур самовоспламенения велось в кольцевой печи 1 (рис. 10) с кварцевой трубкой 2 диаметром 19 мм. Исследуемая в определенной по степени дробления фракции пыль помещалась в виде небольшой кучки в фарфоровую лодочку 3, к которой крепилась термопара (или термометр) 4, что обеспечивало

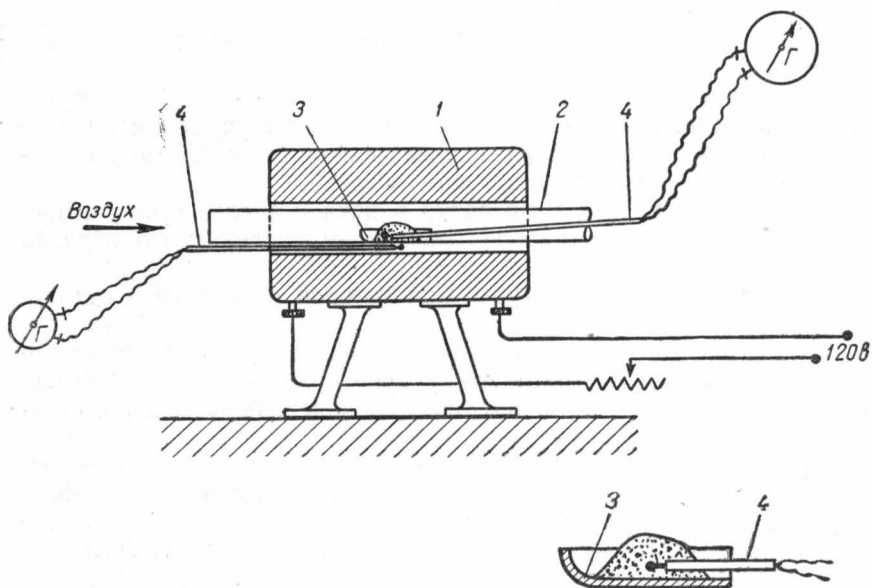


Рис. 10. Лабораторная установка для определения температуры самовоспламенения осажденной пыли в токе воздуха;

1 — кольцевая печь; 2 — кварцевая трубка; 3 — фарфоровая лодочка; 4 — термопара.

надежное соприкосновение с исследуемой пылью. Нагрев печи велся равномерно со скоростью 5° в минуту и регулировался реостатом.

Запись показаний термометра, помещенного в печь у лодочки, производилась через каждые 30 сек. и по этим данным строилась кривая скорости нагрева печи. При хорошо отрегулированном режиме печи кривая нагрева ее изображалась на графике прямой линией I (см. рис. 9). Одновременно снимались показания термометра, помещенного в кучу исследуемой пыли (кривая II).

В кварцевой трубке поддерживался равномерный ток возду-

ха со скоростью $2,0 \text{ л/мин}$ по реометру, что соответствовало линейной скорости в сечении трубки $0,11 \text{ м/сек}$. Воздух предварительно подогревался в отдельном нагревателе до 80° .

Избранная скорость потока воздуха была экспериментально определена как оптимальная.

Так, при скоростях меньше $2,0 \text{ л/мин}$ получались завышенные значения температуры самовоспламенения вследствие недостатка поступающего в реакционную зону кислорода воздуха. При скоростях больше $2,2 \text{ л/мин}$ имел место значительный теплоотъем отходящим от реакционной зоны воздухом, вследствие чего также получались завышенные значения температуры самовоспламенения.

На основании этих результатов была избрана скорость подачи воздуха $2,0 \text{ л/мин}$.

При этом учитывалось, что линейная скорость $0,11 \text{ м/сек}$ является взвешивающей скоростью для частиц с размером 50 микрон , что допускало работу с пылями фракции от 850 до 75 микрон без риска уноса частиц током воздуха.

Кроме регистрации температур в печи и в слое пыли, непрерывно велось наблюдение за поведением исследуемого образца с фиксацией:

а) наименьшей температуры, при которой появлялся в отходящих газах дым;

б) момента появления начала свечения в куче вследствие образования тлеющего очага или у некоторых пылей (например, серной) вспышки с пламенем, или, наконец, первых искр, отделяющихся от кучи пыли.

Температура печи, при которой наблюдался один из перечисленных признаков самовоспламенения и вместе с тем был зафиксирован дальнейший самопроизвольный рост температуры в слое пыли, принималась за температуру самовоспламенения исследуемого геля (см. точку d кривой роста температуры, рис. 9).

Результаты определений температур самовоспламенения для аэрогелей по этому методу с сопоставлением их со значениями температур самовоспламенения для аэрозолей приведены в табл. 9.

В пояснение графы 6 табл. 9 приводится график (рис. 11), построенный по экспериментальным данным исследования пыли лигнина. Из графика видно, что характерная область температур между точкой d перегиба кривой роста температуры геля в слое и точкой c пересечения этой кривой с кривой нагрева печи (область $d \div c - 220 \div 240^\circ$) находится между наблюдаемыми температурами: появления дыма 210° и самовоспламенения 260° . Графический метод дает возможность уточнить значение наименьшей температуры самовоспламенения осажденной пыли.

В отдельных случаях (см. пп. 10 и 13 табл. 9) на графиках точка пересечения кривых точно совпадает с точкой перегиба кривой роста температуры в слое пыли.

Таблица 9

№ п.п.	Наименование образца	Температурные показатели пожароопасности осажденной пыли (геля) фракции 850 микрон				Температура самовоспламенения для аэрозвеси фракции 850 микрон °C
		Появление дыма (начало распада) °C	Самовоспламенение (наблюденное) °C	Пересечение кривых нагрева печи и саморазогрева образца (см. рис. 11) °C	Принятая температура самовоспламенения °C	
1	Сера (серный цвет)	185	190	205/265	205	575
2	Мучная ржаная пыль	245	Не замечено	245/2.0	245	600
3	Элеваторная пыль (рожь)	243	260	205/250	250	800
4	Пыль табачная	207	255	205/250	205	988
5	Чайная пыль	215	245	190/220	220	925
6	Рыбная мука	210	Не замечено	265/290	265	946
7	Пыль грушевая (кофе цикорий фабрики)	200	225	215/265	215	850
8	Пыль лигнина	210	260	220/240	220	775
9	Древесная мука	245	240	275/320	275	775
10	Хлопковая пыль (меланжевый комбинат)	260	320	225	225	800
11	Текстильная пыль (ватной фабрики)	245	275	243/260	245	Не взрывоопасная
12	Сланцевая пыль	235	260	190/225	225	830
13	Угольная пыль (подмо-сковная)	260	Не замечено	260	260	969

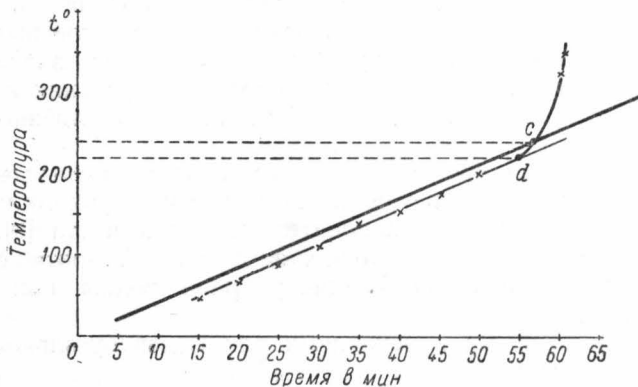


Рис. 11. График изменения температуры при самовоспламенении осажденной пыли лигнина.

Для образца подмосковной угольной пыли уточненное значение минимальной температуры самовоспламенения точно совпадает с наблюдаемым — появлением дыма (260°).

Из табл. 9 видно, что значения температур самовоспламенения для осажденной пыли в куче в токе воздуха по сравнению с температурами самовоспламенения для соответственных аэровзвесей лежат на несколько сот градусов (от 350 до 700°) ниже.

Это подтверждает высказанные соображения по результатам исследования самовоспламенения угольной пыли.

3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГОРЕНИЯ В ПЫЛЕВОЗДУШНОЙ СМЕСИ. ПРИРОДА ПЫЛЕВЫХ ВЗРЫВОВ

Выше уже указывалось, что сгорание аэровзвесей по механизму распространения пламени в наибольшей мере приближается к процессу распространения горения в газовых смесях. При воспламенении аэровзвеси в одной точке пламя с определенной скоростью распространяется на весь объем. Установлено, что скорости распространения пламени при сгорании аэровзвесей измеряются лишь несколькими метрами в секунду. Пылевые частицы, находящиеся перед фронтом пламени, за счет этого тепла нагреваются до начальной температуры распада, происходит их газификация, газы пиролиза диффундируют в зону горения и таким образом осуществляется их зажигание. Кроме того, есть основание предполагать, что мельчайшие диспергированные пылевые частицы способны диффундировать из зоны горения, опережая фронт пламени, и осуществлять таким образом зажигание подготовленной пылегазовой смеси.

Такие частицы называются де ф л а г р и р у ю щ и м и. Под дефлаграцией в теории взрыва подразумевается процесс распространения пламени, который по своей скорости значительно отличается от детонации.

Скорость распространения фронта пламени зависит в наибольшей мере от степени дисперсности аэровзвеси, а также от состава газов пиролиза, от содержания в них горючих газов.

У равных весовых концентраций крупной и мелкой пыли суммарная поверхность более крупных частиц будет значительно меньше, чем мелких, а потому и скорость прогревания и интенсивность газоотдачи крупными частицами соответственно будут меньше.

Исследованиями процесса распространения пламени в аэровзвесах угольной пыли, в том числе опытами широкого масштаба Макеевского научно-исследовательского института [9], показано, что в трубах или штольнях значительной протяженности можно зафиксировать образование ударной волны или волны сжатия.

Непосредственными измерениями для каменноугольной пыли было найдено что:

скорость распространения волны сжатия — 338 м/сек,

скорость движения воздуха позади волны сжатия — 30 м/сек,

скорость пламени — 7 м/сек,

скорость сгоревших газов позади пламени — 5 м/сек.

Этот режим со скоростью распространения, достигающей скорости звука, до некоторой степени приближающийся к детонационному режиму, устанавливается не за счет теплопроводности или радиации, а за счет сжатия прилегающих к фронту пламени слоев газа и связанного с ним резкого повышения температуры. В этом случае решающая роль в распространении взрыва, очевидно, будет принадлежать газовой фазе пиролиза аэровзвеси.

В условиях производства подобный механизм распространения взрыва может иметь место при значительных отложениях промышленной пыли в состоянии геля, которая обычно имеет высокую степень дисперсности. При возникновении даже самой небольшой вспышки местного значения (хлопка) аэрогель быстро переходит во взвешенное состояние, образует концентрации, значительно превосходящие первоначальные, что обеспечивает образование вторичного, более сильного пылевого взрыва.

Взрывная ударная волна, опережающая фронт пламени, по пути своего движения перевода во взвешенное состояние все большие и большие количества пыли, подготавливает питательную среду для пламени, и этим самым последовательно усиливается взрывной эффект.

4. ПРЕДЕЛЫ ВЗРЫВА АЭРОВЗВЕСИ

Существование концентрационных пределов взрыва аэровзвеси может быть объяснено следующими рассуждениями.

Уже указывалось, что термический распад твердой диспергированной фазы аэровзвеси, реакция окисления и образование промежуточных соединений, протекающие при сравнительно низких температурах, могут начаться ранее достижения критической температуры самовоспламенения.

Если тепловые условия обеспечивают самовоспламенение аэровзвеси, то для установления быстро протекающего взрывного режима необходимо наличие самой пыли, как горючего вещества, в известном количестве, чтобы обеспечить:

а) требуемое для теплообмена сближение диспергированных частиц;

б) выделение за этот скрытый (индукционный) период достаточного количества и надлежащего состава горючих газов, окутывающих газовой пленкой каждую частицу;

в) ускорение теплоприхода от развития реакции окисления до критического его значения, при котором начинается саморазогревание вследствие превышения теплоприхода над теплоотдачей в окружающую среду.

Это минимально необходимое количество взвешенной пыли, выраженное в граммах на кубический метр воздуха (или соответственно в миллиграммах на литр), при наличии всех прочих

оптимальных условий для возбуждения взрыва, называется нижним концентрационным пределом взрыва.

К необходимому условию взрывообразования относится в первую очередь наличие достаточной тепловой мощности источника зажигания, обладающего не только известной температурой, но и достаточно развитой поверхностью нагрева или длительностью теплового излучения.

В период индукции, а также при концентрациях пыли, еще не достигающих нижнего предела, или при источнике зажигания недостаточной мощности, можно наблюдать местное пульсирующее, быстро затухающее и слабо распространяющееся пламя, так называемое «балансирующее пламя».

Это явление, видимо, аналогично изученному Н. Н. Семеновым явлению холодного пламени для бедных газовых смесей, в частности сероуглерода. Объясняется это явление цепным характером окисления, причем активные центры, возникающие во фронте пламени, где температура значительно повышена, диффундируют в соседние холодные слои газа и этим создают условия возникновения цепной лавины.

По мере увеличения концентраций (выше его нижнего предела) наблюдается рост взрывных давлений до известного максимума, затем спад и, наконец, при известной концентрации взрывообразование прекращается. Максимальное количество взвешенной пыли, когда при наличии всех оптимальных условий взрывообразование прекращается, называется верхним концентрационным пределом взрыва.

Пыль, как говорят, сама себя тушит. На верхнем пределе, совершенно очевидно, не может происходить взрыва и даже полного сгорания вследствие недостатка в пылевоздушной смеси кислорода для сгорания или окисления пыли.

Между концентрационными пределами существует значение концентрации, соответствующее максимальной взрывчатости, при которой давление взрыва будет наибольшим.

Теоретически максимум взрывчатости должен соответствовать стехиометрическому соотношению горючей части аэровзвеси в данном объеме воздуха. Практически он несколько превышает стехиометрическое соотношение за счет неполноты горения аэровзвеси вследствие оседания частиц.

5. РАСЧЕТ СГОРАНИЯ АЭРОВЗВЕСЕЙ И ОЖИДАЕМЫХ ДАВЛЕНИЙ ВЗРЫВА

Расчет горения аэровзвеси может быть осуществлен различными путями в зависимости от конечной цели расчета и исходных данных, которыми мы располагаем.

Если твердая фаза аэровзвеси является индивидуальным химическим соединением (например, сахар, нафталин и пр.) или простым веществом (например, сера, алюминий, магний и пр.),

то для нее может быть определено стехиометрическое соотношение с кислородом воздуха по реакции горения. При этом можно также установить состав продуктов горения и будет ли иметь место увеличение объема смеси после сгорания.

Для аэровзвеси известного элементарного состава (например, для изученных топлив, кормовых и пищевых средств и пр.) может быть произведен теплотехнический расчет с определением состава и объема продуктов горения.

Задавшись теоретической температурой горения, можно ориентировочно рассчитать ожидаемое максимальное давление при взрыве.

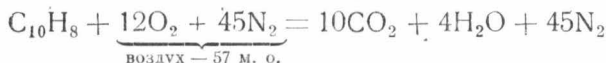
Наконец, располагая данными о теплоте горения вещества, составляющего твердую фазу заданной концентрации аэровзвеси и ее температурой, можно, по условно принятой теоретической температуре взрыва, определить давление в системе.

Ниже приводим несколько типичных примеров расчета.

Расчет сгорания, когда аэровзвесь — индивидуальное химическое соединение или простое вещество

а) Аэровзвесь нафталина

Реакция горения нафталина



Здесь азот взят из соотношения 79/21 к молекулярным объемам (м. о.) кислорода воздуха. В левой части равенства (до горения) имеется 57 молекулярных объема газов. В правой части равенства при нормальных условиях (0° и давлении 760 мм рт. ст.) вода будет сконденсирована, и мы получим объем продуктов горения равный 10 + 45 м. о., т. е. после сгорания имеет место не увеличение, а даже сокращение объема газов.

В действительности при повышенных температурах в момент взрыва вода будет в виде пара. В этом случае из 57 м. о. газовой смеси образуется (10 + 4 + 45) = 59 м. о. продуктов горения, т. е. имеет место небольшое увеличение объема.

Из этого можно заключить, что давление взрыва при сгорании нафталина образуется преимущественно за счет расширения газообразных продуктов от теплоты сгорания и в меньшей степени за счет увеличения их молекулярного объема.

Из этого же уравнения реакции видно, что для полного сгорания на один моль нафталина (молекулярный вес нафталина 128) требуется 57 молей воздуха, которые при нормальных условиях занимают объем: $57 \times 22,4 = 1270 \text{ л}$ или $1,27 \text{ м}^3$ (объем одной грамм-молекулы всех газов при нормальных условиях равен 22,4 л).

На 128 г твердого нафталина расходуется 1270 л воздуха следовательно, максимальная взрывчатость аэровзвеси нафталина определится:

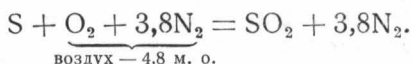
$$k = \frac{128}{1,27} \approx 100 \text{ г/м}^3.$$

Заметим, что по экспериментальным данным нижний предел взрыва для аэровзвеси нафталина составляет всего 2,5 г/м³.

Отсюда можно судить, что взрывоопасность этого вещества проявляется в очень широких пределах концентрации.

б) Аэровзвесь серы

Реакция сгорания:



При горении серы в воздухе объем исходных продуктов точно равен объему продуктов сгорания:

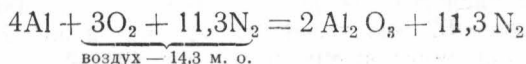
$$4,8 \times 22,4 = 107 \text{ л} = 0,107 \text{ м}^3.$$

Оптимальная концентрация аэровзвеси серы (молекулярный вес — 32) определится из расчета:

$$k = \frac{32}{0,107} = 290 \text{ г/м}^3.$$

в) Аэровзвесь алюминия

Реакция сгорания:



Из этого уравнения видно, что, кроме освобождающегося азота, никаких газообразных продуктов при взрыве алюминиевого порошка не образуется, так как окись алюминия выпадает в твердом виде.

Максимальная взрывчатость будет соответствовать концентрации алюминия (молекулярный вес — 27):

$$k = \frac{4 \times 27}{14,3 \times 22,4} = \frac{108}{320} = 0,337 \text{ г/л} = 337 \text{ г/м}^3.$$

Давление взрыва при сгорании аэровзвеси алюминия будет возникать исключительно за счет высокой температуры продуктов сгорания при взрыве, что подтверждается экспериментом.

Для тонко дисперсного порошка алюминия с размером частиц 0,3 микрона было получено давление взрыва 11,6 атм, причем максимальные давления были получены при концентрациях пыли алюминия 580 г/м³, т. е. при концентрациях, в 1,7 раза превышающих теоретическую (337 г/м³).

г) Аэровзвесь тростникового сахара

Реакция сгорания:



Как видно из реакции после взрыва продуктов сгорания образуется: $12 + 11 + 41,4 = 64,4$ м. о., т. е. наблюдается значительное увеличение против начального молекулярного объема газов (52,4 м. о.). В этом случае давление взрыва будет зависеть от двух причин: как от увеличения объема, так и от теплоты сгорания.

Определим максимальную взрывчатую концентрацию для аэровзвеси сахара (молекулярный вес 342).

Проведем этот расчет для температуры среды перед взрывом, равной 200°C .

Молекулярный объем при 200°C будет равен:

$$v_t = \frac{22,4(273 + 200)}{273} = 38,8 \text{ л.}$$

Максимальная взрывчатая концентрация будет равна:

$$k = \frac{342}{52,4 \times 38,8} = \frac{342}{2033} = 0,168 \text{ г/л} = 168 \text{ г/м}^3.$$

При нормальных условиях максимальная взрывчатость аэровзвеси сахара будет при концентрации:

$$k = \frac{342}{52,4 \times 22,4} = 0,292 \text{ г/л} = 292 \text{ г/м}^3.$$

Расчет сгорания аэровзвеси по известному элементарному составу

Рассмотрим принцип расчета сгорания аэровзвеси этой группы на конкретном примере.

Пусть заданная концентрация аэровзвеси кормовой продукции равна 200 г/м^3 .

Элементарный состав пыли: С — 45%; О — 42%; Н — 6,4%; N — 1,6%; золы — 5%.

Расчет ведем на 1 м^3 аэровзвеси.

В 200 г диспергированной твердой фазы, взвешенной в 1 м^3 воздуха, содержится (по весу): С — 90 г ; О — 84 г ; Н — $12,8 \text{ г}$; N — $3,2 \text{ г}$; золы — $10,0 \text{ г}$.

Допустим, что сгорание аэровзвеси протекает в две стадии.

В первой стадии, в области температур $200-400^\circ$, будет иметь место газификация с образованием горючих газов: метана и окиси углерода.

Во второй стадии будет иметь место сгорание образовавшихся горючих газов в пределах того же объема за счет кислорода воздуха в 1 м³.

Расчет первой стадии

Полагая, что весь водород пойдет на образование метана (CH₄) количество связываемого при этом углерода определим по пропорции:

$$12C - 4H$$

$$x - 12,8$$

откуда

$$x = \frac{12 \times 12,8}{4} = 38,4 \text{ г.}$$

Следовательно, выход метана будет $38,4 + 12,8 = 50,2 \text{ г.}$

Останется несвязанного углерода $90 - 38,4 = 51,6 \text{ г.}$

Оставшийся углерод 51,6 г образует окись углерода. Количество расходуемого при этом кислорода определится по пропорции:

$$12C - 16O$$

$$51,6 - y$$

откуда

$$y = \frac{51,6 \times 16}{12} = 68,8 \text{ г.}$$

Следовательно, выход окиси углерода будет: $68,8 + 51,6 = 120,4 \text{ г.}$

Подводя баланс кислороду, мы видим, что в проведенных условиях газификации останется $(84 - 68,4) = 15,6 \text{ г}$ свободного кислорода.

По этим данным рассчитаем объем газообразных продуктов первой стадии при начальной температуре газификации 200°.

$$CH_4 \dots \frac{50,2 \times 22,4 \times (273 + 200)}{16 \times 273} = 122 \text{ л;}$$

$$CO \dots \frac{120,4 \times 22,4 \times (273 + 200)}{28 \times 273} = 164,0 \text{ л;}$$

$$O_2 \dots \frac{15,6 \times 22,4 \times (273 + 200)}{32 \times 273} = 18,9 \text{ л;}$$

$$N_2 \dots \frac{3,2 \times 22,4 \times (273 + 200)}{28 \times 273} = 4,4 \text{ л.}$$

Итого округленно — 310 л.

Учитывая, что мы провели газификацию твердой фазы аэровзвеси без расхода кислорода воздуха, следует к полученному

объему 310 л газа прибавить с соответствующей температурной поправкой воздух:

$$\text{O}_2 \cdot \cdot \cdot 210 \text{ л, а при } 200^\circ: \frac{210 \times 473}{273} = 365 \text{ л.}$$

$$\text{N}_2 \cdot \cdot \cdot 790 \text{ л, а при } 200^\circ: \frac{790 \times 473}{273} = 1370 \text{ л.}$$

Общий объем продуктов газификации и воздуха при 200° — 2045 л.

Состав продуктов газификации по объему:

$$\begin{array}{r} \text{CH}_4 - 6,0 \\ \text{CO} - 8,0 \\ \text{O}_2 - 19,0 \\ \text{N}_2 - 67,0 \end{array}$$

Всего—100%

Вторая стадия сгорания (табл. 10).

Таблица 10

Количество сгорающих составных частей в м^3	Количество веществ, участвующих O_2 и N_2 в горении в м^3	Количество получающихся продуктов горения в м^3
0,06 CH_4	$\left[\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + \frac{158}{21} \text{N}_2 \right]$ 0,12 O_2 + 0,45 N_2	$\left[\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \frac{158}{21} \text{N}_2 \right]$ 0,06 CO_2 + 0,12 H_2O + 0,45 N_2
0,08 CO	$\left[\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \frac{39,5}{21} \text{N}_2 \right]$ 0,04 O_2 + 0,15 N_2	$\left[\text{CO}_2 + \frac{39,5}{21} \text{N}_2 \right]$ 0,08 CO_2 + 0,15 N_2
Свободный 0,19 O_2	—	0,19 O_2 — 0,16 O_2 = 0,03 O_2
Свободный 0,67 N_2	—	0,67 N_2 — 0,60 N_2 = 0,07 N_2
Всего в 1 м^3	0,16 O_2 + 0,60 N_2	0,14 CO_2 + 0,12 H_2O + + 0,03 O_2 + 0,67 N_2

Как видим, сгорание происходит почти без изменения объема, так как из 1 м³ газозвоздушной смеси получается продуктов горения 0,96 м³.

Из общего объема 2,045 м³ продуктов газификации при 200° получается продуктов горения 1,96 м³.

В полученный результат нужно внести температурную поправку на максимальную температуру взрыва.

Положим, что максимальная теоретическая температура взрыва была 1400° (по абсолютной шкале).

Объем продуктов горения при этой температуре:

$$v_t = \frac{1,96 \times 1400}{(200 + 273)} = 5,8 \text{ м}^3.$$

В объеме 1 м³ холодной аэровзвеси после сгорания образовалось избыточных $5,8 - 1,0 = 4,8 \text{ м}^3$, т. е. давление взрыва следует считать 4,8 *ати*.

Условно принятая нами максимальная температура 1400° (по абсолютной шкале) близка к действительности, так как по составу газы первой стадии следует отнести к низкокалорийным.

К низкокалорийным газам в технике относится, например, воздушный генераторный каменноугольный газ с теплотворной способностью 900 кал/м³, для которого температура горения принимается 1400° С [10].

В заключение следует отметить, что по различным литературным источникам наибольшие давления при взрывах промышленных пылей были зафиксированы (табл. 11):

Таблица 11

Наименование	Давление при взрыве в <i>ати</i>
Алюминиевая пудра, степень дисперсности 0,3 микрона . . .	11,6
Угольная пыль	8—10 *
Ликоподиевая пыль . .	4,2
Угольная пыль (артемовский уголь) . . .	4,75
Угольная пыль (кизельовский уголь) . . .	4,0

ГЛАВА III

ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПОЖАРО-ВЗРЫВООПАСНОСТИ АЭРОВЗВЕСЕЙ

При лабораторных исследованиях аэровзвесей образцы обычно используются до размера частиц порядка 70 микрон (сито

* При опытах широкого масштаба в большой штольне было зарегистрировано давление свыше 30 *ати* на удалении 200 м от очага взрыва [39].

№ 200—74 ячейки на линейном сантиметре, или 200 ячеек на линейном дюйме).

Промышленные же пыли, отобранные непосредственно с производств, в целях наибольшего приближения к реальным производственным условиям, исследуются в более грубой фракции — 850 микрон (сито № 20) с рабочей влагой. Для этих образцов определяется выход фракции 74 микрона, выражаемый в процентах, что характеризует степень дисперсности пыли.

Последний метод принят также Макеевским научно-исследовательским институтом при оценке и исследовании взрывоопасности угольной пыли [9, 12].

Для некоторых аэровзвесей желательно исследовать более тонкие фракции размером 42 микрона (сито № 0042 по ГОСТ 3584—47).

В отдельных случаях для особо тонких порошков (например, сухого молока, алюминиевой пудры) целесообразно давать микрометрическую характеристику методами седиментометрического или микроскопического анализов.

При лабораторном определении температурных показателей пожаро- и взрывоопасности, а также концентрационных пределов взрывоопасности аэровзвесей имеет решающее значение правильный выбор источника воспламенения для возбуждения взрыва.

Искровые возбудители вовсе неприменимы, так как обязательным условием эксперимента является измерение температуры источника зажигания.

По этим соображениям в описываемой ниже аппаратуре автором были применены источники зажигания в виде достаточно развитых накаливаемых поверхностей, нагрев которых регулировался с непрерывным измерением температуры нагретой зоны (трубки) или накаленной поверхности.

При помощи этих тепловых возбудителей могли быть воспроизведены следующие источники зажигания: тлеющие очаги, саморазогрев различных материалов в кучах (например, серы, эбонита, обтирочных материалов и пр.), искрение, перегрев подшипников, перегрев открытых электроламп, перегрев трущихся поверхностей, обладающих плохой теплопроводностью (жернова), а также любое открытое пламя.

Как было указано выше, для характеристики пожаро-взрывоопасности аэровзвесей (порошковой продукции и промышленных пылей) могут служить следующие температурные показатели: минимальная температура искрообразования в пылевоздушном потоке, температура вспышки и температура самовоспламенения аэровзвеси.

Простейшим прибором для их определения является описываемый ниже прибор с кварцевой трубкой.

1. ПРИБОР С КВАРЦЕВОЙ ТРУБКОЙ

Прибор состоит из следующих основных частей (рис. 12): распылительной камеры 1, кварцевой трубки 2, нагревательной печи 3, зажима 4, двух буферных склянок 5, двух ртутных манометров 6.

Распылительная камера (стеклянная) имеет впаянную тонкую трубку для распыления навески пыли и широкий патрубок, к которому присоединяется (на каучуке) кварцевая трубка диаметром 17—19 мм. Камера снизу закрывается резиновой пробкой.

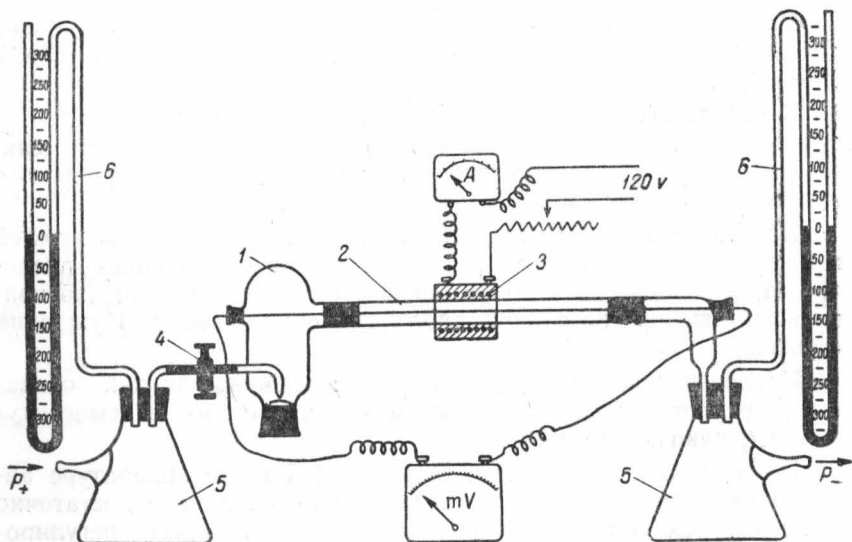


Рис. 12. Прибор (кварцевая трубка) для определения температурных показателей пожароопасности аэрозвесей:

1 — распылительная камера; 2 — кварцевая трубка; 3 — нагревательная печь; 4 — зажим; 5 — буферные склянки; 6 — манометры.

Нагревательная печь, охватывающая кварцевую трубку в центре, изготавливается из шамотной глины с заделкой в нее платиновой спирали из проволоки диаметром 0,3 мм, длиной 2 м. Печь подвергается осторожной сушке и затем прокаливанию в муфеле.

Рабочие температуры прибора достигают 1000°. Замер температур производится внутри кварцевой трубки путем помещения горячего спая платина — платинородиевой термопары в центре трубки. Ветви термопары выводятся наружу к гальванометру через отверстия в стенке распылительной камеры (слева) и колена трубки (справа) с каучуковыми пробками.

Винтовой зажим перехватывает каучуковую трубку перед распылительной камерой. Зажим, благодаря стопорному рычаж-

ку и пружине, дает возможность мгновенно производить выпуск в прибор воздуха требуемого давления.

Буферные склянки с присоединенными к ним ртутными манометрами служат воздушными резервуарами.

В левой части прибора до зажима создается избыточное давление в 500 мм рт. ст., а в правой части, включающей в себя распылительную камеру, кварцевую трубку и правую буферную склянку, создается разрежение порядка 300 мм рт. ст. (460 мм остаточного давления).

Навеска испытуемой пыли в количестве от 0,2 до 0,3 г помещается на пробку распылительной камеры.

Это количество пыли вполне обеспечивает образование как в распылительной камере, так и в реакционной зоне кварцевой трубки взрывоопасных концентраций, значительно превышающих нижний предел взрыва данной аэровзвеси. Оптимальные навески были экспериментально отработаны на различных образцах пыли, в том числе и угольных пылей.

Распыление навески производится коротким толчком воздуха при открывании зажима.

В момент открытия зажима 4 перепад давления от +500 мм до -300 мм обеспечивает просасывание пылевого облака через накаленную часть кварцевой трубки.

Отличительными особенностями этого прибора являются:

- а) надежное энергичное распыление испытуемой пыли;
- б) наличие в нем достаточно мощного кольцевого источника воспламенения в виде горячей зоны трубки;
- в) возможность наблюдения термического распада вещества (в пылевоздушном потоке) с фиксацией: минимальной температуры, при которой начинается образование искр; минимальной температуры вспышки с образованием короткого, быстро затухающего пламени в пределах горячей зоны трубки; минимальной температуры, при которой появляются начальные признаки распространения пламени по всей трубке.

Примечание. В ряде случаев точно установить температуру самовоспламенения на этом приборе не удавалось, так как энергичная вспышка могла быть принята за распространение пламени; в действительности же по длине трубки пламя протягивалось вследствие наличия вакуума в правой части прибора. В этих случаях контролем служили температуры самовоспламенения при наличии начальных признаков взрывных давлений, которые точно устанавливались на другом приборе.

2. УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЖНЕГО ПРЕДЕЛА ВЗРЫВЧАТОСТИ

Описание установки [38]. Установка состоит из следующих основных частей (рис. 13):

- а) взрывного цилиндра I с источником воспламенения,

- б) форсунки II для распыления навески испытуемой пыли,
- в) фоторегистра III,
- г) механизма IV, с помощью которого осуществляются передвижение фотопластинки и выпуск сжатого воздуха в форсунку (полуавтомат).

Взрывной цилиндр. Цилиндр стальной, толщина стенок 4,0 мм, высота 450 мм, диаметр 106 мм. Емкость цилиндра 3,97 л. Цилиндр I снабжен водяной рубашкой 2.

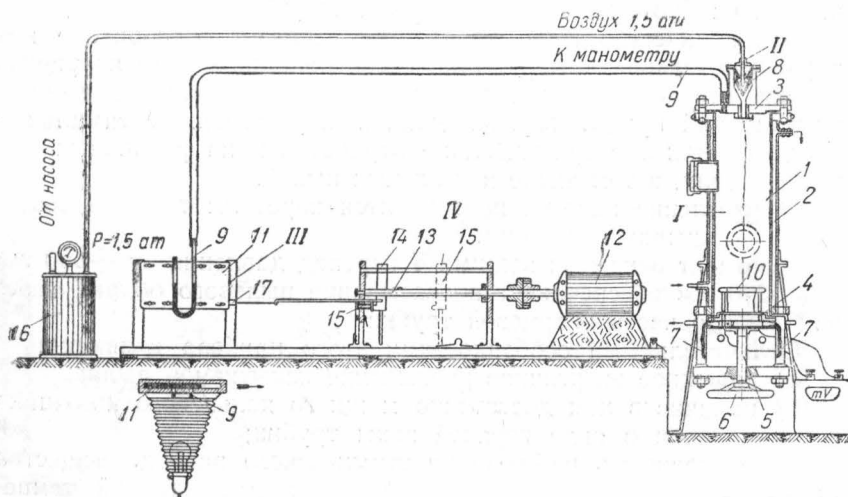


Рис. 13. Установка для определения нижнего концентрационного предела взрывоопасности аэрозвесей:

- I — взрывной цилиндр; II — форсунка для распыления навески пыли;
- III — фоторегистр; IV — механизм передвижения фотопластинки и подачи сжатого воздуха.

Верхняя крышка 3 цилиндра подтягивается откидными болтами. Нижняя крышка 4 цилиндра, также снабженная рубашкой, с помощью винта 5 и маховика 6 может опускаться по стяжным болтам 7. В верхней крышке в центре имеется око для ввертывания форсунки 8. В верхнюю же крышку заделан ниппель для присоединения толстостенной каучуковой трубки от манометра 9.

На нижней крышке помещается нагревательный элемент (источник воспламенения) 10, состоящий из шамотной пластинки с платиновой обмоткой.

Для большей точности замера температуры накала шамотной пластинки термopара помещалась в канал, расположенный по длине пластинки.

Фоторегистр. Приспособление для регистрации взрывных давлений (см. рис. 13) состоит из кассеты 11, манометра 9 и источника света. Кассета 11 состоит из двух свинченных стенок с промежутком, достаточным для помещения между ними фотопластинки. Передняя стенка кассеты имеет щель, против которой укреплено запаянное колено манометра 9.

В момент взрыва ртуть, поднимаясь в запаянном колене, затемняет расположенный против щели источник света. Нарастание давления при этом фиксируется на движущейся фотопластинке в виде диаграммы. Благодаря питанию лампы от переменного тока на фотопластинке фиксируется сетка, которая является масштабом времени соответственно 50 периодам в 1 сек. переменного тока (рис. 14).

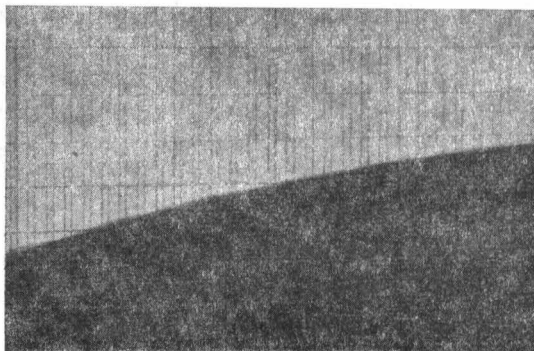


Рис. 14. Фотодиаграмма плавного нарастания давления в цилиндре, сетка — масштаб времени.

Механизм передвижения пластинки осуществляет блокировку момента впуска пыли во взрывной цилиндр и движения фотопластинки.

Механизм состоит из следующих основных частей (см. рис. 13): электромотора 12, ходового винта 13 с ползуном, винтового зажима 15 и системы переключателей фаз.

Винтовой зажим 15 предназначен для перехвата каучуковой трубки, подающей воздух в форсунку. Он приводится в действие с началом движения ползуна 14.

Работа на установке. В воздушный резервуар 16 (см. рис. 13) емкостью 1 л нагнетался воздух до давления в 1,5 атм. В конус форсунки отвешивалась испытуемая пыль. После того как установка подготовлена к опыту, включался источник нагрева и при красном свете производилась зарядка кассеты фотопластинкой. Включением пускателя все дальнейшие операции (включение света, начало движения кассе-

ты вправо, открытие клапана воздушного резервуара— взрыв в цилиндре, продвижение кассеты с фотопластинкой, выключение источника света, переключение фаз мотора на обратное движение и возвращение механизма в исходное, левое, положение) производились автоматически.

Фотопластинка тут же проявлялась и по характеру кривой давления делалось заключение о характере взрыва.

Количество пыли, перешедшее во взвешенное состояние (в миллиграммах), деленное на объемом взрывного цилиндра, определяло концентрацию ее при опыте, выраженную в миллиграммах на литр воздуха (или соответственно $г/м^3$).

На рис. 15 помещены фотодиаграммы. Нижняя диаграмма показывает плавное нарастание давления в цилиндре при впуске в него воздуха под давлением 1,5 ат.

На второй (снизу) кривой можно усмотреть начальный признак взрывообразования («бугорок»), который, как видим на последующих диаграммах, перерастает с увеличением концентрации во взрывное давление.

Момент взрыва совпадает с быстрым ростом давления (подъем кривой почти по вертикали), которое вызывает сначала подъем ртути в манометре, а затем колебательные движения мениска, вследствие чего и получается на снимке постепенно затухающая кривая.

На третьей (снизу) диаграмме кривая соответствует сгоранию аэрозвеси без проявления взрывных давлений.

На рис. 16 приведена фотодиаграмма зарегистрированного автором редкого явления — повторного взрыва, наблюдаемого при исследовании сернорудничной пыли при концентрации ее $800 г/м^3$ [11].

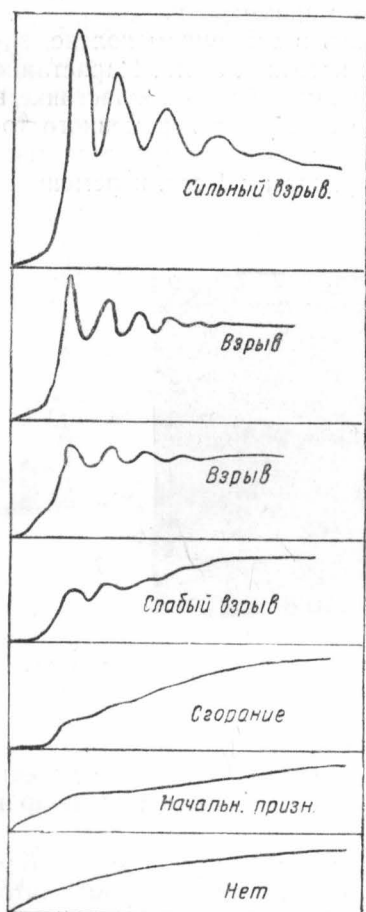


Рис. 15. Фотодиаграммы взрывных давлений, фиксируемых фоторегистром.

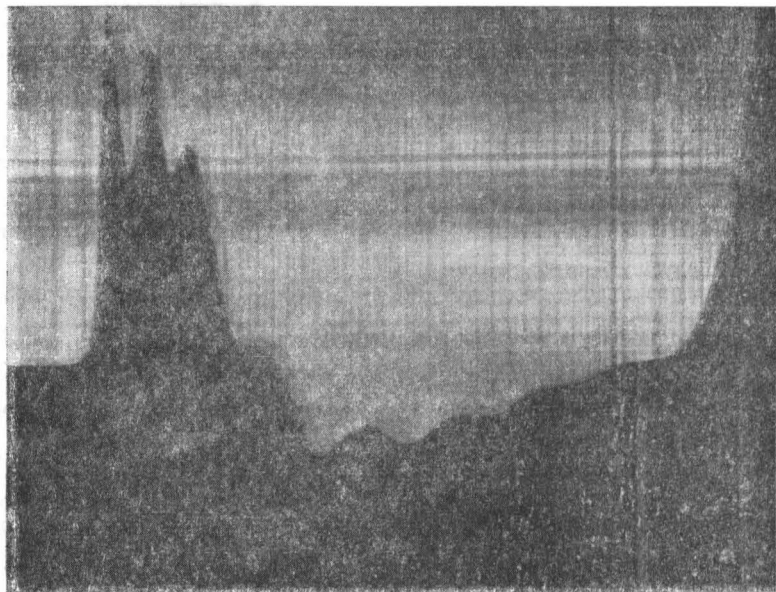


Рис. 16. Фотодиаграмма. Взрыв серной пыли с повторным возбуждением.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ АЭРОВЗВЕСИ

Как упоминалось выше, при описании прибора с кварцевой трубкой значение температуры, при которой имеет место распространение пламени, уточнялось на установке для определения нижнего предела взрыва. При этом использовался объективный метод фиксации взрывных давлений с помощью фоторегистра.

Учитывая, что температура самовоспламенения зависит не только от условий определения, но и от концентрации, причем наименьшее ее значение, очевидно, будет для стехиометрического соотношения горючей части пыли с кислородом воздуха, следует брать навески исследуемой пыли этого порядка.

На данной установке, допускавшей фиксацию давлений взрыва до 1,5—2 *ати*, определение температуры самовоспламенения велось при навесках, образующих давление не менее 1,5 *ати*, с последующим снижением температуры источника зажигания до такой, при которой на фотодиаграммах фиксировались лишь начальные признаки давления (см. рис. 15, вторая кривая снизу).

4. К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРХНЕГО ПРЕДЕЛА ВЗРЫВЧАТОСТИ

При исследовании взрывчатости аэровзвесей в области верхнего предела могут образоваться большие давления в приборе в момент прохождения оп-

тимальных концентраций. Исходя из этого, в 1940—1941 гг. инженер-конструктором И. С. Щеголевым была разработана конструкция взрывного цилиндра, рассчитанного на давления до 25 *ати*. Корпус цилиндра 1 (рис. 17) — стальной, высота его 400 *мм*, внутренний диаметр 110 *мм*, объем (рабочий) — 3,6 л.

Аппарат снабжен охлаждающей водяной рубашкой 2 и цапфами 3, с помощью которых он может быть установлен с любым наклоном в вертикальной плоскости и крепиться на чугунных стойках 4. Источник воспламенения — шамотовая пластинка 5 с платиновой спиралью расположена в средней части цилиндра и крепится на стержнях, которые вместе с тем являются контактами для нагревательной спирали. Распыление навесок испытуемой пыли до 15—20 г предусмотрено конструкцией в двух вариантах:

а) пыль равномерно распределяется на винтообразной полочке 6, укрепленной внутри цилиндра;

б) пыль помещается в стакан-сопло (7, 8) с распылением снизу.

В обоих вариантах предусмотрены обратные клапаны 9, 10, а также предохранительный клапан 11, регулируемый до 25 *ати*.

Установление верхнего предела взрывчатости производится после изучения нижнего предела.

Последовательно увеличивая навески пыли, при температуре источника воспламенения на 50—100° выше температуры самовоспламенения, после каждого взрыва производят запись давления по манометру. При наблюдении спада давления уточняются максимум давления и соответствующая ему концентрация пыли.

Последующими опытами с большими навесками определяется та концентрация пыли в граммах на кубический метр воздуха, при которой не наблюдается повышения давления. Это есть верхний концентрационный предел.

Лабораторные исследования, являясь совершенно необходимым этапом изучения пожаро-взрывоопасности реальных промышленных пылей и порошковой продукции, вместе с тем не в полной мере воспроизводят механизм возбуждения и распространения взрыва, имеющий место в производственных условиях.

В реальных условиях разнообразнейшие причины могут тормозить или усугублять взрывоопасность пылей.

Например:

а) в вентиляционных каналах наличие потока воздуха со значительными скоростями обеспечивает интенсивный теплоотъем, чем в значительной мере затрудняется возбуждение (иницирование) взрыва при наличии всех прочих условий для этого;

б) в нормально работающей пневматической системе транспортирования пылевидной продукции обеспечивается режим работы за верхним пределом взрыва данной аэровзвеси, чем и устраняется взрывоопасность;

в) в системе или агрегате местный перегрев продукта может вызывать частичное разложение с выделением углекислого газа, что естественно препятствует взрывообразованию.

Наряду с приведенными выше условиями торможения взрывообразования, на практике могут создаваться условия, значительно усугубляющие взрывоопасность.

Например, внезапное появление мощных тепловых импульсов зажигания (разряды статического электричества, пробой изоляции, короткое замыкание и пр.) или резкое изменение установившегося технологического режима, что имеет место

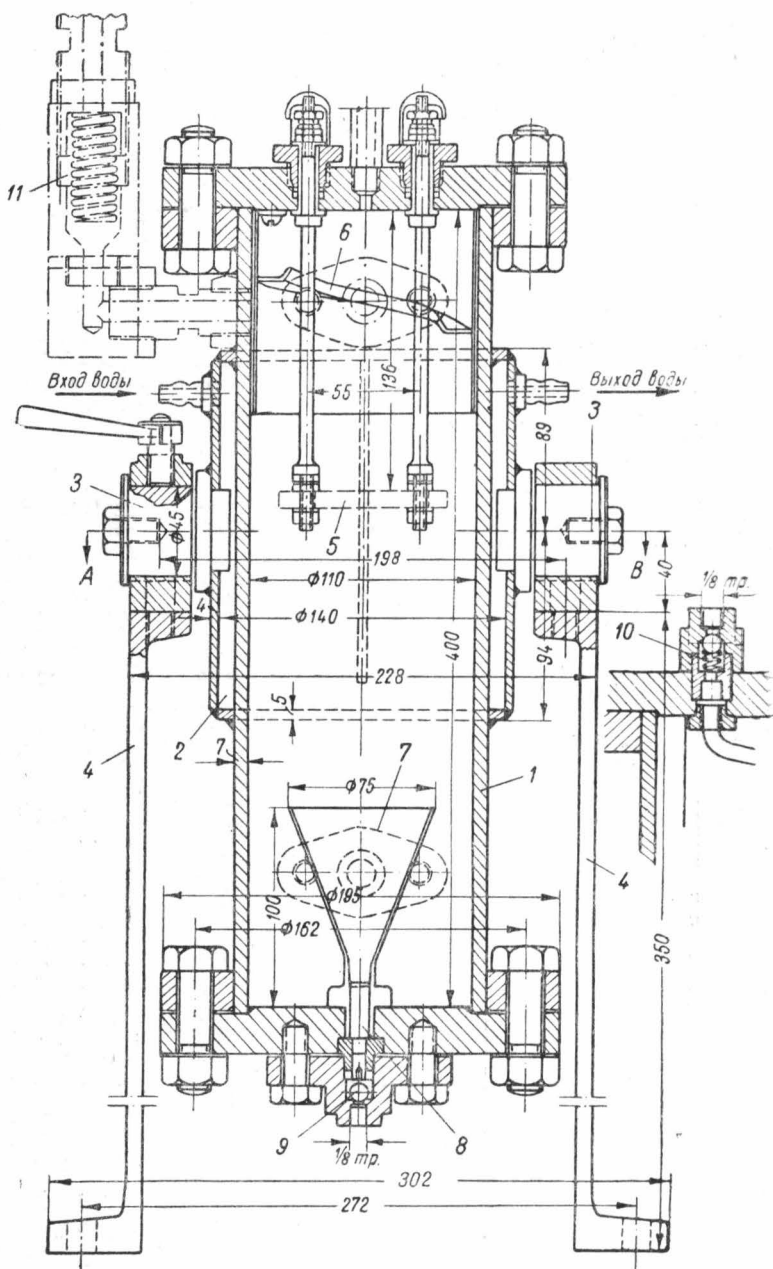


Рис. 17. Взрывной цилиндр для изучения верхнего предела взрыва аэровзвесей:

1 — корпус; 2 — водяная рубашка; 3 — цапфы; 4 — стойки; 5 — шамотовая пластинка; 6 — винтообразная полка-распылитель; 7 и 8 — стакан распылитель; 9 и 10 — обратные клапаны; 11 — предохранительный клапан.

Характеристика пожаро-взрывоопасности аэрозвсей

№ п/п	Наименование	Технический анализ		Показатели пожаро-взрывоопасности				Год исследования, авторы:	Примечания (значения концентрационных пределов и температуры самовоспламенения по другим источникам. Автор)
		Влажность в %	Зольность в %	Температура искрения в °С	Температура вспышки в °С	Температура самовоспламенения в °С	Нижний предел взрыва в г/м³		
1	Азо-роза (краситель с присадкой).	—	—	625	нет	нет	—	1940 [1]	До 1100° и концентрации до 100 г/м³, вспышки нет Для фракции около 10 микрон, полученной седиментацией, значение нижнего предела 42,8 г/м³, 1948 [2] В лабораторной штольне не дает распространения пламени
2	Алюминий порошок, не препаратированный	—	—	577	635	—	58,0	1948 [2]	
3	Анил диазо бордо Ж (краситель)	8,01	35,6	520	840	1100	нет	1938 [1]	
4	Анил диазо черный Д (краситель)	20,72	46,5	630	850	980	нет	1938 [1]	
5	Анил желтый Г (краситель) . . .	5,73	39,78	470	730	780	277,9	1938 [1]	
6	Анил зеленый Б (краситель) . . .	9,83	51,4	600	950	1340	нет	1938 [1]	
7	Анил оранжевый С (краситель) . . .	16,55	66,18	500	750	1100	нет	1938 [1]	
8	Анил оранжевый 2Р.Л (краситель) . . .	10,2	38,9	540	650	1000	нет	1938 [1]	
9	Анил темно-черный Е (краситель)	9,1	51,9	600	1100	1300	280	1938 [1]	
10	Антрацен	—	—	382	484	946	5,0	1949 [2]	
11	Барда хлебная	10,09	7,91	500	575	600	22,7	1940 [1]	

4	12	Витаминная, сenna мука	13,60	11,9	295	675	875	27,7	1941 [1]	Для фракции 140 микрон
	13	Гидрохинон	—	—	342	670	800	7,6	1949 [2]	
	14	Горох	9,10	2,68	525	600	775	25,2	1939 [1]	
	15	Гороховая мука	9,43	4,15	415	650	750	32,8	1940 [1]	
	16	Диазо индиго голубой Б. Р. (краситель)	10,16	34,2	550	720	840	нет	1938 [1]	
	17	Дифенил	—	—	540	620	900	12,6	1948 [2]	
	18	Дифенилоксид	—	—	540	650	800	12,6	1948 [2]	
	19	Древесная мука	6,35	5,40	315	430	775	30,2	1948 [2]	
	20	Жом свежловичный	11,41	4,98	415	625	775	27,7	1940 [1]	
	21	Жмых льняной	8,78	7,62	385	750	850	30,2	1940 [1]	
	22	Жмых подсолнечный	5,91	5,57	470	725	825	22,7	1940 [1]	
	23	Жмых хлопчатниковый	8,16	6,68	415	550	750	27,7	1939 [1]	
	24	Зерновые отходы, просянные	10,33	5,43	500	750	900	47,8	1940 [1]	
	25	Зерновые отходы, пшеничные	9,90	9,05	440	530	700	20,2	1939 [1]	
	26	Зерновые отходы, ржаные	8,70	3,64	470	650	700	50,4	1940 [1]	
	27	Камфора	—	0,00	460	505	850	10,1	1950 [2]	
	28	Канифоль	—	0,05	—	—	900	5,0	1939, Л. В. Станкевич [12] МакНИИ	
	29	Казеин технический (кислотный)	—	—	—	625	—	32,8	1940 [1]	Температура воспламенения определена в лабораторной штольне, нижний предел—в стальной штольне МакНИИ
	30	Костяной уголь	—	80,36	—	нет	нет	—	1939, Л. В. Станкевич [12] МакНИИ	
	31	Крапива сухая	—	—	207	388	666	250,0	1944 [1]	
	32	Кровяная мука	10,83	2,05	640	625	850	7,6	1939 [1]	
	33	Кукуруза-зерно	9,5	1,75	440	675	850	22,7	1940 [1]	
	34	Кукуруза в початках	9,60	1,54	355	550	650	37,8	1940 [1]	
	35	Кукурузные початки, без зерна	8,30	4,41	325	470	650	20,2	1941 [1]	
	36	Крахмал картофельный	17,80	3,35	нет	430	—	40,3	1948 [2]	
	37	Лак красный П	4,94	13,82	350	600	750	19,5	1938 [1]	
	38	Лак оранжевый 2Б	5,86	58,52	500	750	1020	272,0	1938 [1]	
	39	Лигнин	4,8	1,0	316	516	775	30,2	1950 [2]	

№ п/п	Наименование	Техниче- ский анализ		Показатели пожаро- взрывоопасности				Год исследова- ния, авторы:	Примечания (значе- ния концентрацион- ных пределов и тем- пературы самовос- пламенения по дру- гим источникам, Автор)
		Влажность в %	Зольность в %	Температура нс- °С	Температура вспышки в °С	Температура са- мовоспламене- ния в °С	Нижний предел взрыва в л/м³		
40	Литоль прочный шарлах (краси- тель)	2,46	33,23	400	730	850	25,0	1938 [1]	
41	Льняная костра	8,26	5,5	340	520	—	16,7	1938 [1]	
42	Мансовые корма	7,50	1,14	415	625	675	12,6	1941 [1]	
43	Мельничная пыль серая	8,05	16,50	293	625	800	17,6	1940 [1]	
44	Метиленовый голубой (краситель)	2,64	7,95	нет	900	1100	22,1	1938 [1]	
45	Молоко сухое	3,86	5,58	415	700	875	7,6	1940 [1]	
46	Мясокостная мука	6,00	22,35	325	725	850	10,0	1940 [1]	
47	Нафталин (не сублимированный) .	5,50	2,10	505	580	—	2,5	1948 [2]	Испытана фракция 140 микрон (ком- куется) Не взрывается
48	Нафтол сине-черный 10Б	9,36	52,15	500	780	нет	нет	1938 [1]	
49	Неолан фиолетовый	6,21	38,01	570	720	1020	27,9	1938 [1]	
50	Нитро-п-толуол-сульфоортоани- зидид	0,27	0,15	нет	нет	390	15,4	1938 [1]	Образец сильно взрывает
51	Овес	10,9	3,34	440	650	775	30,2	1940 [1]	
52	Овсяная мука	9,69	3,02	470	600	800	25,2	1939 [1]	
53	Овсяная лузга	—	—	нет	354	666	22,7	1943 [1]	
54	Отруби пшеничные мелкие	9,36	4,26	470	750	825	17,6	1940 [1]	Исследована фрак- ция 70 микрон
55	Отруби пшеничные крупные . . .	—	—	415	600	825	45,4	1943 [1]	Исследована фрак- ция 70 микрон

4*	56	Отруби ржаные	10,24	5,70	500	675	800	52,9	1940 [1]	Определены в стальной штольне МакНИИ
57	Пек	—	1,40	—	—	—	925	15,0	1939, Л. В. Станкевич [12] МакНИИ	
58	Пивная дробина	6,63	4,25	нет	650	650	900	22,7	1940 [1]	
59	Просяные зерновые отходы	10,38	5,43	500	750	750	825	47,8	1940 [1]	
60	Просяная мучель	8,80	5,91	525	675	675	850	32,8	1940 [1]	
61	Пшеница фуражная	10,35	2,31	450	625	625	875	15,1	1940 [1]	
62	Пшеничная мука	11,05	1,49	442	550	550	825	35,3	1941 [1]	
63	Пшеничная мука	8,87	3,95	500	675	675	700	15,1	1940 [1]	
64	Пшеничный сеяк	11,02	2,71	470	650	650	775	45,4	1940 [1]	
65	Пшеничный подсев с куколем	—	—	415	675	675	750	25,2	1941 [1]	
66	Рожь фуражная	10,34	1,88	525	625	625	875	27,7	1940 [1]	
67	Рыбная мука, бедная жиром	8,05	32,30	600	850	850	950	27,4	1940 [1]	
68	Рыбная мука, астраханская	7,93	25,00	550	700	700	800	45,4	1939 [1]	
69	Сажа газовая	—	0,55	—	—	—	нет	—	1939, Л. Р. Станкевич [12], МакНИИ**)	
70	Сахар свежловинный	Сух.	—	—	—	525	525	8,9*	1940 [1]	** В лабораторной штольне не воспламеняется. В стальной штольне МакНИИ воспламенение при 20 г/м³ * Для фракции — 140 микрон, для фракции — 70 микрон — 15 г/м³
71	Сера комовая чистая	0,00	0,86	нет	310	310	—	—	1937 [1]	
72	Сера, серный цвет	0,00	—	нет	267	267	575	2,3	1950 [2]	Исследована в лабораторной штольне
73	Сено заливное	6,43	12,08	355	525	525	900	12,6	1940 [1]	
74	Сено Краснодарского края	7,30	12,19	260	640	675	975	25,2	1939 [1]	
75	Сено луговое	9,01	11,04	325	725	725	975	17,6	1940 [1]	
76	Сено степное	9,89	7,25	325	650	650	850	22,7	1940 [1]	
77	Сульфит голубой Б (краситель)	14,37	34,15	560	700	700	950	270,0	1938 [1]	
78	Табачная пыль	1,80	7,70	344	565	565	—	101,0	1948 [2]	
79	Торф Панфиловских болот, Ивановской области	Сух.	2,0	135	530	530	590	40,3	1943 [1]	
80	Торфобрикет Орехово-Зуевского завода	Сух.	—	335	450	450	750	10,1	1943 [1]	

№ п/п	Наименование	Техниче- ский анализ		Показатели пожаро- взрывоопасности				Год исследова- ния, авторы:	Примечания (значе- ния концентрацион- ных пределов и тем- пературы самовос- пламенения по дру- гим источникам. <i>Автор</i>)
		Влажность в %	Зольность в %	Температура ис- крения в °С	Температура в °С вспышки	Температура са- мовоспламене- ния в °С	Нижний предел взрыва в г/м³		
81	Торф фрезерный Сажинского бо- лота	20,0	5,40	355	525	775	20,2	1940 [1]	
82	Уротропин таблетированный меди- цинский	5,15	0,00	нет	685	—	15,0	1948 [2]	
83	Фенантрин	—	0,00	516	624	900	5,0	1949 [2]	
84	Фталевый ангидрид	—	0,00	405	438	800	12,6	1949 [2]	
85	Цинковая пыль	—	—	635	890	1000	800,0	1948 [2]	
86	Чечевица	10,38	2,85	470	600	725	10,1	1940 [1]	
87	Чина (зерно)	12,30	2,91	415	675	825	40,3	1940 [1]	
88	Шеллак	—	2,91	—	—	900	15,0	1939, Л. В. Стан- кевич [12], МакНийи	Определены в сталь- ной штольне Мак- Нийи
89	Шквара	7,14	13,92	нет	700	925	22,7	1940 [1]	
90	Шрот кориандровый	6,92	17,65	415	575	750	17,6	1939 [1]	
91	Шрот подсолнечный	8,39	7,45	550	700	775	7,6	1940 [1]	
92	Шрот хлопчатниковый	7,63	7,10	355	850	875	10,1	1-40 [1]	
93	Ячмень	9,24	1,64	470	575	800	20,2	1939 [1]	
94	Ячменная мука	11,28	2,54	415	650	750	32,8	1939 [1]	
95	Эбонитовая пыль 1-го сорта	—	—	нет	665	860	7,6	1943 [1]	
96	Электронная пыль	—	—	—	540	700	30,0	1939, Быков Л. Н. Быховский Б. Б. [13], МакНийи	Определены в сталь- ной штольне Мак- Нийи
97	Эрио-хром-черный (краситель)	11,3	29,8	300	550	720	33,4	1938 [1]	

в пусковые периоды работы взрывоопасных агрегатов (размольных, очистительных машин, норий, аспирации, фильтров рукавных и пр.).

Все эти условия, крайне трудно воспроизводимы в лабораторной практике, и поэтому определяемые в лабораторной аппаратуре параметры взрыва необходимо корректировать опытами укрупненного, широкого масштаба (полигонными).

5. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЖАРО-ВЗРЫВООПАСНОСТИ АЭРОВЗЕСЕЙ

По описанным лабораторным методикам были определены показатели пожаро-взрывоопасности значительного количества образцов аэровзвесей (индивидуальных химических соединений, органических красителей, ингредиентов кормовых веществ, пищевых продуктов и некоторых металлических порошков).

Все образцы испытывались в размолотом виде до фракции 70 микрон (проход через сито № 200, имеющее 74 отверстия на погонный сантиметр, или 200 отверстий на линейный дюйм) и в подсушенном состоянии, за исключением особо отмеченных.

Результаты этих определений сведены в табл. 12. По этим же методикам была дана характеристика пожаро-взрывоопасности различным реальным промышленным пылям, свойства которых рассматриваются отдельно в главе IV (табл. 18).

ГЛАВА IV

ОЦЕНКА ПОЖАРО-ВЗРЫВООПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВ, СВЯЗАННЫХ С ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЕМ ИЛИ ПРОИЗВОДСТВОМ ПОРОШКОВОЙ ПРОДУКЦИИ (методические указания)

Для определения степени пожаро-взрывоопасности того или иного предприятия, цеха или отдельных агрегатов (связанных с пылеобразованием и в силу этого могущих оказаться взрывоопасными при нормальном технологическом режиме, или только в аварийных случаях) необходимо произвести противопожарно-техническое обследование объекта и исследование пожароопасных свойств пылей. Только по результатам их может быть сделано достаточно технически обоснованное заключение.

Порядок проведения пожарно-технического обследования объектов регламентирован соответствующей инструкцией, утвержденной ГУПО [32].

Пожарно-техническое обследование группы предприятий или одного типового объекта данной отрасли промышленности производится органами Государственного пожарного надзора совместно с представителями дирекции (назначаемыми глав-

ком или директором завода) и с привлечением инженерно-технического персонала любых специальностей, если это необходимо.

На лиц, проводящих пожарно-техническое обследование опасных по пыли производств, дополнительно возлагаются следующие задачи:

а) оценка запыленности производственных помещений и определение концентрации пыли в воздухе (при участии контрольной заводской лаборатории);

б) отбор проб промышленных пылей для лабораторного исследования и установления степени взрывоопасности выпускаемой продукции (определение степени дисперсности, контрольные определения содержания влаги, золы и температурных показателей загораемости и взрывоопасности);

в) выявление пылеобразующего технологического оборудования и оценка эффективности существующих обеспыливающих устройств (общей аспирации или местных обеспыливающих агрегатов при наличии их).

В результате произведенных обследований объекта составляется заключение о взрывоопасности отдельных участков производства или всего предприятия в целом. При этом дается техническое обоснование отнесения их к той или иной категории производств по степени пожарной опасности [37], а также устанавливаются категории помещений для применения к ним правил устройства электротехнических установок МЭ СССР 1949 г. [30].

В отдельных случаях при необходимости представителем Государственного пожарного надзора организуется авторитетная экспертная комиссия для определения взрывоопасности объекта.

В соответствии с противопожарными нормами строительного проектирования (НСП 102—51) к взрывоопасным производствам категории Б относятся такие, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие волокна или пыль и в таком количестве, что они могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси (§ 7, табл. 3).

По проверенным экспериментальным данным автора, такими производствами являются: мукомольные и крупорушные отделения, комбикормовые заводы, сахаро-рафинадные заводы, заводы сухого молока, пробковые заводы, размольные отделения перерабатывающие отходы крахмало-паточной, бродильной, масложировой и мясной промышленности, развесочные и упаковочные цехи ряда пищевых и вкусовых предприятий (чай, кофе, цикорий, какао, табак, мыльный порошок), отделочные и размольные цехи заводов пластических масс, заводов грампластинок и производств фармацевтической промышленности, размольные, смесовые и сушильные отделения анилино-красочных заводов, торфо-брикетные заводы, отдельные участки пенько-джутовой и льняной промышленности, обогатительные фабрики и пылеприготовительные установки, перерабатывающие топливо,

колчеданные и серные руды, размольные агрегаты легких сплавов и металлов (алюминий, магний, цинк) и пр.

Согласно правилам устройства электротехнических установок [30], взрывоопасные помещения пылевых производств относятся к категории помещений В—II (раздел «Электрооборудование взрывоопасных помещений», § 3), если взрывоопасные концентрации могут возникнуть не только при аварийных, но и в нормальных (хотя бы и не длительных) эксплуатационных режимах, например, загрузке и разгрузке технологических аппаратов.

К этой же категории относятся помещения, в которых опасные состояния при нормальной эксплуатации отсутствуют, но в которых они после прекращения действия защитных устройств (вентиляции и т. п.) возникают настолько быстро, что заблаговременное предотвращение опасности затруднено.

Помещения категории В — IIa. К ним относятся помещения, в которых опасные состояния вызываются теми же причинами, что в помещениях категории В — II, но при нормальной эксплуатации эти опасные состояния отсутствуют и могут возникнуть лишь вследствие неисправностей, причем в соответствии с условиями эксплуатации, они могут быть быстро устранены.

К пожароопасным относятся помещения, содержащие горючую пыль или волокна, переходящие во взвешенное состояние и оседающие на оборудовании или конструкциях. При этом возникающая опасность ограничена опасностью пожара (но не взрыва) либо в силу физических свойств пыли или волокон (степень измельчения, влажность, зольность и т. п.), либо в силу того, что их содержание в воздухе, по условиям эксплуатации, не достигает взрывоопасных концентраций (например, деревообделочные цехи, некоторые запыленные помещения мельниц и элеваторов и т. п.).

Такие помещения по противопожарным нормам строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест относятся к категории производства В, а по «Правилам устройства электротехнических установок» — к помещениям категории П—1 (раздел «Электрооборудование пожароопасных помещений», § 4).

При решении вопроса о возможности отнесения помещений к той или иной категории пожарной опасности следует учитывать частоту и серьезность аварий, наблюдавшихся в практике эксплуатации предприятий, а также степень надежности системы защитных мероприятий (вентиляции и т. п.), принятых на данном предприятии.

1. КОНТРОЛЬ ВОЗДУХА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИИ НА ЗАПЫЛЕННОСТЬ. ПРИБОР Н. Д. ТАБАКОВА

В целях охраны промышленных предприятий, связанных с пылеобразованием, при переработке продукции, могущей образовать

взрывоопасные аэрозвеси, необходимо установить систематический контроль воздуха производственных помещений на запыленность.

Контроль этот следует проводить у наиболее сильно пылящих мест (в очагах), к числу которых можно отнести: сбросы продукта с ленточных транспортеров, точки на ленты транспортеров, весы, сепараторы, размольные машины, дозирочные машины, питатели и пр.

Существующие методы определения запыленности производственных помещений, требующие значительной затраты времени, не в полной мере удовлетворяют запросы промышленности.

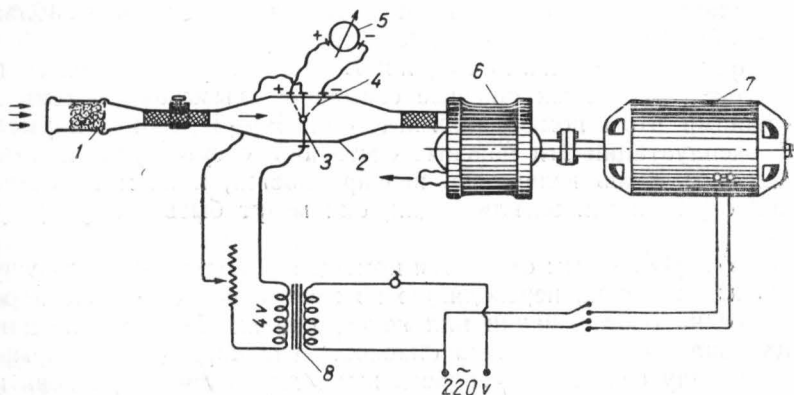


Рис. 18. Схема прибора Н. Д. Табакова для контроля воздуха на запыленность:

1 — аллонж; 2 — гильза электрореометра; 3 — нагревательная проволока; 4 — термopа; 5 — гальванометр; 6 — воздуходувка; 7 — электромотор; 8 — трансформатор

Из опыта обследований производственных помещений выявлена необходимость ограничивать этот контроль коротким промежутком времени от 30 сек. до 1—1,5 мин.

Длительное, до получаса и более, просасывание испытуемого воздуха уточняет среднее значение концентрации, но вместе с тем дает совершенно искаженные представления о взрывоопасности очага пыления, так как за этот промежуток времени концентрация может несколько раз измениться, достигая взрывоопасного предела, а в среднем дать значение ниже нижнего предела взрыва.

Н. Д. Табаковым разработан прибор (рис. 18) для контроля запыленности воздуха, отличительной особенностью которого является применение электрореометра, действующего по принципу электроанометра.

Прибор обслуживается облегченной воздуходувкой (рис. 19) с электромотором мощностью 0,2 квт. Все части прибора, а так-

же психрометр для определения влажности и температуры воздуха смонтированы в одном футляре размером $41 \times 29 \times 16$ см (рис. 20). Вес прибора в собранном виде с принадлежностями около 8 кг.

Электрореометр (см. рис. 18) состоит из электрической динамической трубки-гильзы диаметром в средней цилиндрической части 45 мм; длина ее 170 мм. В центре гильзы помещены нагревательная никелиновая проволока (тепловой источник) и медно-константановая термопара. Горячий спай термопары сварен с никелиновой проволокой. Нагрев теплового источника производится от осветительной сети в 220 в через понижающий до 4 в трансформатор и регулируется реостатом.

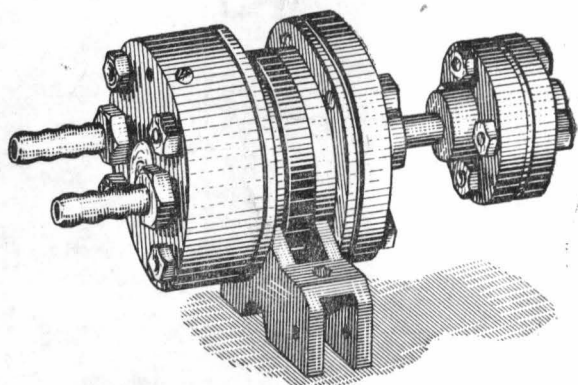


Рис. 19. Облегченная воздуходуква.

При просасывании воздуха через динамическую трубку тепловой источник охлаждается, причем это охлаждение находится в прямой зависимости от скорости воздушного потока в гильзе.

По разности температур теплового источника в спокойном и движущемся воздухе можно судить о скорости движения воздуха в гильзе, выражая ее в литрах в минуту.

Один конец гильзы электрореометра присоединен к воздуходукве (см. рис. 19), а другой конец, предназначенный для присоединения аллонжа, выведен из прибора в виде отводной трубки.

Гальванометр — стрелочный, марки С-IV, с внутренним сопротивлением 370 ом. Шкала его отградуирована в л/мин. Гальванометр устанавливается на нуль с помощью реостата. Он помещен в специальном отделении футляра (см. рис. 20). В футляре имеется отделение для помещения аллонжей (6 штук) и мелких принадлежностей. К прибору прилагается электрошнур с вилкой для включения прибора в сеть и каучуковые трубки. Для работы с прибором необходимы секундомер или часы с секундной стрелкой.

Аллонжи и их подготовка. Определение концентрации пыли в воздухе производится весовым, фильтрационным методом, по

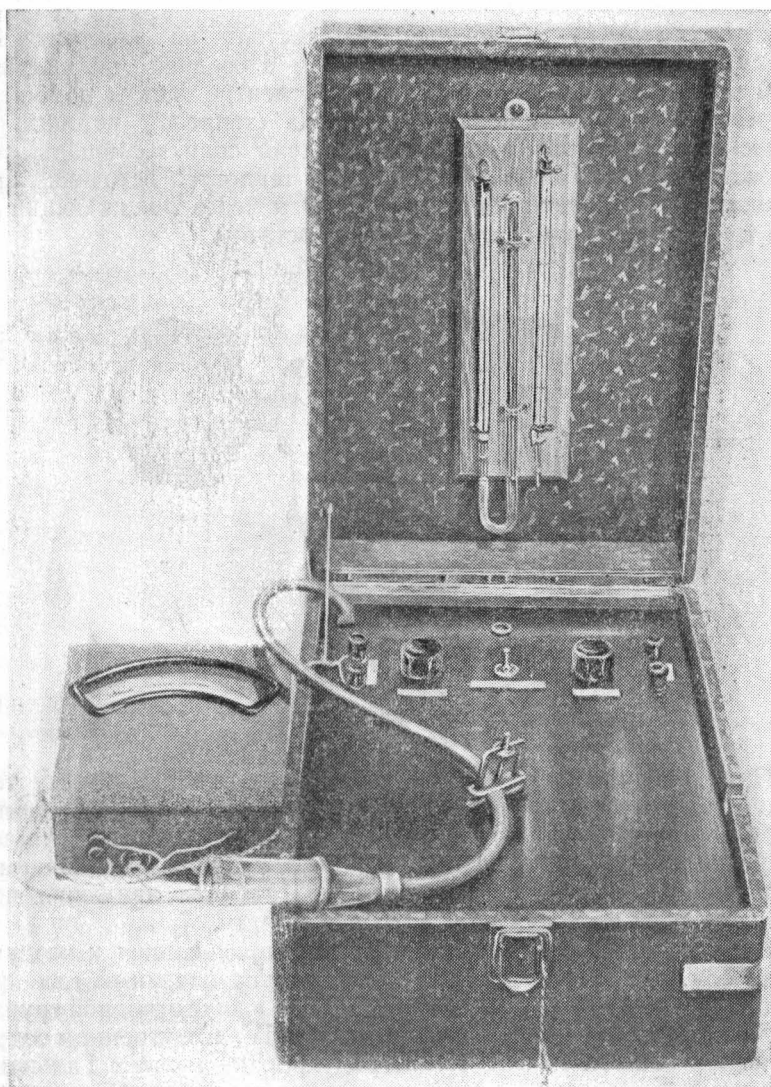


Рис. 20. Прибор Н. Д. Табакова (общий вид).

привесу фильтра в аллонже. Количественно концентрация выражается в граммах на кубический метр воздуха (или соответственно в миллиграммах на литр).

Подготовка аллонжей производится следующим образом. Аллонжи тщательно промываются от пыли предыдущих определений и просушиваются или насухо вытираются. На уступ аллонжа (рис. 21) помещается медная сетка и поверх ее слоем высотой около 20 мм укладывается без уплотнения гигроскопическая вата (по весу около 0,2 г).

Подготовленные аллонжи помещаются в вертикальном положении с открытыми пробками в сушильный шкаф, где при температуре 130° просушиваются в течение 10 мин. Затем аллонжи в закрытом виде помещаются на охлаждение в эксикатор и быстро (имея в виду гигроскопичность ваты) взвешиваются на аналитических весах.

Вес аллонжей заносится в особый журнал, который хранится в лаборатории.

Работа с прибором. Перед определением концентрации пыли в контролируемом пункте прибор (см. рис. 20) подключается к осветительной сети с напряжением 220 в и включается электрореометр.

При включении электрореометра стрелка гальванометра отклоняется в сторону нулевого деления шкалы. После установления стрелки гальванометра на нуль включается мотор воздушной ходовки. С началом просасывания воздуха стрелка гальванометра будет отклоняться от нулевого положения. Просасывание воздуха через аллонж рекомендуется производить со скоростью 20 — 25 л/мин, что достигается регулированием винтового зажима. Аллонж вносится в контролируемый очаг. В момент введения аллонжа в очаг отмечаются время, а также показание гальванометра (литры в минуту). Показание электрореометра записывается каждые 10 сек.

После окончания просасывания воздуха аллонж с пылью закрывается с обоих концов пробками, укладывается в футляр и доставляется в лабораторию.

По записям показаний реометра подсчитывают общий литраж за промежуток времени, в течение которого производилось просасывание воздуха.

Литраж v_t приводится к нормальным условиям по формуле:

$$v_0 = \frac{v_t (P - W)}{(273 + t)} \cdot \frac{273}{760},$$

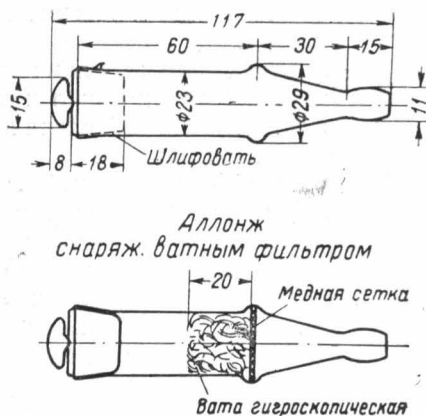


Рис. 21. Аллонж для определения концентрации пыли в воздухе.

где: P — атмосферное давление в мм рт. ст.;
 W — абсолютная влажность в мм рт. ст. (определяется из таблиц упругости водяных паров при данной температуре с учетом относительной влажности воздуха);
 t — температура воздуха в помещении.

Обработка аллонжей после опыта и расчет концентрации.
Аллонжи с пылью в открытом виде помещаются в вертикальном положении в сушильный шкаф, где при температуре 105° они просушиваются в течение двух часов.

После просушки аллонжи плотно закрываются пробками, помещаются в эксикатор на 20 мин. и после охлаждения быстро взвешиваются на аналитических весах. Разность в весе покажет привес фильтра.

Расчет концентрации пыли в воздухе производится после приведения объема общего литража к нормальным условиям (т. е. 0° и 760 мм рт. ст.) путем деления привеса фильтра в миллиграммах на общий литраж v_0 .

Определение относительной влажности воздуха. К прибору приложен (см. рис. 20) психрометр, имеющий два термометра, из которых один перед определением увлажняется. Для увлажнения термометра шарик со ртутью обертывается батиновой тряпкой, опущенной в стаканчик с дистиллированной водой. За 10—15 мин. перед определением влажности психрометр вывешивается в том помещении, где намечено произвести определение. Не допускается вывешивать психрометр на солнце.

Когда температура на обоих термометрах установится, записывают показания сухого и влажного термометра и по их разности находят из таблиц относительную влажность.

Взрывоопасность некоторых аппаратов, работающих в условиях, где не исключена возможность искрообразования, ставит вопрос о производстве контроля воздушно-пылевого режима с определением концентрации пыли в воздушном потоке.

К такому требующему контроля механическому оборудованию следует отнести все виды дробильных машин, нории (самотаски), фильтры рукавные, автоматические весы, шаровые мельницы, аспирационные устройства, пылеосадители (циклоны) и пр.

Описанный выше прибор хотя и может быть использован для этой цели, но его применение ограничивается производительностью воздуходувки ($20\text{--}25$ л/мин), тогда как при скоростях в воздуховодах порядка $15\text{--}20$ м/сек и выше придется производить забор пыли с объемными скоростями до $50\text{--}60$ л/мин.

П. А. Коузовым предложен метод определения запыленности воздушного потока в воздуховодах с помощью масляных циклончиков. Действие их основано на центробежном принципе пылеотделения. Подводящая трубочка (рис. 22 и 23) расположена по касательной к окружности сечения цилиндрической части, и вследствие этого пылинки отбрасываются и прилипают к масляной пленке, покрывающей внутренние стенки циклончика.

Размеры циклончика: длина цилиндрической части — 100 мм при общей длине — 145 мм, диаметр цилиндрической части — 22 мм, внутренняя трубка-штуцер — диаметром 12 мм. Внутренний штуцер имеет своим назначением исключить унос масла воздушным потоком.

Масляная пленка (автомобильное или машинное масло от 50 до 70 мг) наносится через боковую трубку. Этот циклончик был испытан в пылевой камере ЛИОТ, а также в производственных условиях, параллельно с ватным аллонжем. Более точные результаты получены при использовании масляных циклончиков, особенно при малых концентрациях, до 50 мг/м³.

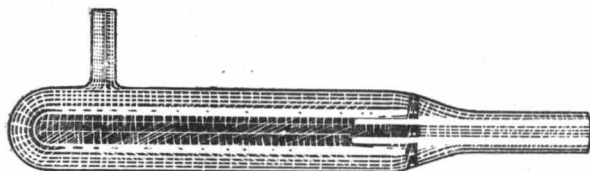


Рис. 22. Стекланный циклончик Коузова для определения концентрации пыли в воздухе.

В простейшем виде определение запыленности воздуха промышленных помещений, а также определение концентрации пыли в очаге пыления, в кожухах машин или в воздуховодах может быть выполнено с применением описанных выше ватных аллонжей, путем просасывания исследуемого воздуха через обычный реометр (рис. 24).

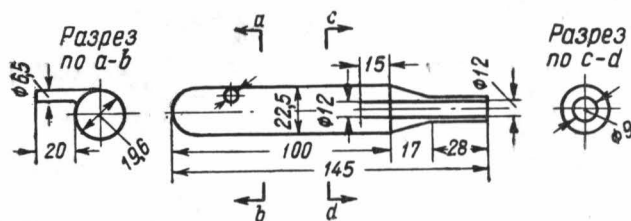


Рис. 23. Схема стеклнного циклончика.

Применяемый тип воздухоудвки (рис. 25) обеспечивает работу с производительностью до 50—60 л/мин. Вес ее около 7 кг.

2. ОТБОР ПРОБ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕЙ

Отбор проб для исследования промышленных пылей может быть осуществлен одним из следующих методов:

а) Сбором пыли с оборудования, с подоконников или с переплетов оконных рам, где имеются значительные отложения осевшей из воздуха пыли (геля).

Сметание этой пыли производится с помощью узкой волосяной щетки, причем необходимо снимать всю толщу пыли, но

вместе с тем следует избегать попадания в отбираемую пробу минеральных частей от штукатурки стен, так как эти примеси могут в значительной мере исказить состав пыли.

б) Осаждением пыли в очаге пыления на развернутый лист бумаги.

в) Непосредственным засасыванием (аспирированием) из запыленного воздуха взвешенной пыли в пылеосадитель (в циклончик или в аллонж с фильтром,

см. рис. 21) с помощью вакуумнасоса, воздуходувки, жидкостного аспиратора или водоструйного насоса.

Этот способ дает наилучшие результаты в части получения пробы тонких фракций пыли, но требует весьма длительного просасывания воздуха через пылеосадитель, в силу чего он имеет ограниченное применение. Таким путем можно собрать небольшие количества пыли, доста-

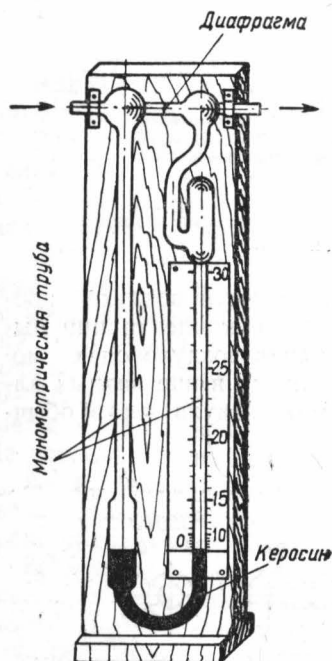


Рис. 24. Реометр.

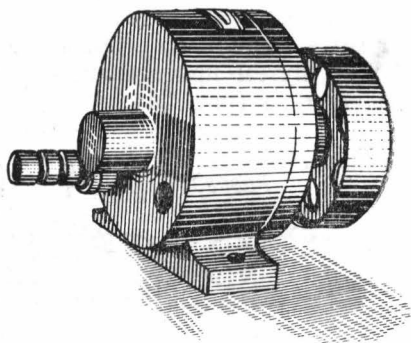


Рис. 25. Чугунная воздуходувка Нефтяного института.

точные лишь для микрометрического анализа.

Для обеспечения выполнения всех анализов и необходимых определений пожаро-взрывоопасности промышленных пылей следует отбирать пробы этих пылей в количествах не менее 200—250 г.

3. ОЦЕНКА ЗАПЫЛЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Одновременно с отбором проб промышленных пылей, а также в процессе пожарно-технического обследования объекта производится оценка запыленности помещений.

При обнаружении залежей пыли измеряется толщина слоя осевшей пыли (в сантиметрах) и площадь запыленной поверхности (в квадратных сантиметрах).

Общую площадь (подоконников, переплетов рам, балок, уступов и карнизов стен), где имеются отложения пыли, умножают на среднюю толщину слоя и получают объем пыли в кубических сантиметрах.

В отобранных пробах определяется объемный или насыпной вес (см. ниже).

Умножением объема отложившейся пыли на объемный вес ее получают количество всей пыли в граммах, которое следует отнести либо на общую кубатуру всего помещения (в кубических метрах), либо на единицу запыленной поверхности.

Учитывая, что вся осевшая пыль при местной вспышке или взрыве может перейти во взвешенное состояние, для сопоставления запыленности помещения со взрывоопасными концентрациями этой же пыли, удобнее выразить ее в граммах на кубический метр помещения.

4. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОГО ВЕСА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕЙ

Определение объемного веса промышленных пылей производится в металлическом или стеклянном цилиндре высотой 5 см, диаметром 3,5 см. Объем цилиндра точно устанавливается подистиллированной воде путем взвешивания пустого и наполненного водой цилиндра на аналитических весах.

При определении объемного веса цилиндр обертывается листом плотной бумаги так, чтобы высота цилиндра несколько увеличилась, затем через образовавшуюся бумажную трубку насыпается при непрерывном встряхивании испытуемый продукт.

Утряска производится легкими постукиваниями в течение трех минут. За это время обычно порошковый продукт уплотняется. Затем бумага удаляется и излишек продукта осторожно линейкой снимается до уровня верхнего среза цилиндра.

Цилиндр с исследуемым продуктом взвешивается с точностью до четвертого знака.

Для одного образца необходимо сделать несколько таких наполнений и взвешиваний и взять средний вес.

Объемный вес вычисляется по формуле:

$$B = \frac{A}{C},$$

где: B — объемный вес продукта,

A — средний вес продукта в объеме цилиндра в г.

C — вес воды в объеме цилиндра в г.

5. ПРИМЕРЫ ОЦЕНКИ ЗАПЫЛЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В пояснение сказанного в 3 и 4 разделах приведем несколько примеров оценки запыленности производственных помещений.

а) На одном из объектов, в местах, недоступных для уборки, в нишах высокорасположенных окон был найден слой отложившейся пыли толщиной 15 мм. Таких окон в помещении было 23, общей поверхностью 14 м². Насыпной вес пыли — 0,19. Подсчитано, что залежи этой пыли превышали 40 кг, которые при переходе во взвешенное состояние в объеме всего помещения (около 1400 м³) могли образовать концентрацию до 28 г/м³, т. е. почти в два раза превышающую нижний предел взрыва (нижний концентрационный предел взрывоопасности для этой пыли 15,0 г/м³).

б) На том же объекте, только на семи балках общей поверхностью 42 м² толщина обнаруженного слоя пыли достигала 20 мм. При насыпном весе пыли 0,29 общий вес залежей пыли составил около 160 кг. При объеме помещения 1500 м³ это количество пыли могло образовать концентрацию свыше 100 г/м³. Последующими лабораторными определениями было установлено, что пыль содержала около 52% тонких фракций 70 микрон и имела нижний концентрационный предел взрыва 25 г/м³.

Как видим, в этом случае залежи пыли могли образовать концентрацию уже в четыре раза превышающую нижний предел взрыва.

в) Залежи пыли (мучной и кормовой) в деревянной лестничной клетке реечной кладки были обнаружены в количестве до 55 г на 1 м² поверхности стен. Это составило на все помещение лестничной клетки, кубатурой 180 м³, 12 кг пыли, или 50 г/м³.

Пыль содержала фракции 70 микрон 60%, в среднем такая пыль имеет взрывоопасный предел 20 г/м³.

г) В табл. 13 приведены данные технического анализа и пожаро-взрывоопасности образцов промышленной пыли производства кормового брикета, последовательно отобранных от сено-прессок до прессов включительно.

Из этой таблицы видно, что по мере освобождения продукта от минеральных примесей и, в связи с этим, снижения содержания золы с 38 до 7,2%, нижний предел взрывоопасности снизился с 100,8 до 7,6 г/м³.

Это следует приписать исключительно зольности, так как влага в пробах удерживалась на уровне 8—9%, а выход фракции 70 микрон был наибольший даже у сеной пыли, наименее взрывоопасной.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что температурные показатели искрения, вспышки и самовоспламенения практически оставались стабильными, тогда как взрывоопасность (нижний концентрационный предел) для этих пылей возросла в 13 раз.

д) В горнорудной промышленности оценка степени запыленности выработок производится по максимальной взрывчатой концентрации рудной пыли, которая устанавливается экспериментально.

Зная максимальную взрывчатую концентрацию, например, для серно-рудничной пыли — 668 г/м³, мы можем вычислить наиболее опасную запыленность выработок.

Таблица 13

№ п.п.	Место отбора пробы	Выход фракции 70 микрон в %	Насыпной вес фракции 850 микрон	Содержание в фракции 850 микрон		Температурные показатели пожарной взрывоопасности в °С			Нижний предел взрыва в г/м³
				влаги в %	золы в %	температура искрения	температура вспышки	температура самовоспламенения	
1	Сенорезки, с окон	76	0,31	6,87	38,0	385	800	900	100,8
2	Циклонное отделение, с окон и балки	60	0,21	8,19	29,3	355	875	925	70,5
3	Галерея, с мотора и пускателя	60	0,27	8,22	29 0	355	775	900	20,2
4	Транспортеры, с аспирационного кожуха	68	0,22	9,20	23,8	415	800	925	22,7
5	Транспортеры, с балки	52	0 29	9,80	17,3	385	725	875	25,2
6	Делитель, с труб и оконных переплетов	30	0,22	9,49	11,5	385	775	875	20,2
7	Транспортеры, с оконных переплетов	25	0,23	9,40	12,2	385	750	825	17,6
8	Прессовое отделение	15	0,19	9,89	11,6	355	750	900	15,1
6	Транспортеры, пыль с ленты у щеток	2	0,34	10,10	7,2	355	775	850	7,6

Задаемся сечением штрека 2×2 м.

Объем воздуха на протяжении 1 пог. м штрека будет равен 4 м^3 . В этом объеме при максимальной запыленности должно разместиться $668 \times 4 = 2672 \text{ г}$ пыли.

Поверхность стенок, кровли и почвы в этом же объеме будет $2 \times 4 = 8 \text{ м}^2$, т. е. на 1 м^2 приходится $2672 : 8 = 334 \text{ г}$ пыли.

Объемный вес серно-рудной пыли ориентировочно (данных нет) принимаем равным 900 кг/м^3 . Тогда толщина слоя пыли должна быть:

$$\frac{334 \times 1000}{0,9 \times 1000^2} = 0,37 \text{ мм.}$$

Учитывая, что тонких фракций 70 микрон в рудничной пыли (по данным ситового анализа) содержалось максимально 20%, практически толщина слоя должна быть $0,37 \times 5 = 1,85 \text{ мм}$. При этом выработка будет насыщена отложившейся пылью до предела, соответствующего максимальной силе взрыва.

Произведя подобный же расчет для концентрации, соответствующей нижнему пределу взрывчатости, т. е. $13,9 \text{ г/м}^3$, мы получим минимальную опасную запыленность выработки при толщине слоя ее $0,04 \text{ мм}$.

6. ПЫЛЕОБРАЗУЮЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Из опыта обследований примерно 25 различных промышленных объектов можно выделить следующие виды оборудования, как отличающиеся пылением даже при нормальной работе.

Наиболее характерным и неблагоприятным в этом отношении оборудованием являются ленточные транспортеры, причем обычно причинами их пыления бывают:

а) вибрация ленты, особенно при большой протяженности транспортера и большой скорости движения.

б) налипание порошкообразного продукта на ленту, что приводит к неизбежному подсору продукта с переводом части его во взвешенное состояние и образует очаг пыления под лентой, вблизи от места сброса продукта;

в) чрезмерная крутизна течек (питателей) на приеме пылевидной продукции на ленту, что приводит к интенсивному пылению; пыление периодически усиливается при наличии среди транспортируемого продукта в питательной трубе воздушных прослоек («мешков»);

г) сбрасывающие тележки сами по себе, как правило, значительно усугубляют пыление ленточных транспортеров во время работы. Наиболее интенсивное пыление наблюдается внутри тележки, между лентами.

В табл. 14 помещены значения найденных максимальных

Таблица 14

№ п/п.	Наименование пылевидной продукции	Найденная концентрация пыли в очаге в г/м³	Сравнительная взрывоопасность	
			нижний предел взрыва в г/м³	во сколько раз запыленность превышала взрывоопасный предел
I. Пылеобразование под лентой транспортера				
1	Шрот подсолнечный	101,0	22,7	4,5
2	Сено	78,0	22,7	3,5
3	Готовая брикетная продукция	57,7	7,6	7,6
4	Просяные отходы	40,9	30,2	1,5
5	Мельничная пыль	86,0	10,1	8,6
II. Пылеобразование над лентой транспортера				
6	Шрот хлопковый	42,8	22,7	2,0
7	Шрот хлопковый	38,4	22,7	1,7
8	Готовая продукция	121,0	17,6	7
9	Готовая продукция	112,0	30,2	3,7
III. Пылеобразование внутри сбрасывающей тележки				
10	Готовая продукция	139,0	5,4	2,5
11	Готовая продукция	39,8	17,6	2

концентраций пыли на различных участках ленточных транспортов. Из этих данных видно, что запыленность в ряде случаев в несколько раз превышала величину нижнего предела взрыва.

В то же время в зоне взвешенной пыли на различных удалениях от пола (от 0,5 до 2,0 м) или от центра очага пыления были найдены концентрации, указанные в табл. 15.

Таблица 15

Наименование пыли	Концентрация взвешенной пыли на удалении 0, — 2,0 м от центра очага в г/м³	Нижний предел взрыва в г/м³
Жмых подсолнечный	13,9	27,7
Шрот хлопковый, под транспортером	13,6	22,7
Готовая продукция (кормовая)	9,5	55,4
Мельничная пыль, под транспортером	8,8	10,1
Просянные отходы под транспортером	6,0	30,2
Гороховая мука над лентой, на высоте 2,0 м	3,7	56,4

Как видим, в одном случае (мельничная пыль) концентрация взвешенной пыли почти достигала нижнего предела взрыва, а в двух случаях (жмых и шрот) концентрации почти достигали 50% значения взрывоопасных.

Нории (или самотаски, иногда их еще называют вертикальными транспортерами) могут также явиться источником пылеобразования, если они не аспирируются.

При поступлении в норию мягкой, размоленной продукции воздух из ковшей вытесняется, и уже только по этой причине внутри норин образуется некоторое избыточное давление, а при наличии неплотностей в норийных трубах, в башмаке или в головке происходят систематические выбросы пыли наружу. Установлено, что избыточное давление создается преимущественно в башмаке норин, поэтому наиболее целесообразно осуществлять аспирование норий с отсосом воздуха от башмаков, а не от головок.

В неаспирируемых нориях совершенно необходимо соединять головки норий с атмосферой путем простых устройств, носящих название «гусиные шейки», через которые осуществляется сброс избыточного давления, образующегося в норийных трубах.

Размольные машины (молотковые и шпильковые дробилки, вальцевые станки, шаровые мельницы) также следует отнести к пылеобразующим механизмам. У быстроходных машин ударного действия пылеобразование особенно интенсивно.

В качестве примера в табл. 16 приводятся данные о пылеобразовании молотковой дробилки и вальцевого станка при их последовательной работе в производстве эбонитовой пыли, которая, как известно, отличается значительной взрывоопасностью (табл. 12, стр. 52).

Таблица 16

Место отбора пробы	Найденная концентрация пыли в г/м ³	Нижний предел взрыва в г/м ³
Дробилка МД-610 на удалении 0,3 м от загрузочной воронки	2,2	—
Вальцевый станок на уровне открытого люка	41,1	7,6
Там же на высоте 0,3—0,5 м от люка	5,5	7,6

Проба эбонитовой пыли была отобрана одновременно с определением концентрации; она содержала фракции 70 микрон 88%.

Из данных табл. 16 видно, что пылеобразование около вальцевого станка тонкой пылевидной продукции достигло 41 г/м³, т. е. превышало нижний взрывоопасный предел в пять раз.

Даже на удалении 0,5 м от очага выбросы пыли приближались к взрывоопасной концентрации

В качестве меры обеспечения безопасности размола эбонита следует рекомендовать или надежное обеспыливание размольных агрегатов или осуществление размола в шаровых мельницах с применением инертной среды, которая может быть создана после загрузки мельницы продуктом. Частичное вытеснение воздуха может производиться азотом, углекислым газом, отходящими дымовыми или дизельными газами и т. п. до содержания кислорода в аппарате не выше 8—10% по объему.

Сушильные установки — барабанные, пневматические и других систем — также следует отнести к пылеобразующим аппаратам.

По данным исследования Института охраны труда, на одном из торфобрикетных заводов в различных точках сушильной установки были найдены следующие концентрации торфяной пыли (табл. 17).

Таблица 17

Место отбора пробы	Концентрация в г/м ³	Нижний предел взрыва в г/м ³
Газоход после барабанной сушилки	18—22	17,6
Газоход перед пылеосадительным циклоном	2,5—6,0	10,1
Газоход после циклона	0,65	—

В графе «нижний предел взрыва» табл. 17 приведены данные исследования автора для средней пробы промышленной торфяной пыли, отобранной из газохода ($17,6 \text{ г/м}^3$), а также из помещения пылеосадительных камер ($10,1 \text{ г/м}^3$).

Из этих данных видно, что вся пылеосадительная система работала в режиме, близком к взрывоопасному.

Мероприятия, направленные к уменьшению пыления рассмотренных аппаратов, изложены в главе V.

7. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЖАРО-ВЗРЫВООПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕЙ

В табл. 18 (стр. 70) помещены данные, характеризующие пожарную опасность некоторых реальных промышленных пылей, образцы которых для исследования были отобраны с производств комбикормовой, горфобрикетной, консервно-молочной, резиновой серно-рудной, льно-пенькоджутовой, пищевкусовой, мукомольной, элеваторной и топливной промышленности.

Надо учитывать, что эти пыли исследовались в более крупной фракции — 850 микрон — в неподсушенном виде и лишь для характеристики степени измельченности определялся выход тонких фракций — 70 микрон.

8. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕЙ ПО СТЕПЕНИ ПОЖАРО-ВЗРЫВООПАСНОСТИ

При рассмотрении результатов лабораторных исследований порошковой продукции (см. табл. 12) и промышленных пылей (см. табл. 18) в состоянии аэровзвеси, а также данных по самовоспламенению осажденных пылей (геля, см. табл. 9) мы видим, что все пыли следует подразделить на:

- а) взрывоопасные в состоянии аэровзвеси,
- б) пожароопасные в состоянии геля.

Степень взрывоопасности пылей, естественно, зависит от величины нижнего предела взрыва. Чем меньше нижний предел взрыва, тем быстрее могут образоваться взрывоопасные концентрации, тем опаснее пыль. Степень опасности пылей в состоянии геля характеризуется значением температуры самовоспламенения.

Чем ниже температура самовоспламенения осевшей горючей пыли, тем она опаснее.

Исходя из этого и учитывая реальную опасность подобных производств, все пыли, по степени пожарной опасности, примерно, можно классифицировать:

А. Взрывоопасные пыли

I класс — наиболее взрывоопасные с нижним концентрационным пределом взрыва до 15 г/м^3 .

Характеристика пожаро-взрывоопасности некоторых промышленных пылей
(по исследованиям автора)

№ п/п	Наименование и характер пыли	Технический анализ				Температурные показатели пожа- ро-взрывоопасности в °С			
		Выход фракции 70-мик- рон в %	Для фракции 8-10 микрон			темпера- тура искре- пления	темпера- тура вспышки	темпера- тура са- мовос- пламене- ния	нижний предел взрыва в г/м³
			влаж- ность в %	золь- ность в %	насып- ной вес				
А. По кормовым предприятиям									
1	Сенная пыль у весов	50,6	5,69	42,60	0,24	385	625	750	52,0
2	Сенная пыль	17,0	8,85	33,0	0,36	—	800	1000	55,4
3	Сенная пыль циклонного отде- ления	60,0	8,19	22,30	0,21	355	875	9,5	70,5
4	Сенная пыль	60,0	8,22	29,00	0,27	355	775	900	20,2
5	Пыль пшеничных отрубей у фи- дера	46,0	13,42	6,27	0,49	—	625	800	10,1
6	Пыль пшеничных отрубей круп- ных	1,0	9,50	4,83	0,35	355	675	850	42,8
7	Пыль пшеничных отрубей	32,0	9,35	9,39	0,33	385	650	750	22,7
8	Пыль мельничная сепая	21,0	8,35	9,45	0,45	365	470	600	10,1
9	Пыль гороховой муки	28,0	9,07	4,55	0,69	415	625	700	55,4
10	Пыль зерновых отходов ячменных	37,5	10,44	19,70	0,47	385	650	800	25,2
11	Пыль просяных зерновых отходов	18,0	6,44	54,49	0,69	385	650	850	30,2
12	Жмыховая пыль хлопчатн. жмыха	65,9	7,91	11,30	0,50	415	550	650	20,2
13	Пыль подсолненного шмыва	4,0	7,55	6,48	0,54	550	725	775	27,7
14	Пыль хлопкового шрота	40,0	11,15	8,21	0,79	Не иск- рит	675	725	25,2
15	Пыль маисовых кормов	19,8	8,57	1,17	0,52	550	625	725	17,6
16	Пыль готовой продукции (кормо- вой).	39,4	9,13	5,34	0,43	440	575	775	17,6

№ п/п	Наименование и характер пыли	Технический анализ				Температурные показатели пожа- ро-взрывоопасности в °С			
		Выход фракции 70 мик- рон в %	Для фракции 850 микрон			темпера- тура искре- нения	темпера- тура вспышки	темпера- тура са- мос- пламене- ния	нижний предел взрыва в г/м³
			влаж- ность в %	золь- ность в %	насып- ной вес				
17	Пыль готовой продукции (кормо- вой)	25,0	7,55	8,06	0,39	385	65	825	55,4
18	Пыль готовой продукции (кормо- вой)	53,9	7,29	7,35	0,31	415	575	800	27,7
19	Пыль готовой продукции (кормо- вой)	35,0	11,34	7,85	0,16	470	650	725	12,6
20	Пыль готовой продукции (кормо- вой брикет)	2,0	10,10	7,2	0,34	355	775	850	7,6
21	Пыль готовой продукции (кормо- вой брикет) у прессов	14,0	9,89	11,6	0,19	355	750	900	15,1
22	Пыль из пылевой камеры	40,0	10,45	33,45	0,42	—	725	800	12,6
23	Пыль из помещения очистки меш- котары	28,0	13,62	8,8?	0,54	—	525	600	15,0
<i>Б. По торфобрикетной промыш- ленности</i>									
24	Торфяная пыль из газохода оса- дительной камеры	65	16,5	7,81	0,35	293	470	750	17,6
25	Торфяная пыль с выступов поме- щения осадительной камеры	59	10,9	6,36	0,36	355	525	800	10,1
<i>В. По консервно-молочной промышленности</i>									
26	Сухое молоко нормальное	97,4	3,86	5,80	0,59	415	700	875	7,6
27	Сухие сливки с сахаром	93,4	1,83	3,16	0,61	415	650	725	6,3

Продолжение

№ п/п	Наименование и характер пыли	Технический анализ				Температурные показатели пожа- ро-взрывоопасности в °С			
		Выход фракции 70 мик- рон в %	Для фракции 850 микрон			темпера- тура са- тура мовос- вспышки пламене- ния	нижний предел взрыва в г/м³		
			влаж- ность в %	золь- ность в %	насып- ной вес				
28	Сухое обезжиренное молоко . . .	97,6	3,05	9,69	0,56	440	600	825	8,9
29	Горелое сухое молоко с жалюзи сушильной башни	98,3	6,57	10,09	0,44	415	700	850	7,6
Г. По резиновой промышленности									
30	Эбонитовая пыль с головки но- рия	88,1	—	—	—	390	650	775	20,2
31	Эбонитовая пыль с вальцевого станка	80,0	—	—	—	440	580	650	7,6
Д. По серно-рудной промышлен- ности									
32	Серно-рудная пыль рудника Чан- гыш-Таш	—	Зола + влага 21,08 42,79			нет	330	—	13,9
33	Серно-рудная пыль рудника Гаур- дак	—				нет	330	—	50,1
Е. По льно-пепнокожусовой промышленности									
34	Пыль льняной костры ленточных и раскладных машин	12	—	—	—	340	520	—	16,7

№ п/п	Наименование и характер пыли	Технический анализ				Температурные показатели пожа- ро-взрывоопасности в °С				продолжение
		Выход фракции 70 мик- рон в %	Для фракции 850 микрон			темпера- тура искре- нения	темпера- тура вспышки	темпера- тура са- мос- пламене- ния	нижний предел взрыва в г/м³	
			влаж- ность в %	золь- ность в %	насып- ной вес					
35	Пыль костры из бункера косто- отсоса кардамашин	7	—	—	—	340	—	700	16,7	
Ж. По пищевкусовой промыш- ленности										
36	Пыль цикорная	52	4,37	5,62	—	267	664	862	45,4	
37	Пыль сухих яблок	80	4,26	4,54	—	294	684	969	63,0	
38	Пыль грушевая	10	4,19	4,49	—	282	684	850	42,8	
39	Пыль чайная (грузинской фаб- рики)	23,3	7,29	5,6	—	316	572	900	32,8	
40	Пыль табачная	38	4,15	28,2	—	267	506	988	68,0	
3. По мукомольной и элеватор- ной промышленности										
41	Мучная пыль всасывающих филь- тров	32,0	9,3	2,58	—	330	450	—	30,2	
42	Мучная ржаная пыль	92,0	10,2	11,2	—	430	520	670	63,0	
43	Элеваторная пыль (рожь)	17,3	5,5	31,0	—	315	480	800	227,0	

№ п/п	Наименование и характер пыли	Технический анализ				Температурные показатели пожа- ро-взрывоопасности в °С			
		Выход фракции 70 мик- рон в %	влаж- ность в %	золь- ность в %	насып- ной вес	темпера- тура искре- ния	темпера- тура са- мосво- спышки пламене- ния	нижний предел взрыва в г/м³	
									Для фракции 85 микрон
И. По топливной промышлен- ности									
44	Сланцевая пыль	40	1,3	49,0	—	нет	610	830	58,0
45	Угольная пыль	25	8,12	41,6	—	нет	542	—	40,0
46	Угольная пыль подмосковная	57,1	7,8	32,4	0,65	438	664	950	139,0
47	Угольная пыль подмосковная валцевых дробилок	46,0	7,7	32,4	0,68	416	576	969	114,0
48	Угольная пыль подмосковная пы- леприготовительной установки	50,0	13,1	35,7	0,64	371	516	946	139,0
К. По промышленности пластиче- ских масс									
49	Галалитовая пыль	—	8,82	7,88	—	—	850	950	8,01

II класс — взрывоопасные с нижним концентрационным пределом взрыва от 16 до 65 г/м³.

Б. Пожароопасные отложившиеся пыли

III класс — наиболее пожароопасные с температурой самовоспламенения до 250°.

IV класс — пожароопасные с температурой самовоспламенения выше 250°.

Применительно к противопожарным нормам строительного проектирования промышленных предприятий (НСП 102 — 51) производства, связанные с выделением пыли, применением или выработкой порошковой продукции I и II классов могут быть отнесены по пожарной опасности к категории Б, а III и IV классов — к категории В.

По этой примерной классификации исследованная порошковая продукция распределяется следующим образом.

I класс — наиболее взрывоопасные с нижним концентрационным пределом взрыва до 15 г/м³.

Наиболее характерными представителями из числа исследованных аэрозвесей этого класса являются (табл. 19) следующие.

Таблица 19

Наименование	Нижний предел взрыва в г/м ³	Наименование	Нижний предел взрыва в г/м ³
<i>а) Пыли лабораторного приготовления</i>		<i>б) Промышленные пыли</i>	
Сера, серный цвет . .	2,3	Сухие сливки с сахаром	6,3
Нафталин	2,5	Сухое молоко нормальное	7,6
Канифоль	5,0	Сухое молоко горелое, с жалюзи	7,6
Антрацен	5,0	Эбонитовая пыль с вальцевого станка	7,6
Фенантрен	5,0	Пыль готовой продукции, кормовой брикет	7,6
Эбонитовая пыль I сорта	7,6	Пыль пшеничных отрубей, у фидеров	10,1
Шрот подсолнечный	7,6	Пыль мельничная, серая	10,1
Молоко сухое	7,6	Торфяная пыль из осадительной камеры	10,1
Кровяная мука	7,6	Пыль из пылевой камеры (кормовая)	12,6
Сахар свекловичный	8,9	Серно-рудная пыль	13,9
Камфора	10,1	Пыль из помещения очистки мешкотары (кормовая)	15,0
Шрот хлопчатниковый	10,1		
Торфобрикет	10,1		
Чечевица	10,1		
Мясокостная мука	10,1		
Маиловые корма	12,6		
Дифенил	12,6		
Дифенилоксид	12,6		
Фталевый ангидрид	12,6		
Пек	15,0		
Уротропин	15,0		
Шеллак	15,0		

II класс — взрывоопасные с нижним пределом взрыва от 16 до 65 г/м³.

Наиболее характерными представителями этого класса из числа исследованных взрывесей являются (табл. 20).

Таблица 20

Наименование	Нижний предел взрыва в г/м ³	Наименование	Нижний предел взрыва в г/м ³
<i>а) Пыли лабораторного приготовления</i>		Пшеничная сечка . . .	45,4
Алюминиевый порошок	58,0	Электронная пыль . .	30,0
Барда хлебная	22,7	Ячменная мука	32,8
Горох	25,2	<i>б) Промышленные пыли</i>	
Жом свекловичный . . .	27,7	Сенная пыль	20,2—70,5
Жмых хлопчатниковый .	27,7	Пыль пшеничных отрубей	22,7—42,8
Зерновые отходы	50,4	Пыли зерновых отходов	25,5—30,2
Казеин технический . . .	32,8	Пыли жмыховые	20,2—27,7
Крахмал картофельный . .	40,3	Пыли шротов	25,2
Кукуруза в початках . . .	37,8	Пыли готовой (кормовой) продукции . . .	17,6—55,4
Лак красный П	19,5	Эбонитовая промышленная пыль	20,2
Лигнин	30,2	Пыль льняной костры . .	16,7
Литоль прочный шарлах (краситель)	25,0	Пыли кофе-цикорной фабрики	42,8—63,0
Льняная костра	16,7	Чайная пыль	32,8
Овес	30,1	Мучная пыль	30,2—63,0
Отруби крупные	45,4	Сланцевая пыль	58,0
Просянные зерновые отходы	47,8		

III класс — наиболее пожароопасные пыли, обладающие температурой самовоспламенения в куче, в токе воздуха до 250°.

Наиболее характерными представителями этого класса являются (табл. 21).

Таблица 21

Наименование	Температура самовоспламенения осажденной пыли (геля) в куче	Нижний предел взрыва в г/м ³
Табачная пыль	205	68,0—101,0
Элеваторная пыль	250	227,0

IV класс — пожароопасные пыли, обладающие температурой самовоспламенения в куче, в токе воздуха выше 250°.

Наиболее характерными представителями этого класса являются (табл. 22).

Таблица 22

Наименование	Температура самовоспламенения осажденной пыли (геля) в куче °С	Нижний предел взрыва в г/м³
Угольные пыли (высоко-зольные)	260	114—400
Древесные опилки	275	выше 65,0

К группе пожароопасных пылей III и IV классов следует также отнести следующие из числа ранее исследованных (см. табл. 12 и 18), для которых не были определены значения температур самовоспламенения (табл. 23).

Таблица 23

Наименование	Нижний предел взрыва в г/м³
Сенная пыль из циклонного отделения	70,5
Красители	270—280
Цинковая пыль	800

ГЛАВА V

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ПЫЛЕВЫХ ВЗРЫВОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАДАЧИ ПОЖАРНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Борьба со взрывами пыли в промышленности, так же как и борьба с пожарами, должна проводиться главным образом путем осуществления ряда предупредительных мероприятий — общих противопожарных и специальных.

Специальные мероприятия имеют своей основной целью предупреждение взрыва, или локализацию в самой начальной стадии его развития, или, наконец, предотвращение разрушающего действия взрыва.

Предупреждение пылевых взрывов и пожаров немыслимо без использования современных достижений техники, без широкой научно-исследовательской работы в этой отрасли.

В нашей стране созданы все условия для изучения причин возможного возникновения пожаров и для разработки действенных, научно обоснованных противопожарных мероприятий.

В вопросе организации профилактики взрывов необходима прежде всего целеустремленность, направленность всего намеченного комплекса мероприятий на решающие участки производства для устранения причин, могущих привести к взрыву.

Следует также учитывать необходимость разработки эффективных средств пожаротушения, ибо некоторые автоматические средства пожаротушения, надежно срабатывающие при возникновении пожара, в случае взрыва, как правило, не успевают сработать, запаздывают и поэтому не достигают своей цели. К подобным устройствам, обслуживающим взрывоопасные помещения или установки, приходится предъявлять повышенные требования в части снижения инерционности их пусковых приспособлений. Из материала предыдущих глав видно, что основными причинами возбуждения и дальнейшего распространения взрыва аэровзвеси являются:

а) Запыленность воздуха производственных помещений (общая или отдельных зон) взрывоопасной пылью. Взвешенная в воздухе пыль в концентрациях выше взрывоопасного (нижнего) предела является первой и основной причиной пылевых взрывов в промышленности. Взрывоопасные концентрации могут образоваться в технологическом оборудовании, пылеотсосных системах в определенные моменты их эксплуатации.

б) Наличие источников тепла, способных воспламенить аэровзвеси. Внезапное появление в запыленном очаге в помещении, в аппарате или в пылеотсосной системе источника зажигания достаточной тепловой мощности является второй необходимой причиной возбуждения взрыва.

в) Обязательным условием для возбуждения взрыва порошковой продукции является также присутствие в воздухе достаточного количества кислорода, расходуемого на полное сгорание аэровзвеси. Даже при наличии первых двух факторов: запыленности пространства и источника зажигания — в воздухе с пониженным содержанием кислорода взрыва не будет.

Совершенно очевидно, что профилактические мероприятия должны быть направлены на устранение одной из перечисленных выше причин.

Наиболее радикальной и вместе с тем простейшей мерой предотвращения пылевых взрывов является систематическая неослабная борьба с запыленностью помещений, осуществление постоянного контроля запыленности воздуха и концентраций пыли в технологическом оборудовании.

Своевременная уборка подсора, очистка от пыли строительных конструкций (стен, оконных переплетов, подоконников, балок) отопительных приборов, трубопроводов и всего оборудова-

ния, — таковы простейшие наиболее эффективные мероприятия в борьбе со взрывоопасностью.

Устранением запыленности воздуха или удерживанием ее вне пределов взрывоопасности (например, меньше нижнего концентрационного предела взрыва) совершенно исключается возможность взрыва даже при наличии второго фактора — источника зажигания любой тепловой мощности.

Следующими эффективными мероприятиями по предупреждению взрывов являются такие, которые направлены к устранению случайных источников зажигания. К этой группе мероприятий в первую очередь относится применение в надлежащем взрывозащищенном оформлении электрооборудования, а также осветительной арматуры в пыленепроницаемом исполнении. Безоговорочное требование по замене всего электрооборудования на «взрывонепроницаемое» в большинстве случаев нецелесообразно и не вызывается необходимостью. Такое требование может быть оправдано только наличием взрывоопасных очагов или возможности их образования при аварийном режиме в сочетании с отсутствием или невозможностью установки специальных обеспыливающих устройств. В большинстве случаев может быть использовано электрооборудование с меньшей степенью защищенности (см. «Правила устройства электротехнических установок [30], раздел «Электрооборудование взрывоопасных помещений»), но которые исключают возможность возникновения дуги или опасных температур в местах, где эти факторы не должны иметь места при нормальной работе.

Даже при наличии взрывобезопасного электрооборудования не исключается возможность появления источников зажигания как по причине неосторожного обращения, например, с переносными светильниками, так и вследствие нарушений правил эксплуатации. Источники зажигания в виде открытого огня могут появиться в результате нарушений правил общего распорядка. Источниками зажигания могут быть очаги самовозгорания некоторых сортов пыли или других веществ (например, промасленные тряпки).

При нарушениях правил технической эксплуатации технологического оборудования не исключена возможность появления нагретых поверхностей от разогрева рабочих частей машин, скользящих подшипников и пр.

К числу таких же «случайных» тепловых импульсов следует отнести искрообразование по причине попадания в размольные агрегаты металлических предметов или кремнепримесей.

Появления такого рода источников воспламенения можно избежать строгим выполнением правил технической эксплуатации машин и аппаратов и установленных правил пожарной безопасности для помещения в целом.

Наконец, при наличии первых двух факторов (запыленности воздуха и одновременного появления источника зажигания) и не-

возможности их гарантированного исключения можно осуществить защиту от взрывов путем снижения содержания кислорода в аппарате, бункере или в отдельных отсеках пылеотсосной системы до предельного значения, ниже которого невозможно взрывообразование. Это предельное значение кислорода в смеси не является какой-то стабильной величиной, оно зависит от природы взрывзвеси и изменяется от 6 до 14% по объему. Так, например, для пыли серы или сухого молока необходимо, чтобы предельное содержание кислорода в смеси было не более 6 — 8%.

Применение для этих целей локализирующих средств (углекислоты, азота, паров огнегасительных жидкостей, а также минеральных пылей) следует признать одной из действенных и надежных профилактических противовзрывных мер, так как благодаря им, даже при условии использования их только в момент возбуждения взрыва, разрушающее действие взрывной волны будет значительно ослаблено.

При заблаговременном введении в окружающую замкнутую среду (аппарат) инертных газов совершенно исключается возможность не только взрыва, но и загорания.

Существенным мероприятием, способствующим локализации взрыва и предотвращающим возможные разрушения, может быть защита оборудования и сооружений особыми предохранительными клапанами, а также защита зданий легкобрасываемыми панелями, самооткрывающимися люками, окнами и дверями.

Подобные противовзрывные устройства оправдали себя в ряде отраслей промышленности, в том числе на пылеприготовительных установках электростанций, заводах граммофонных пластинок, на сажевых заводах, медеплавильном заводе, торфобрикетном заводе и др.

Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий (НСП 102 — 51) предусматривают во взрывоопасных помещениях категории А наличие площади остекления или легкобрасываемых панелей из расчета $0,05 \text{ м}^2$ на 1 м^3 помещения.

Защита производственного оборудования противовзрывными клапанами пока регламентирована только в отношении пылеприготовительных установок электростанций [26]. В 1940 — 1941 гг. этот вопрос был достаточно изучен и подготовлен для внедрения в комбикормовой промышленности [29].

Подводя итог изложенному выше о принципах промышленной профилактики все мероприятия можно разбить на четыре группы:

а) Мероприятия, предупреждающие или исключаящие возможность возбуждения взрывов пыли. К числу их относятся, например: оборудование помещений обеспыливающими устройствами (аспирацией), регулярная очистка помещений от пыли, предупреждение самовозгорания некоторых материалов, надлежащий уход и наблюдение за работающим

механическим оборудованием, исключение искрообразования внутри механизмов путем устройства магнитных заградителей для улавливания металлопримесей, применение на отдельных участках защищенных электромоторов, пусковой и осветительной аппаратуры, категорическое недопущение в эксплуатацию особо пожароопасных систем оборудования (например, магнетательных рукавных фильтров, фермеров), изоляция пылеулавливающих устройств, ограничение ремонтных работ в работающих взрывоопасных цехах, уход и наблюдение за подшипниками и другими трущимися поверхностями.

б) Мероприятия, направленные на создание условий, препятствующих распространению пожара или взрыва. К числу их относятся: борьба с общей запыленностью производственных помещений, недопущение образования залежей пыли (систематическая уборка в сменах и генеральные уборки всех помещений), периодический контроль запыленности воздуха в производственных помещениях, применение аппаратов и строительных конструкций, выполненных из несгораемых материалов, защита оборудования противовзрывными клапанами, оборудование взрывоопасных цехов системой самооткрывающихся люков, окон и дверей, устройство противопожарных преград и системы заслонок, отключающих отдельные участки аспирации, разделение помещений с различной степенью опасности, устройство децентрализованных систем вентиляции.

К этой же группе мероприятий следует отнести применение локализирующих средств — минеральных пылей (мела, ракушечной муки и др.) и инертных газов — углекислоты или азота, а также применение огнезащитных покрытий для деревянных конструкций и чердачных помещений.

в) Мероприятия, обеспечивающие эвакуацию людей из взрывоопасных помещений. К числу их относятся: обеспечение каждого помещения эвакуационными выходами в соответствии с НСП 102-51, устройство дверей, открывающихся в сторону лестничной клетки, устройство аварийного освещения.

г) Мероприятия, обеспечивающие успешное тушение пожара и своевременную локализацию местного взрыва. К числу этих мероприятий относятся: обеспечение предприятия надежной пожарной сигнализацией, системой водоснабжения, поддержание в полной исправности подъездных путей, дорог и проходов между отдельными зданиями, целесообразное размещение первичных средств пожаротушения.

В настоящей главе мы остановимся лишь на некоторых мероприятиях, требующих известных капитальных затрат или создания специального оборудования. Эти мероприятия эффективны и надежны, особенно при рациональном их использовании на решающих участках производства или там, где обычные системы (вентиляции, пневматического транспорта или выдачи пылевид-

ной продукции) не справляются с дополнительно предъявленными требованиями со стороны органов пожарной охраны.

Из группы мероприятий, направленных к снижению запыленности воздуха производственных помещений и разгрузки отдельных очагов пыления, будут подробнее освещены вопросы применения местных обеспыливающих агрегатов.

Из группы мероприятий, препятствующих распространению взрыва, устраняющих появление или передачу источников зажигания (или пламени), будут рассмотрены:

- 1) сухие огнепреградители для мельниц;
- 2) предупреждение взрывов в воздуховодах от искрящих пылевых частиц (автоматическая сигнализация);
- 3) огнегасительные и локализирующие средства;
- 4) предохранение зданий, сооружений и оборудования от разрушающего действия взрыва;
- 5) защита от разрядов статического электричества.

2. МЕСТНЫЕ ОБЕСПЫЛИВАЮЩИЕ АГРЕГАТЫ

Воздух производственных помещений, где по условиям работы имеет место пылеобразование, загрязняется пылью. Наличие в помещении токов воздуха, вызванных конвекцией, движением частей машин и т. п., может явиться дополнительной причиной распространения пыли в помещении.

Находящаяся во взвешенном состоянии пыль под действием силы тяжести оседает, образуя таким образом залежи особо опасной (по своей степени дисперсности) в пожарном отношении пыли.

Основным эффективным мероприятием предупреждения пожаров и взрывов в запыленных помещениях является недопущение опасной концентрации пыли в воздухе помещения или внутри пылеобразующих машин и оборудования.

Методика контроля воздуха производственных помещений на запыленность рассмотрена в главе IV.

Общеобменная вентиляция в этих случаях недостаточно эффективна и может найти применение лишь в помещениях с равномерно запыленным воздухом.

Эффективным средством борьбы с запыленностью воздуха помещений является локализирующая вентиляция. Локализация источника пыления достигается укрытием его посредством кожуха с устройством отсоса запыленного воздуха. Уловленная пыль и увлеченная продукция в дальнейшем осаждаются из воздуха и используются по назначению.

Основные принципы местного обеспыливания промышленного оборудования

Эффективное обеспыливание различных промышленных устройств достигается заключением источника пыления (очага) в

закрытый (герметизирующий) кожух, изолирующий пылеобразующее место от рабочего помещения.

Однако прикрытие очага пыления или уплотнение пылящего механизма не всегда приводит к желательным результатам по следующим причинам:

а) внутри укрытия возникает избыточное давление вследствие токов воздуха, создаваемых движением материала, а также движущимися частями механизмов;

б) вследствие выбивания пыли из-под укрытия, а также через неизбежные неплотности кожуха под действием кинетической энергии частиц, сообщенной им импульсом воздушных потоков внутри;

в) из-за просачивания пыли через неплотности от падения пыли струей при ударе о стенки кожуха.

В связи с этим обеспыливание производственных агрегатов должно вестись по двум линиям:

1) герметизация пылеобразующих механизмов и уплотнение стенок кожухов и течек, которые подвергаются действию падающей струи пыли;

2) устройство местной вытяжной вентиляции непосредственно из-под герметизирующего кожуха.

Наряду с этим необходимо принять меры против уноса в отсосную систему порошковой продукции. Для этого нужно:

а) сократить количество отсасываемого воздуха из кожуха (прикрытия) путем герметизации последнего;

б) располагать всасывающие патрубки пылеприемников так, чтобы токи воздуха в них не пересекали струи легко уносимого материала;

в) присоединять патрубки к герметизирующим кожухам в виде-плавной воронки (пылеприемник), чтобы в широком сечении скорость засоса воздуха была не более $0,2-0,4$ м/сек.;

г) первые участки воздуховодов следует располагать вертикально и проектировать в них умеренные скорости ($2-5$ м/сек);

д) обеспечить разгрузку герметизирующих кожухов от «воздушных мешков», образующихся при быстрой ссыпке материала;

е) соблюсти норму отсоса воздуха из-под герметизирующего кожуха, зависящую от типа кожуха и степени его герметизации.

В. В. Кучерук и В. Н. Серов [19] приводят примерные кратности обмена воздуха в кожухах различных промышленных установок (табл. 24).

ж) расчет воздуховодов необходимо вести с учетом транспортирования самых крупных частиц, поступающих с воздухом, во избежание осаждения пыли и засорения воздуховодов.

Необходимые для этого расчета значения скорости витания частиц (взвешивающие скорости) определяются по формулам или же экспериментально.

Для ориентировочного определения скоростей перемещения различных материалов рекомендуются данные табл. 25.

Таблица 24

№ п/п	Наименование оборудования	Кратность обмена в кожухе в мин.	Расположение отсасывающих патрубков
1	Щековая дробилка . .	5—15	Отсос сверху
2	Шаровая мельница . .	2—6	Отсос от кожуха сверху у середины
3	Вертикальный ковшевой элеватор: одношахтный	2,5—5	Отсос от нижней головки при холодном материале и от верхней головки при горячем материале
4	двухшахтный	1,5—3	
5	Шнек	2,5—4	
	Бункер	0,2—2	Должен быть закрыт плотной крышкой, отсос сверху от крышки

Таблица 25

Характер транспортируемой смеси	Скорость транспортирования в м/сек
Легкая сухая пыль (шлифовка по дереву, табачная пыль и т. п.)	8—10
Текстильная пыль, пыль красок и т. п.	10—12
Минеральная пыль, опилки, стружки	12—14
Тяжелая минеральная пыль (наждачная) и влажная стружка	14—16
Спичечная соломка	16—18
Земляная и песчаная пыль	16—18

По данным А. В. Панченко [4], в табл. 26 приводятся значения взвешивающих скоростей воздуха в м/сек. для пыли мельниц и элеваторов.

Таблица 26

Размеры частиц в мм	Взвешивающая скорость в м/сек для:	
	мучной пыли, уд. вес 1,3 г/см ³	минеральной пыли, уд. вес 2,5 г/см ³
0,01	0,10	0,018
0,02	0,017	0,031
0,03	0,037	0,072
0,05	0,110	0,200
0,10	0,36	0,62
0,15	0,70	1,15
0,20	1,0	1,5
0,30	1,6	2,3
0,40	2,1	3,2
0,50	2,6	4,0

В целях предупреждения завалов воздуховодов следует:

а) воздуховоды располагать выше местных отсосов;
б) располагать воздуховоды не горизонтально, а под углом к горизонту не менее $45-55^\circ$, т. е. желательно иметь наклон не менее угла естественного откоса материала;

в) в отдельных случаях на горизонтальных участках воздуховодов следует включать аспирационные шнеки, назначение которых состоит в том, чтобы непрерывно удалять пыль.

Московским институтом охраны труда [19] после экспериментальной проверки на предприятиях был рекомендован ряд принципиальных схем обеспыливания различного промышленного оборудования: дробилок, очистного барабана, пескоструйных установок, шлифовальных столов, мельничного бурата, тетки на ленточный транспортер, выгрузки из шаровой мельницы, расфасовки порошкообразных продуктов, а также всасывающий насадок «Улитка» конструкции инж. Кучерука.

Отсос для местного обеспыливания при расфасовке порошкообразных продуктов выполнен по принципу узкой всасывающей щели (рис. 26).

Такая система применяется для обеспыливания операций развески и расфасовки чая в пакеты.

Конструкция насадка позволяет путем регулирования скорости, ширины щели, охватывающей течку 1, и высоты расположения отсоса над пакетом, захватывать более или менее энергично образующийся очаг пыли.

Заслуживает также внимания пылеотсосный агрегат-циклон

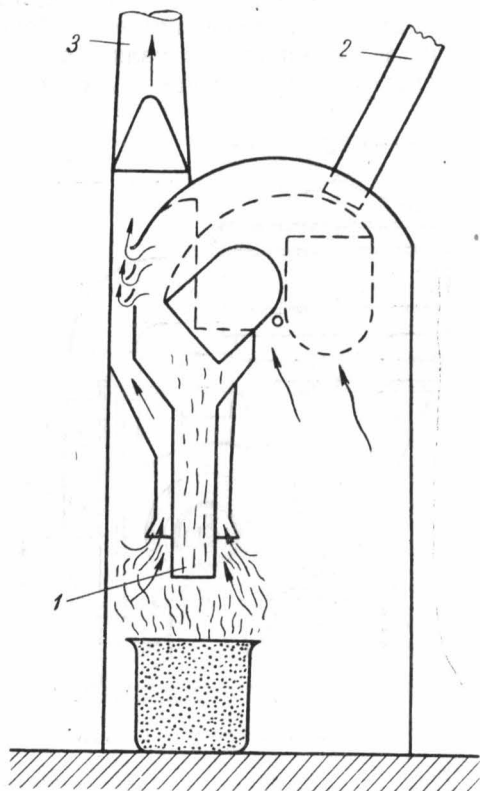


Рис. 26. Отсос для местного обеспыливания при расфасовке порошковой продукции:

1 — течка для подачи продукта на расфасовку; 2 — течка для подачи продукта на автоматические весы; 3 — отсос пыли от течек.

«ГАЗ» [19], служащий для отсоса запыленного воздуха от абразивных станков. Воздух от станка отсасывается центробежным вентилятором 1, который своим выхлопным отверстием соединен с циклоном 2 (рис. 27). Вентилятор обслуживается мотором мощностью 0,4 квт с числом оборотов 2800 в минуту. Такие агрегаты можно использовать и для улавливания горючих пылей.

Надежным мероприятием в борьбе с пылеобразованием ленточных транспортеров является их местное обеспыливание. Оно осуществляется помещением отдельных участков ленты в гер-

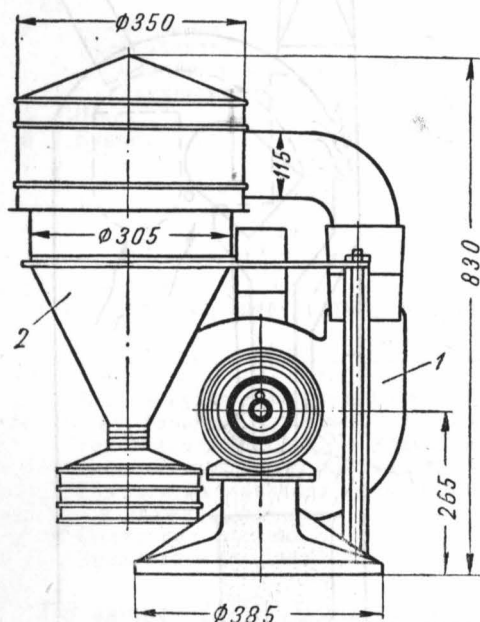


Рис. 27. Пылеотсосный агрегат-циклон «ГАЗ»:

1 — центробежный вентилятор; 2 — циклон.

метизированные кожухи, к которым подключаются индивидуальные вентиляторы, отсасывающие избыточный воздух и вместе с ним наиболее тонкие фракции пыли. Увлеченная пыль, после осаждения в циклончике, может вновь возвращаться на ленту, но уже в том месте, где нет пыления.

Еще более радикальной мерой по обеспыливанию производственных помещений, связанных с транспортированием сыпучих тел или продуктов размола, является замена всех ленточных транспортеров на особый вид закрытых цепных транспортеров.

Капитальные затраты на это переоборудование и внедрение цепных транспортеров оправдали себя в полной мере в условиях комбикормовой промышленности.

Наиболее эффективным средством борьбы с пылеобразованием вертикальных транспортеров, т. е. норий, также является их местное обеспыливание.

Принципиальные схемы обеспыливания норий приведены на рис. 28 и 29, где показано осуществление отсоса от башмака нории через расширительную коробку с отражателем. На рис. 30 показано осуществление отсоса из трех точек для мощной нории.

Размольные агрегаты непрерывного действия для улавливания выделяющейся пыли обычно снабжаются собственными аспираторными устройствами с кратностью обмена воздуха, указанной в табл. 24.

Наиболее беспыльно работают дробильные машины с выдачей размолотого продукта через циклон при осуществлении рециркуляции (возврата) воздуха после осаждения продукта в дробильную машину. Принципиальная схема такого агрегата показана на рис. 31.

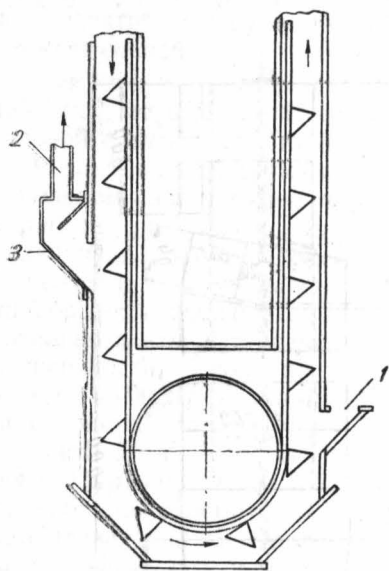


Рис. 28. Принципиальная схема обеспыливания норки:
1 — питательный желоб; 2 — отсос пыли; 3 — расширительная коробка с отражателем.

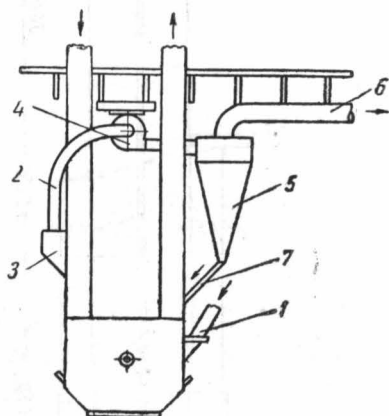


Рис. 29. Принципиальная схема индивидуального обеспыливания норки:

1 — питатель; 2 — отсос пыли; 3 — расширительная коробка; 4 — вентилятор; 5 — циклон; 6 — выхлопная труба циклона; 7 — возврат пыли в нориную трубу.

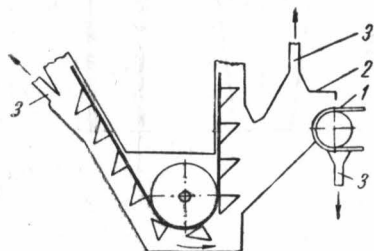


Рис. 30. Принципиальная схема обеспыливания мощной норки:

1 — ленточный транспортер; 2 — кожух норки; 3 — места отсосов пыли.

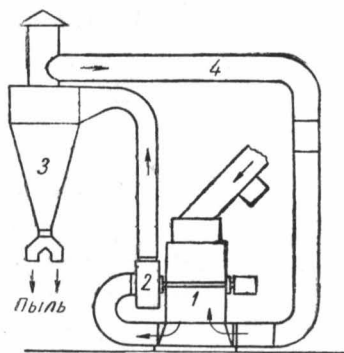


Рис. 31. Принципиальная схема дробильной машины с рециркуляцией воздуха:

1 — дробильная машина; 2 — вентилятор; 3 — циклон; 4 — возвратный воздуховод.

Однако на практике далеко не все дробильные машины оборудуются индивидуальными обеспыливающими системами и зачастую они даже не подключены к общей аспирационной системе.

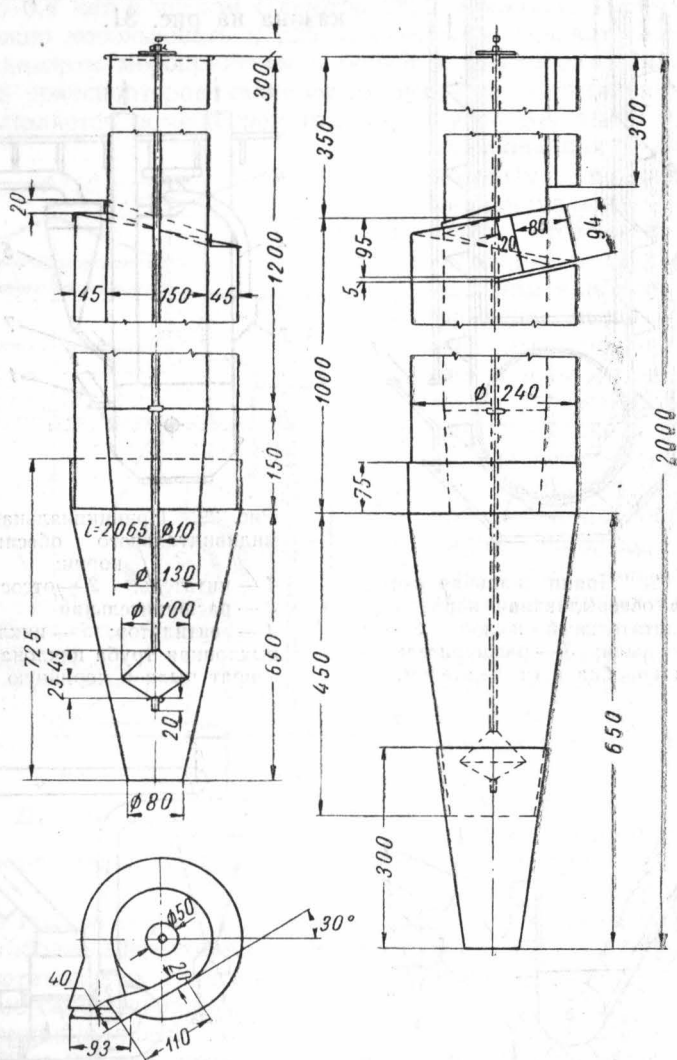


Рис. 32. Циклон с удлиненным цилиндром и конусом.

В 1939 г. на элеваторе в г. Херсоне инж. В. Н. Павловым была осуществлена опытная установка для обеспыливания насыпного лотка. В этом агрегате впервые был осуществлен при-

вод к вентилятору типа ЦАГИ от валика под холостой ветвью транспортера.

Эффективность установки, состоявшей из простейшего пылевого центробежного вентилятора (не требующего индивидуального электромотора) и небольшого циклона, была вполне удовлетворительной.

Циклоны в таких установках служат для отделения уловленной пыли от воздуха. Полнота отделения пыли от воздуха в сильной степени зависит от устройства циклона.

Различные конструкции циклонов, в том числе циклон с удлиненными цилиндрами и конусом (рис. 32), были проверены в работе на одном из мельничных комбинатов. Испытания производились на образцах пылей относительно высокой степени дисперсности, содержащих 80—90% фракций, проходящих через шелковое сито № 43 (180 микрон). Образцы пыли были собраны с оборудования элеватора, из матерчатого фильтра или составлены из смеси различных элеваторных пылей.

На рис. 33 показаны два типа испытываемых циклонов; для левого циклона отношение $H/D = 1,3$, для правого $H/D = 3,6$, где H — общая высота, а D — наружный диаметр циклона.

Подтвердилось, что удлиненные циклоны, с относительно малым диаметром, вследствие более длительного времени пребывания частиц в них, имеют больший коэффициент полезного действия и отделяют более тонкую пыль. Последнее объясняется тем, что при одной и той же скорости входа воздуха в циклон величина центробежной силы возрастает с уменьшением диаметра циклона.

Сопротивление малых циклонов не больше, а даже несколько меньше по сравнению с циклонами обычных размеров. Наличие улитки в малых циклонах позволяет применять их без противоподсосных барабанов.

При исследовании герметизирующих кожухов, которыми снаб-

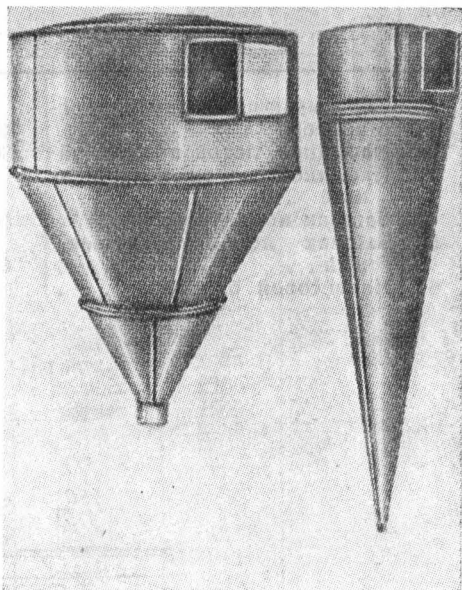


Рис. 33. Циклоны (общий вид).

жаются обеспыливаемые объекты с целью изолирования пылеобразующего места от рабочего помещения, были проверены опытным путем расходы воздуха и установлены более обоснованные нормы отсоса воздуха от элеваторного оборудования.

Расчеты и опытные данные показали возможность значительного снижения существующих норм расходов воздуха при отсосе пыли от элеваторного оборудования.

В табл. 27 приведены нормы отсосов воздуха, принятые «Промзерно-проектом» взамен ранее существовавших. Последние показаны в знаменателе.

Таблица 27

№ п/п	Наименование оборудо- вания	Нормы отсоса воздуха в м³/час		
		Производительность оборудова- ния в т/час		
		45	100	175
1	Сбрасывающая коробка транс- портера	400/900	500/1200	600/1500
2	Насыпной лоток проходной	300/400	450/1200	600/1500
3	Насыпной лоток заглушен- ный	0/600	0/900	0/1200
4	Башмак норки проходной	500/600	800/900	1000/1200
5	Башмак норки заглушен- ный	400/600	500/900	—/1200
6	Надвесовой бункер	400/900	600/1200	900/1500

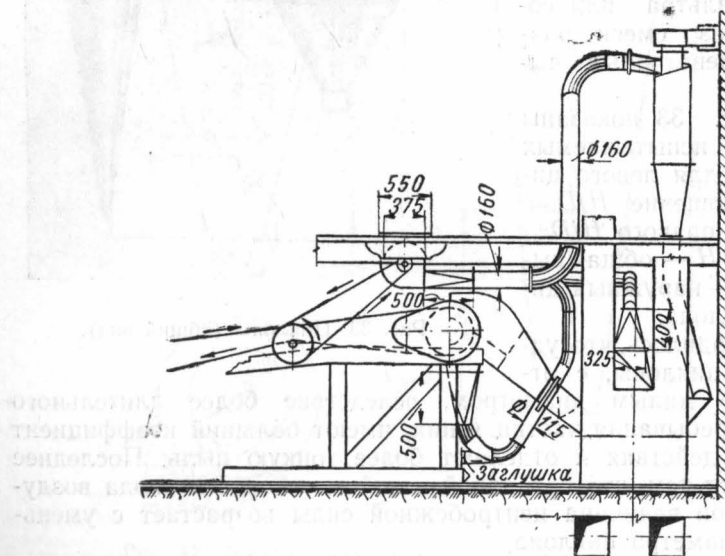


Рис. 34. Местный обеспыливающий агрегат, обслуживающий сбрасывающую коробку ленточного транспортера и башмак норки.

М. Г. Годжелло и В. Н. Павловым в 1945 г. была предложена комбикормовой промышленности принципиальная схема бес-

пыливающего агрегата (рис. 34) для обслуживания сбрасывающей коробки ленточного транспортера и башмака норик, производительностью 45 т/час. В этом обеспыливающим агрегате в качестве пылеосадителя были запроектированы групповые (малые) циклоны с удлиненными цилиндром и конусом. Привод вентилятора осуществлен с отбором мощности от ленты транспортера через приводной валик.

Основные характеристики такого агрегата приводятся в табл. 28.

Таблица 28

Показатели	Единица измерения	Количество	Габариты
Общий (теоретический) расход воздуха	м³/час	1000	—
Пылеотделительные циклоны	шт.	2	450 × 2030
Производительность одного циклона	м³/час	600	—
Диаметр циклона	мм	350	—
Длина цилиндрической части	"	1000	—
<i>Вентилятор</i>			
Тип ЦАГИ (пылевой) № 2	шт.	1	360 × 400 × 160
Напор	мм вод. ст.	75	—
Число оборотов	об/мин.	2200	—
Производительность	м³/час	1000	—
Мощность на валу вентилятора	квт	0,36	—
<i>Герметизирующий кожух и пылеприемник</i>			
Скорость входящего воздуха	м/сек	0,57	—
Диаметр воздухопроводов	мм	160—180	—
Передаточное число от приводного валика при скорости ленты 1,5 м/сек к валу вентилятора	—	4,6	—
Диаметр приводного валика	мм	60	—

Для той же комбикормовой промышленности проблема обеспыливания сеного ленточного транспортера производительностью 6,0 т/час значительной протяженности, расположенного в подземной галлерее, может быть решена с помощью трех отдельных агрегатов местного обеспыливания:

агрегат № 1 — обслуживающий верхний сенной транспортер № 1 длиной около 10 м и сброс сена на второй транспортер, расположенный в галлерее (рис. 35);

агрегат № 2 — обслуживающий сброс сена с транспортера № 2 на транспортер № 3, в галлерее (рис. 36).

Рис. 35. Местный обеспечивающий агрегат для сеного транспортера с отбором мощности для привода вентилятора от ленты транспортера.

Рис. 35. Местный обеспиливающий агрегат для сеного транспортера с отбором мощности для привода вентилятора от ленты транспортера.

92

В. Н. Павловым разработан типовой проект местного обес- пыливания ковшевых весов грузоподъемностью 5 т (рис. 37).

Агрегат обслуживает бункер над весами, вековой ковш и бункер под весами, причем отсос из весового ковша производится только в период его наполнения, когда имеет место пыление с интенсивным выбросом пыли через неплотности. На это время

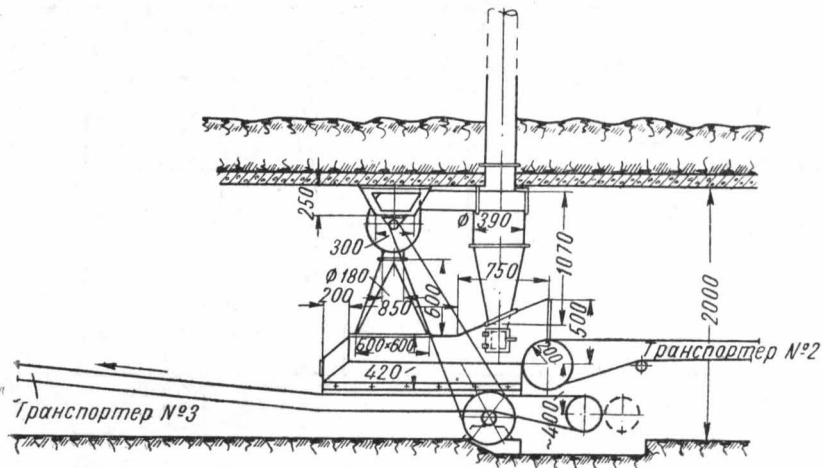


Рис. 36. Местный обеспыливающий агрегат для санных транспортеров с приводом к вентилятору от валика под лентой транспортера.

отсос бункера под весами автоматически отключается. Включение и отключение отсосов производится при помощи сдвоенного дроссель-клапана, управляемого тросом, прикрепленным к рычагу надвесовой задвижки.

Автоматическое отключение отсоса от весового ковша на период взвешивания исключает ошибку при взвешивании.

В этом варианте местного обеспыливания привод к вентилятору осуществлен от индивидуального электромотора мощностью 1,0 кВт.

В производствах, где в борьбе с образованием отдельных очагов пыления общие вентиляционные системы оказываются недостаточно эффективными, исключительно целесообразно применение местных обеспыливающих устройств (агрегатов).

Учитывая, что наличие запыленных мест в значительной мере повышает пожарную опасность на предприятиях, местное

В частности, вопрос обеспыливания ленточных транспортеров (особенно с пробегом ленты на протяжении 100 и более метров, что имеет место, например, в надсиловых пространствах элеваторов и мельниц) наилучшим образом решается местными обеспыливающими агрегатами.



По опыту проектирования местных обеспыливающих устройств может быть рекомендован отбор мощности для индивидуальных

вентиляторов от обслуживающих механизмов. Для ленточных транспортеров это решается валиком под холостой ветвью транспортера. Для башмаков норий необходимое число оборотов может быть снято с оси барабана.

Пылеосаждение в агрегатах достаточно эффективно разрешается применением групповых циклончиков с удлиненными цилиндром и конусом с выхлопом воздуха наружу.

Решающим условием для эффективности работы обеспыливающих агрегатов является правильный расчет герметизирующего кожуха, блокирующего запыленный объем, а также надлежащее расположение в нем пылеприемника.

3. СУХИЕ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ ДЛЯ МЕЛЬНИЦ

Все процессы переработки зерна в муку обычно сопровождаются аспированием машин; при этом весь отсасываемый от машин воздух выбрасывается наружу, вследствие чего число обменов воздуха в мельничных зданиях достигает 10—20 в час. При таком большом количестве обменов воздуха отопление мельничных зданий становится практически невозможным из-за чрезмерно большого расхода топлива.

Отсутствие отопления вызывает большие затруднения в осуществлении технологического процесса производства, сквозняки и холод ухудшают условия труда рабочих.

Теплый и влажный продукт размола, проходя по холодным самотекам, клейстеризуется на их стенках, образуя пробки, которые затем вызывают завалы. Клейстер образуется также на ситах просеивающих машин и снижает их производительность. По тем же причинам нарушается нормальная работа вентиляции. Ухудшаются условия обеспечения требований техники безопасности и пожарной безопасности, применением различных средств обогрева.

Для того чтобы сделать отопление мельничных зданий практически осуществимым, необходимо снизить число обменов воздуха в помещении с 10—20 обменов в час до 1—2 обменов. Это становится возможным, если большую часть теплого воздуха, отсасываемого от машин, после очистки вновь возвращать в помещение, т. е. осуществить рециркуляцию воздуха.

Однако рециркуляционная система воздухообмена увеличивает пожарную опасность помещений, так как при недостаточной очистке возвратного воздуха помещения будут дополнительно загрязняться пылью, а сами воздуховоды будут являться удобными путями распространения огня.

Поэтому устройство системы рециркуляции (возврат) воздуха в помещении разрешается при условии надежной очистки воздуха и пропуска через аппарат, устраняющий возможность распространения пожара, возникшего в воздуховодах или всасывающем фильтре. В качестве такого устройства может служить обеспыли-

вающая установка, снабженная сухим огнепреградителем с тепловым реле и электромагнитным клапаном. В разработке этой установки и в стендовых ее испытаниях принимал участие автор совместно с В. С. Пальцевым и А. Я. Малис [20].

Всесоюзным научно-исследовательским институтом зерна Министрства заготовок (ВНИИЗ) было предложено несколько опытных конструкций сухих огнепреградителей для вентиляцион-

ных установок мельниц в виде сетчатых рамок, сетчатой насадки и с гравийным заполнением.

Сетчатые рамки. Огнепреградитель представлял собой обойму из оцинкованного кровельного железа с гнездами для трех сетчатых рамок (рис. 38). Расстояние между сетками в обойме 30 мм. Рамки поставлены наклонно с целью уменьшения возможности забивания их пылью. Обойма имела глухой шибер, который перекрывал ее во время вынимания сеток для ремонта или очистки.

Сетчатый насадок (рис. 39) представлял собой три сетчатых цилиндра диаметром 400, 450 и 510 мм, насаженных друг на друга. Сетки имели 150 отверстий на 1 см².

Колонка с заполнителем (рис. 40) выполнена из угловой стали в виде каркаса размером 600 × 600 мм при ширине 100 мм. Каркас обшивался листовой сталью с пробивными отверстиями диаметром 8 мм. Промежуток между листами стали заполнялся гравием или шлаком с размером зерен в 10—12 мм.

Указанные конструкции огнепреградителей испытывались в полигонных условиях с целью определения их огнезащитного действия и их сопротивления движению воздуха.

Установка для испытания огнепреградителей, общий вид которой показан на рис. 41, 42 и 43, состояла из воздуховода с вентилятором и пыледозатора. Шнек пыледозатора, смонтированный внизу бункера, приводился в движение от редукторного привода (см. рис. 43).

На нагнетательной части воздуховода располагались камера для источника зажигания пылевоздушной смеси и огнепреградитель. В качестве побудителя движения применялся вентилятор

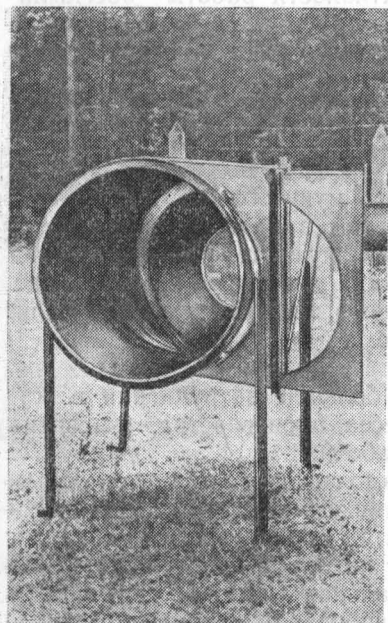


Рис. 38. Сетчатый огнепреградитель рамочный.

типа «Сирокко» (см. рис. 42). Воздух засасывался вентилятором через входной коллектор (см. рис. 41); в то же время дозатор подавал в засасываемый воздух количество пыли, соответствующее заданной концентрации. Пылевоздушная смесь просасыва-

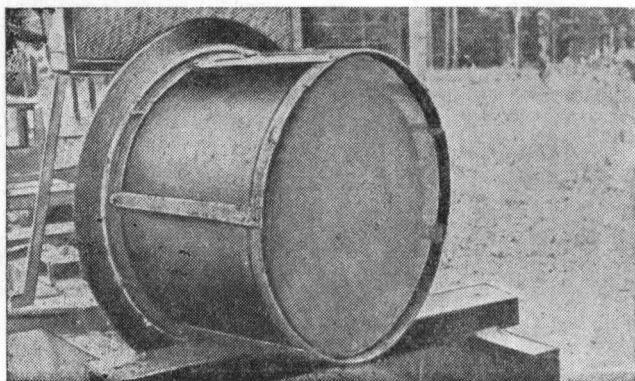


Рис. 39. Сетчатый огнепреградительный насадок.

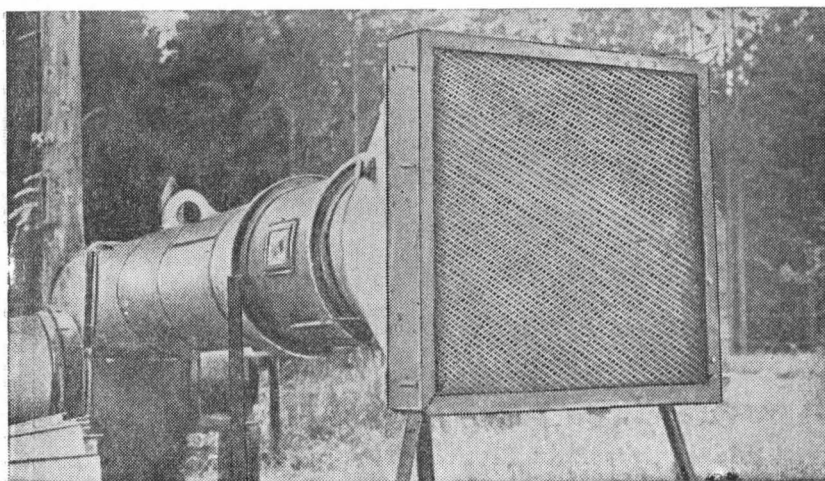


Рис 40. Огнепреградительная колонка с заполнителем (гравийная и шлаковая).

лась через вентилятор и, попадая в нагнетательный воздуховод, воспламенялась. Зажигание осуществлялось отвержденным бензином. Поток горячей пыли направлялся на огнепреградитель (рис. 42 и 44) и наблюдалось, в течение какого времени он не пропускает пламени.

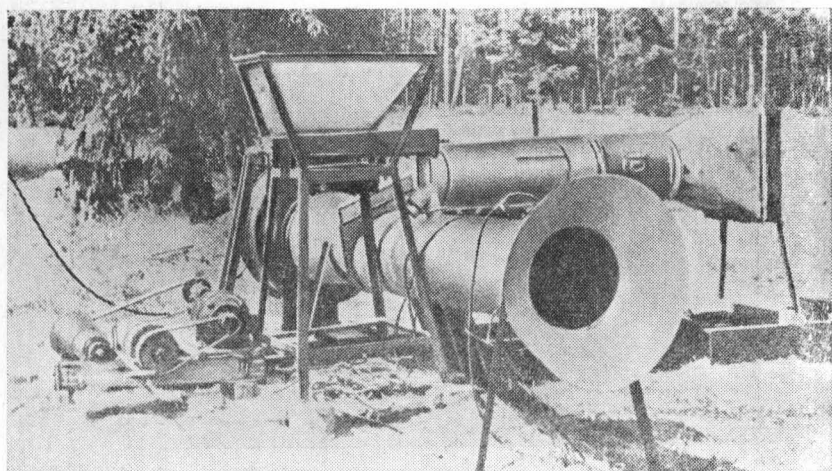


Рис. 41. Установка для испытаний огнепреградителей (общий вид).

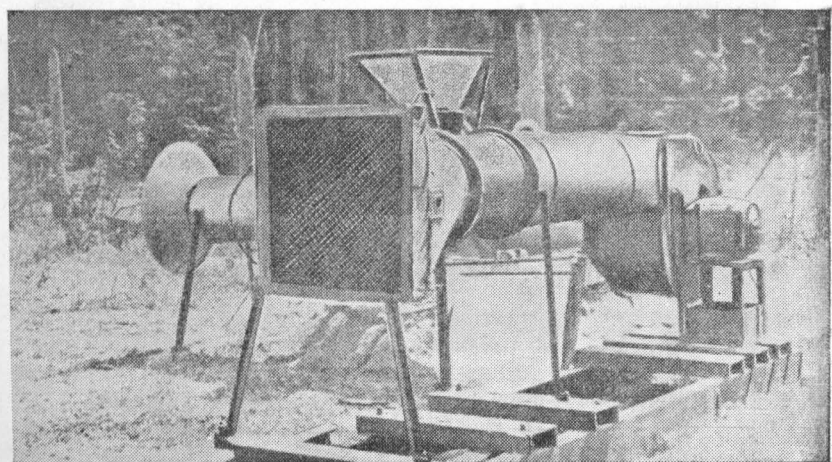


Рис. 42. Установка для испытаний огнепреградителей (общий вид).

Результаты испытаний показали, что из всех конструкций огнепреградителей лучшей и в достаточной степени удовлетворяющей условиям огнепреграждения является гравийная колонка при толщине слоя гравия 100 мм. Такой тип огнепреградителей и был рекомендован для практического применения.

Значения сопротивлений испытанных огнепреградителей приводятся в табл. 29.

Из приведенной таблицы, видно, что наименьшим сопротивлением обладают сетчатые рамки, однако они дают лишь кратковременное огнепреграждение в течение 8—10 сек. и поэтому не могут быть рекомендованы к применению.

Главным управлением мукомольной промышленности Министерства заготовок с 1950 г. начато внедрение на мельницах рециркуляционных установок [35], работающих по схеме, показанной на рис. 45.

Рециркуляционные установки, являясь огнепреградительными, в то же время автоматически выключают из работы вентилятор

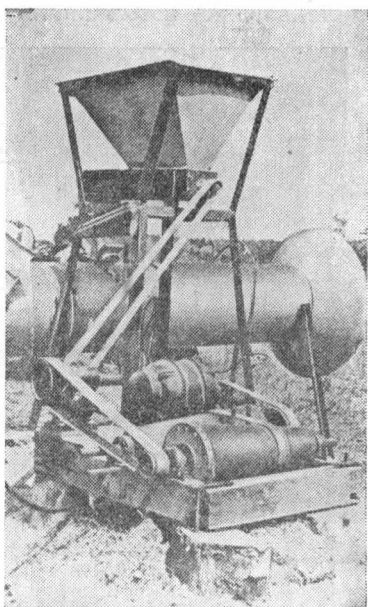


Рис. 43. Установка для испытаний огнепреградителей (общий вид).

Таблица 29

Тип огнепреградителя (огнепреградительный слой)	Толщина огнепре- гради- тельного слоя в мм	Сопротивление огнепреградите- ля в мм вод. ст. (Δh)			
		Расход воздуха, при котором измерялось сопротивление в м ³ /час (Q)			
Сетчатый при трех сет- ках	—	Δh Q	3,4 1550	16,0 4800	23,8 6000
Гравийная колонка, круп- ность зерен гравия — 10—12 мм	100	Δh Q	16,0 1200	50 2600	—
Шлаковая колонка, круп- ность зерен шлака 10—12 мм	100	Δh Q	9,7 1250	41 3100	—

в случае загорания в сети. Этим устраняется опасность распространения пожара и дыма по помещениям, куда подается рециркулируемый воздух.

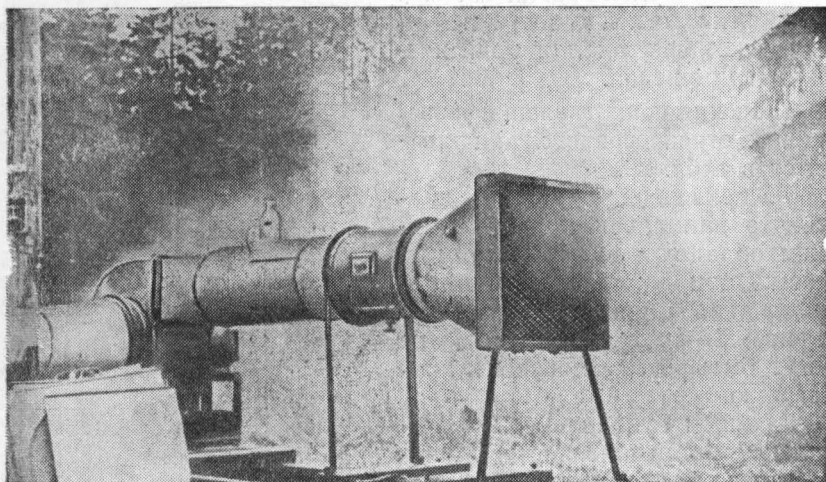


Рис. 44. Установка для огневых испытаний огнепреградителей в действии.

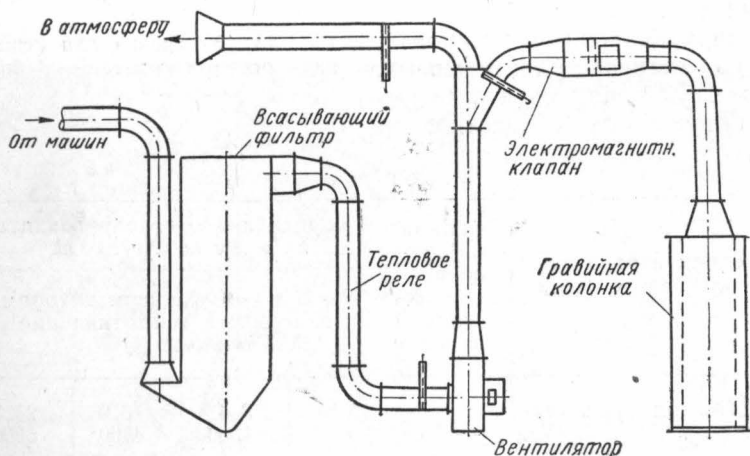


Рис. 45. Схема рециркуляционной установки ВНИИЗ с огнепреградителем (гравийной колонкой).

Рециркуляционная установка состоит из теплового реле, электромагнитного клапана и гравийной колонки.

Тепловое реле (рис. 46) представляет собой эбонито-

вый цоколь с двумя контактами. К одному контакту прикрепляется пластинчатая стальная пружина, а к другому контакту — предохранитель в виде тонкой станиолевой пластины. Сечение предохранительной пластины определяется исходя из величины пускового тока в цепи катушки электромагнита магнитного пускателя. Ее клеивают между двумя лентами из целлулоидной киноплёнки. Концы станиолевой пластины выпущены на 6—7 мм, загнуты поверх целлулоидной ленты и зажаты контактами.

Тепловое реле включается в цепь тока магнитного пускателя мотора вентилятора, а также в цепь катушки электромагнитного клапана.

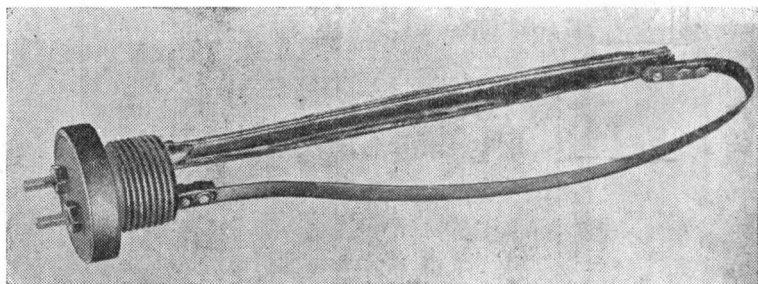


Рис. 46. Тепловое реле.

Реле устанавливают в воздуховоде между фильтром и вентилятором. В момент появления в воздуховоде пламени целлулоидная лента, а вместе с ней и станиоль, сгорают, цепь тока прерывается, магнитный пускатель автоматически выключает из работы мотор вентилятора, и подача воздуха, а вместе с ним горящей пыли и газов, прекращается. Одновременно с этим срабатывает электромагнитный клапан.

Электромагнитный клапан (рис. 47) состоит из: корпуса клапана, электромагнита и самого клапана.

Корпус клапана в последнем варианте схемы рециркуляционной установки монтируется в вертикальном положении на гравийной колонке.

Для удержания клапана применяется электромагнит марки ЭС-1-511 завода «Электростанок» с тяговым усилием 3 кг, ход якоря 25 мм.

При включении электромагнита сердечник магнита втягивается в катушку и поворачивает защелку, удерживающую клапан в открытом (вертикальном) положении.

При перегорании предохранителя теплового реле цепь тока прерывается, сердечник магнита поворачивает защелку и клапан под действием собственного веса и веса груза, расположенного на его оси, падает и наглухо перекрывает воздуховод. При этом

прекращается доступ воздуха в гравийную колонку, а следовательно, и в помещение.

Гравийная колонка (рис. 48) представляет собой два каркаса из уголкового стали, облицованных листовой сталью, с продольными отверстиями размером 4×20 мм. Меньший кар-

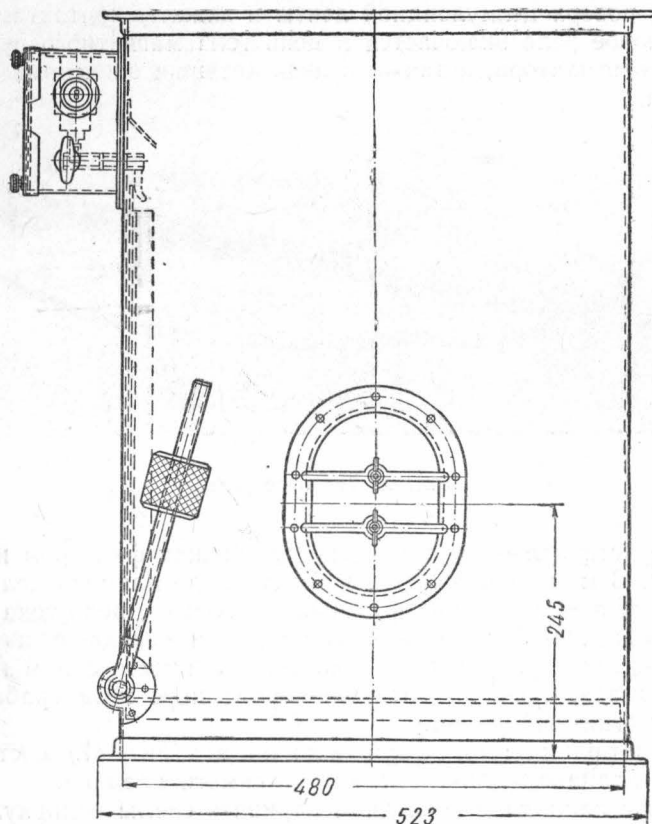


Рис. 47. Электромагнитный клапан.

кас вставлен в больший так, что между ними по периметру образуется промежуток шириною 100 мм. Этот промежуток заполняется гравием из зерен 8—12 мм. Колонка имеет прямоугольную форму.

Чтобы сопротивление колонки не превышало 15 мм вод. ст., нагрузка на 1 м² поверхности ее не должна превышать 3300 м³/час.

При производительности вентилятора 9000 м³/час размеры внутреннего каркаса могут быть избраны $0,5 \times 0,5$ м при высоте

колонки 1,35 м. Вес такой колонки, заполненной гравием, будет равен 500 кг.

Для равномерной раздачи воздуха и тепла желательно распределить колонки по этажам цехов.

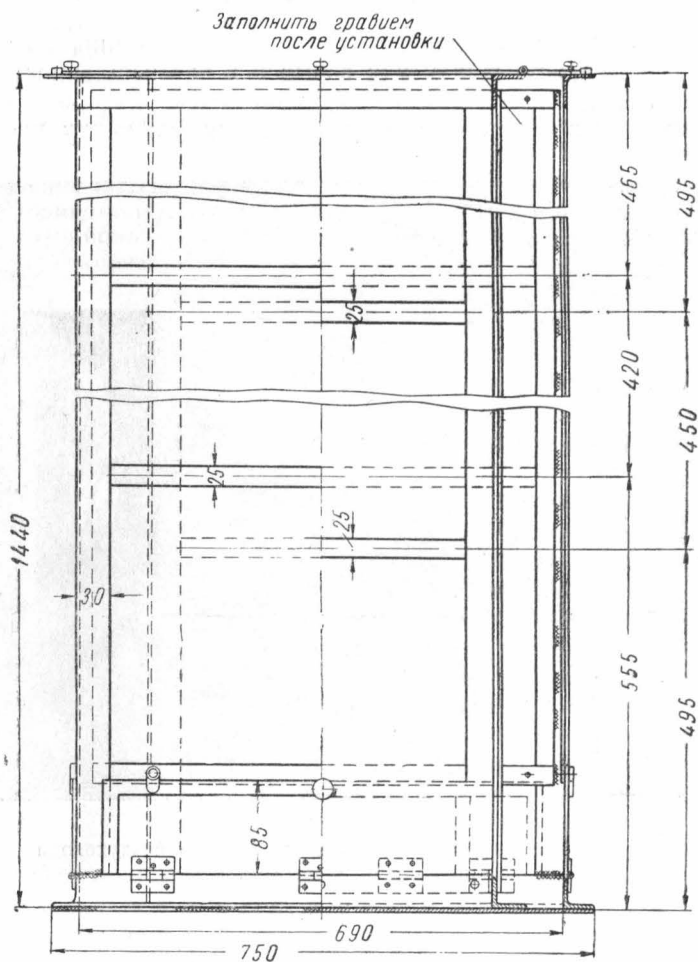


Рис. 48. Гравийная колонка.

Установка подобных рециркуляционных устройств может быть рекомендована для всех производств (связанных с изготовлением порошковой продукции или с пылеобразованием при переработке различных материалов), оборудованных вентиляционными или аспирационными системами.

В первую очередь целесообразно применение этих установок

в комбикормовой промышленности, в пылеприготовительных цехах электростанций, работающих на пылевидном топливе, а также на заводах по производству древесной муки.

4. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ВЗРЫВОВ В ВОЗДУХОВОДАХ ОТ ИСКРЯЩИХ ЧАСТИЦ

Предупреждение искрообразования является одним из рациональных методов профилактики взрывов в промышленности. Появление в механизмах, которые аспирируются, искрящих частиц неизбежно приводит к быстрому перебросу тлеющих частиц в

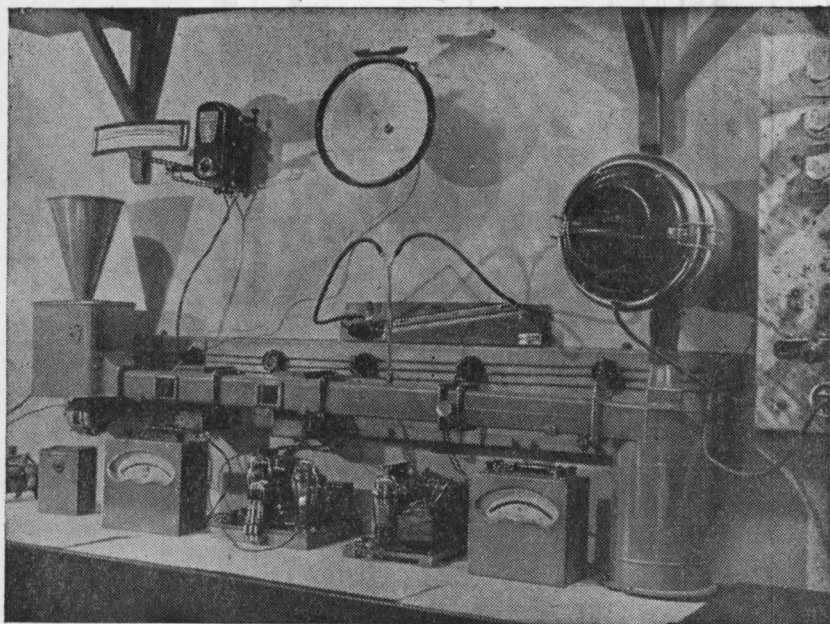


Рис. 49. Лабораторный макет аспирационного воздуховода с искрообразователем.

систему воздухопроводов, причем дальнейшая судьба нагретых твердых частиц остается обычно неизвестной. В большинстве случаев искры быстро потухают, но иногда, при оседании хотя бы одной нагретой частицы в месте завала транспортируемой в воздуховоде пыли, от нее образуется тлеющий очаг.

Тлеющий очаг в токе воздуха разгорается и в свою очередь является источником искрообразования, подбавляя в пылевоздушный поток еще большее количество искр.

Таким образом создаются все условия для внезапного возникновения пожара, а при наличии в потоке взрывоопасной концентрации пыли возможен и взрыв.

Пожарная опасность аспирационных систем усугубляется еще тем обстоятельством, что развитие этого процесса в начальной его стадии (т. е. в момент появления первых витающих искря-

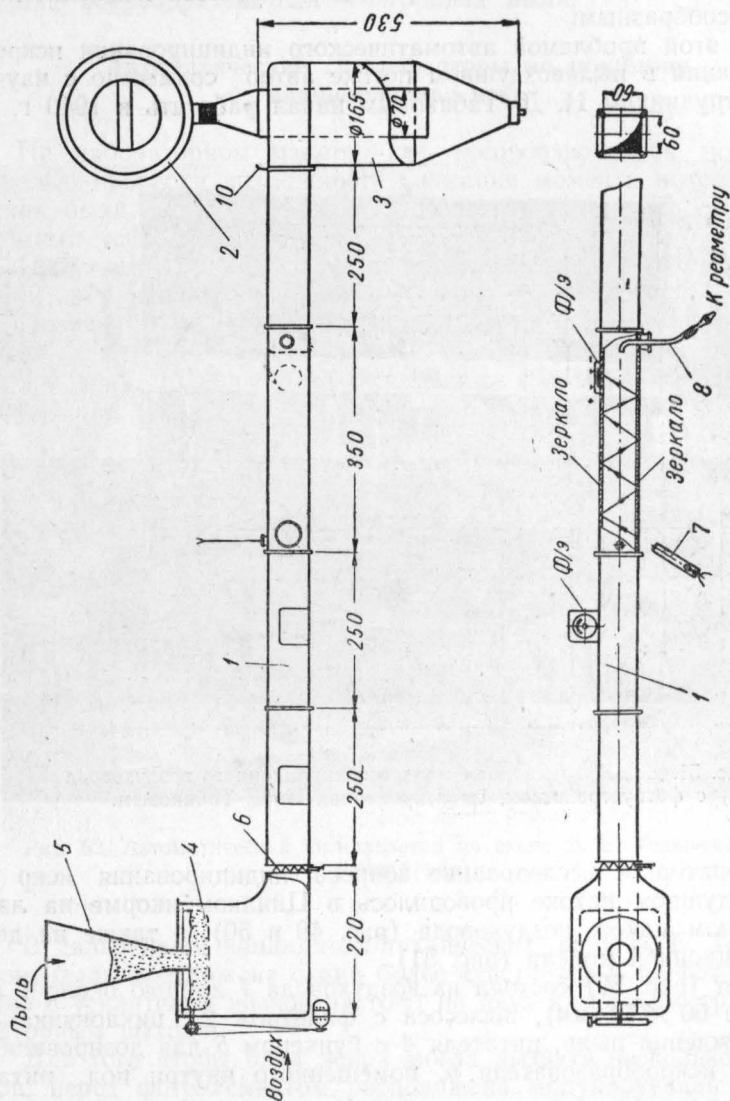


Рис. 50. Схема лабораторного макета аспирационного воздуховода:
1 — воздуховод; 2 — пылесос с фильтром; 3 — циклончик; 4 — питатель;
5 — бункер для пыли; 6 — искрообразователь; 7 — осветитель; 8 — пылеотборная трубка.

щих частиц) остается необнаруженным. Вместе с тем по аспирационным системам, обычно значительной протяженности, охватывающим несколько помещений и этажей, пожар быстро распространяется. Для локализации такого пожара должны

быть немедленно осуществлены выключение аспирации и надежное перекрытие участка воздуховода, где возник пожар. В этом случае автоматическое предупреждение о начале искрения, о появлении даже отдельных искр может оказаться исключительно целесообразным.

Над этой проблемой автоматического индицирования искрообразования в пылевоздушном потоке автор совместно с научным сотрудником Н. Д. Табаковым начал работать в 1940 г.

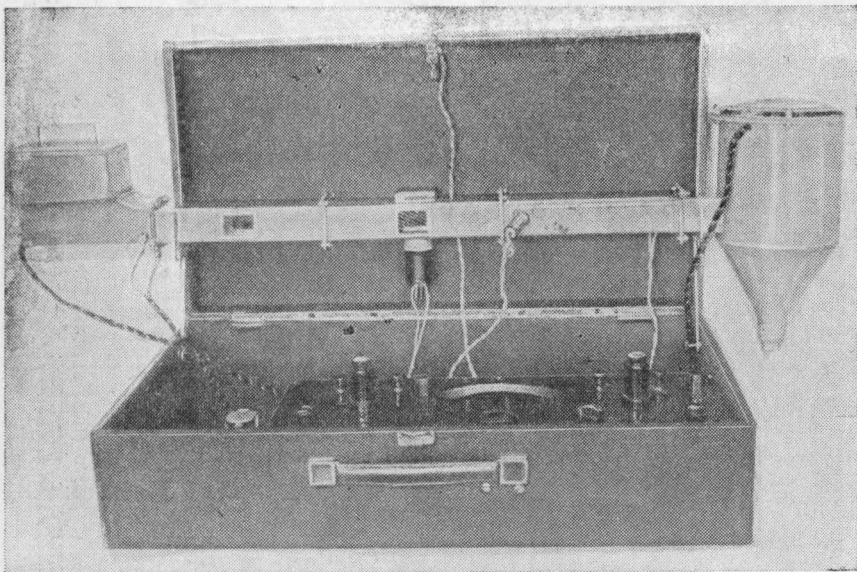


Рис. 51. Демонстрационная модель аспирационного воздуховода с фотоустройством, смонтированная Н. Д. Табаковым.

Лабораторное исследование вопроса индицирования искр в пылевоздушном потоке проводилось в Цнилкомбикорме на лабораторном макете воздуховода (рис. 49 и 50), а также на демонстрационной модели (рис. 51).

Макет (рис. 50) состоял из воздуховода 1 длиной около 1 м (сечение 60×60 мм), пылесоса с фильтром 2, циклончика 3 для осаждения пыли, питателя 4 с бункером 5 для дозирования пыли и искрообразователя 6, помещенного внутри под питателем.

При работающем вентиляторе пылесоса из питателя 4 пыль поступала в расширенную часть воздуховода, где она увлекалась потоком воздуха. Отдельные частицы пыли при соприкосновении с нагретой поверхностью искрообразователя, накаляясь в потоке, оставляли за собой светящийся след.

Регулируя накал искрообразователя и поступление пыли из дозатора, можно было добиться появления в воздушном потоке лишь отдельных искрящих пылевых частиц, а при увеличении накала искрообразователя — загорания пыли.

Автоматические сигнализаторы по принципу индицирования искр

На лабораторном макете, где воспроизводилось искрение, с целью проверки возможности фиксации момента искрообразования были испытаны различные фотоэлементы с простейшими схемами усиления фототоков.

Испытуемый фотоэлемент помещался у одного из смотровых окон, на различных удалениях от искрообразователя.

Показано, что даже обычными оксидно-цезиевыми фотоэлементами надежно фиксируется появление следующих одна за другой искр. Кодовое реле безотказно срабатывало, включая сигнал.

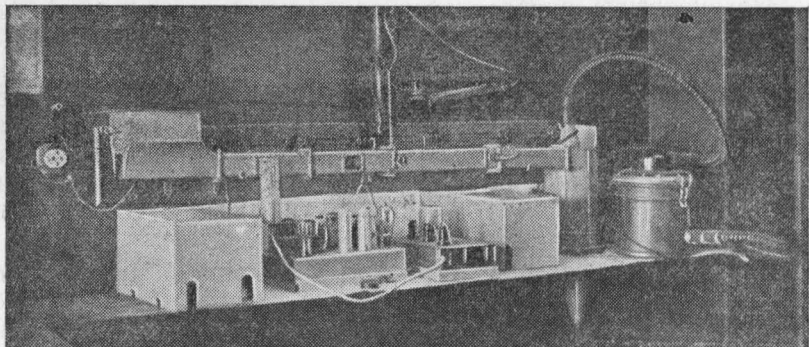


Рис. 52. Автоматический сигнализатор по схеме Б. Е. Телишевского (общий вид).

В дальнейшем кандидатом технических наук Б. Е. Телишевским была предложена схема более чувствительного фотоустройства с усилителем низкой частоты на двух каскадах с трансформаторным выходом.

Для того чтобы одна искра могла вызвать несколько сигналов, перед фотоэлементом расположена модулирующая сетка.

Исполнительная схема осуществлена с тиратроном на выходе. Выходной ток тиратронов достаточен для надежного включения реле, которое в свою очередь приводит в действие сигнал или исполнительный механизм. Общий вид такого фотосустройства показан на рис. 52.

Лабораторными испытаниями на стенде было выявлено:

1. Усилительная схема в целом проявила высокую чувствительность к изменению частотности светового импульса. Появляющиеся в пылевоздушном потоке искры прибором воспринимались безотказно.

2. Увеличение скорости в воздуховоде в сочетании с применением модулирующей сетки значительно повышало чувствительность прибора.

3. Положительным качеством схемы является и то, что при эксплуатации прибора можно исключить реагирование его на установившийся световой режим в контролируемом пункте, например, на засветку фотоэлемента от случайно проникающего в воздуховод дневного или электрического света.

4. Недостатком экспериментального образца сигнализатора являлось наличие некоторых помех, выражающихся в самопроизвольном срабатывании реле при резких толчках, а также под влиянием наводок при включении рубильников и штепсельных вилок вблизи прибора.

При отрегулировании работы прибора на нормальный режим эти помехи носили случайный характер.

Экранирование прибора значительно улучшило работу фотоустройства. Несомненно, что при изготовлении прибора по специальным техническим условиям в промышленности можно было бы обеспечить устранение всех недостатков его и добиться регулирования на отдельные редко появляющиеся искры.

Был также испытан второй экспериментальный образец автоматического сигнализатора (рис. 53) по схеме усилителя на постоянном токе, смонтированного научным сотрудником А. А. Милютиным (1945 г.).

В процессе испытания этого фотоустройства были выработаны технические условия и требования к промышленному образцу автоматического сигнализатора применительно к комбикормовой промышленности.

Экспериментальный образец автоматического сигнализатора (рис. 53 и 54) состоит из усилителя и исполнительной части, собранных на одном шасси и заключенных в герметизированный экранирующий кожух с вынесенным фотоэлементом в футляре.

Габариты прибора $200 \times 270 \times 200$ мм. Фотореле состоит из силового трансформатора, выпрямителя, усилителя (один каскад), тиратрона и кодового реле.

Принцип работы фотоустройства сводится к следующему. При слабой освещенности фотоэлемента возникающий в нем фототок вызывает падение напряжения на сопротивлении. Вследствие того, что это падение напряжения направлено противоположно напряжению батарей смещения, анодный ток лампы увеличивается и создает добавочное падение напряжения на сопротивлении, отпирая тиратрон, который зажигается. Реле, находящееся в анод-

ной цепи тиратрона, при этом срабатывает, замыкая контакты цепи сигнальной лампы.

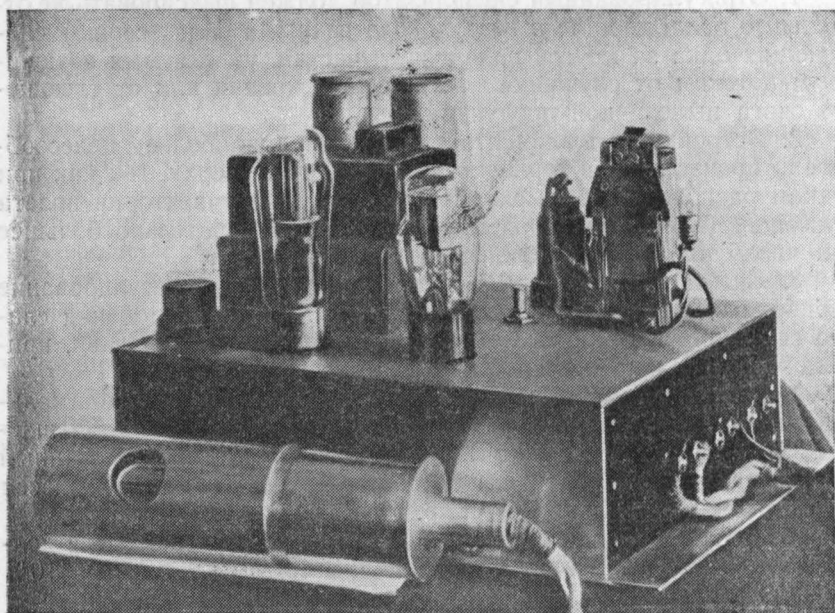


Рис. 53. Автоматический сигнализатор, модель 1945 г.
(смонтирован А. А. Милютиним).

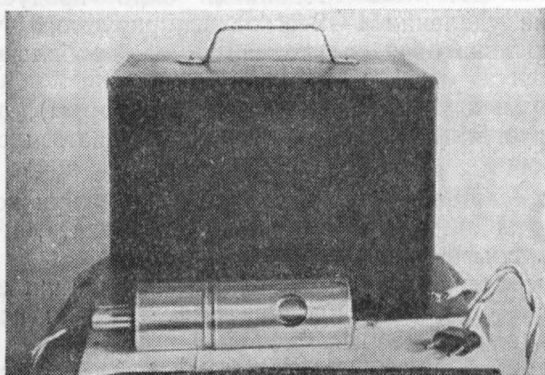


Рис. 54. Автоматический сигнализатор, модель 1945 г. (общий вид).

При лабораторных испытаниях этот экспериментальный образец автоматического сигнализатора дал вполне удовлетворительные результаты и был рекомендован к эксплуатационным испытаниям в промышленности.

По данным лабораторных испытаний автоматических фотоустройств, к промышленному образцу автоматического сигнализатора надо предъявить следующие требования:

1. Отрегулированный сигнализатор должен фиксировать не отдельные пролетающие в воздуховоде искры, а снопы (серию) следующих одна за другой накалившихся частиц, увлекаемых воздушным потоком от случайного источника искрения или от тлеющего очага пылевидной продукции.

2. Встройку фотоэлемента в воздуховод наиболее целесообразно производить в горизонтальном участке сверху, так как при таком расположении не сказывается крутизна траектории полета тлеющей (светящейся) частицы, и поэтому значительно большее их число попадает в поле зрения фотоэлемента.

3. Схема фотоустройства должна допускать регулирование прибора в достаточно широких пределах: от индицирования слабо светящегося искрового потока до интенсивного свечения, приближающегося по освещенности к вспышке.

4. Аппарат должен быть прост в обращении, иметь минимальные габариты до $25 \times 25 \times 20$ см, монтироваться на одном шасси. Сигнализатор должен быть помещен в герметизированный пыленепроницаемый кожух. Фотоэлемент должен быть вынесен и помещен в отдельный футляр.

5. Питание усилителя — от осветительной сети. Фотореле должно допускать колебания напряжения в сети в пределах $\pm 10\%$ от нормального.

6. В фотореле не должны возникать случайные наводки при выключении рубильников, магнитных пускателей и т. п., расположенных в радиусе более 1 м от прибора.

7. Встройка фотоэлемента должна быть предусмотрена в воздуховод на удалении 1—2 м от аспирируемого механизма, где возможно искрообразование, например, дробильного агрегата и т. п.

8. Необходимо учитывать, что окна (регарды), перед которыми монтируется фотоэлемент, могут покрываться слоем пыли изнутри.

9. Сигнал (световой или звуковой) о появлении искр должен быть подан к рабочему месту охраняемого объекта, а также дублироваться в помещении мастера.

В части освоения и промышленной эксплуатации автоматических сигнализаторов по принципу индицирования искр необходимо сделать некоторые разъяснения.

В производстве по выработке порошковой продукции автоматическую сигнализацию целесообразно использовать в первую очередь у дробильных машин, от которых, как упоминалось, искрящие частицы перебрасываются в аспирационную систему.

Есть опасение, что при встройке фотоэлемента непосредственно в расширительную камеру дробильной машины, где весьма часто может иметь место искрение или свечение, сигнала

лизатор будет беспрерывно срабатывать, если он будет отрегулирован на предупреждение сигналом о появлении даже одной искры.

Полагаем, что нет необходимости стремиться фиксировать одиночные искры, так как опасность представляет лишь серия (сноп) непотухающих искр.

Таким образом,стройка фотоэлемента в воздуховод на некотором удалении от дробильной машины может обеспечить надлежащий контроль в той мере, чтобы не вызывать излишней тревоги.

Вместе с тем своевременное предупреждение обслуживающего персонала об искрении небесполезно, так как это дает возможность мастеру принять некоторые профилактические меры, например, проверить магнитное загрязнение или предварительную очистку сырья от кремнепримесей. На известной же стадии искрения, переходящего в сильное свечение, которое неминуемо приводит к вспышке, совершенно необходимо не только сигнализировать об опасности, но и автоматически выключать из работы эти агрегаты. Особенно необходимо выключать аспирацию, так как это грозит пожаром или взрывом во всей системе.

В эксплуатации при встройке фотоэлемента в аспирационный воздуховод несомненно может иметь место затемнение стекла изнутри слоем пыли, что приведет к снижению чувствительности фотоэлемента. В связи с этим должно быть предусмотрено оборудование окон автоматическими пылеочистителями. По конструкции они будут сходны со снегоочистителями, которые применяются на автомашинах.

При незначительном налипании пыли можно ограничиться ручным примитивным пылеочистителем.

С помощью описанного фотоустройства, конечной целью которого является включение реле, могут быть осуществлены любые сигналы, световые или звуковые, с передачей их на любые расстояния, а также эти сигналы могут дублироваться в другом удаленном пункте. В схему фотоустройства можно включить требуемый исполнительный механизм, например, своевременного останова машины, отключения отдельных участков воздуховода и т. п.

Проблема предупреждения взрывов пыли в аспирационных системах, кроме описанного выше автоматического устройства, может быть решена следующими путями:

1. Автоматическим контролированием с помощью фотоэлемента изменения концентрации пыли в воздушном потоке и фиксацией момента приближения к нижнему концентрационному пределу взрыва.
2. Обнаружением, путем автоматического химического контроля, момента появления в отсасываемом воздухе следов горючих газов (водорода, метана, окиси углерода). Это, как известно, связано с началом химических превращений (пиролизом), могущих привести к вспышке и самовоспламенению.
3. Тепловым контролем развития процесса горения в предпламенной стадии путем фиксации момента, когда теплоприход от реакции начинает пре-

вышать теплотери в окружающую среду с уходящим потоком воздуха в аспирационной системе.

Метод автоматического контроля концентрации пыли в воздуховоде был проверен автором совместно с Н. А. Табаковым на том же макете (см. рис. 49 и 50).

Для этой цели четвертое звено воздуховода было оборудовано тремя штуцерами: для измерения концентрации пыли пылеотборным крючком 8, для осветителя 7 и для фотозлемента (с тыльной стороны звена). Внутри воздуховод был выложен зеркалами для шестикратного отражения светового пучка осветителя прежде, чем он попадает на фотозлемент.

На макете были испытаны фотозлементы с запирающим слоем — селеновые, а также фотозлементы повышенной чувствительности из сернистого серебра изготовления физического института Академии наук УССР.

Показана возможность использования этого принципа сигнализации с точностью улавливания изменений концентрации пыли до 2 г/м^3 . Иначе говоря, можно получить автоматическое предупреждение сигналом о достижении в воздуховоде известной заданной концентрации пыли, приближающейся к значению нижнего концентрационного предела взрыва.

Недостатками такой сигнализации являются необходимость применения в исполнительной схеме автоматического устройства дефицитных и сложных контактных гальванометров и сложность устройства в связи с необходимостью оборудования контролируемой зоны воздуховода зеркалами и осветителем.

Работы, связанные с изучением химических превращений, были начаты В. В. Хлебниковой при консультации проф. Н. М. Караваева. О результатах этих работ кратко изложено выше, в главе II. Предварительные данные изучения низкотемпературного пиролиза некоторых образцов кормовых пылей выявили весьма показательное протекание кинетики газоотдачи в известном температурном интервале. Несомненно то, что определяющим фактором начавшегося химического превращения в системе является появление газов; особенно показательно начало выделения горючих газов (метана, окиси углерода, водорода и др.).

Только при наличии этих газов, окутывающих пылевые частицы, становится возможным тление и загорание их, затем вспышка и воспламенение с распространением пламени в пределах всей системы, всего запыленного объема.

В табл. 8 приводились показатели пиролиза и сопоставление их с температурными показателями химических превращений в системе, приводящих к искрообразованию и вспышке аэрозвесей.

В проделанной работе анализ газа ограничивался температурным интервалом до $450\text{--}470^\circ$, т. е. до температурной области искрообразования, и, к сожалению, не имеется данных о дальнейшем составе газовой фазы.

Для построения автоматического сигнализатора по этому принципу требуется разработать метод микроопределения горючих газов, что сложно и практически трудно осуществимо.

Автоматическая сигнализация, основанная на принципе теплового контроля, автором не проверялась в связи с отсутствием соответствующего оборудования требуемой степени точности.

Однако следует отметить, что в некоторых случаях может быть рекомендовано простейшее тепловое реле, примененное в схеме рециркуляционной установки для мельниц с электромагнитным клапаном и гравийной колонкой. Это тепловое реле надежно срабатывает при температурах от 80 до 150°

5. ОГНЕГАСИТЕЛЬНЫЕ И ЛОКАЛИЗУЮЩИЕ СРЕДСТВА

В качестве огнегасительных веществ наиболее часто применяются вода, пена, инертные газы и минеральные порошки. Для пылеобразующих производств особый интерес представляют такие вещества, которые могут совмещать огнегасительные и лока-

лизирующие свойства. Такими веществами являются инертные газы и минеральные порошки.

Инертные газы используются для заполнения объемов машин, аппаратов или помещений в момент пожара или в моменты, опасные по возможности возникновения взрыва.

В литературе, в том числе и в специальной литературе по пожарному делу, можно встретить рекомендации по нормам введения инертных газов для целей огнетушения. Эти нормы, как увидим ниже, или отличаются пестротой, или попыткой ограничиться единой на все случаи огнетушения и защиты нормой предельного содержания в смеси кислорода — 15—16% по объему.

В табл. 30 приводятся величины огнегасительных концентраций, собранные Н. И. Мантуровым [21] по различным литературным источникам.

Таблица 30

Огнегасительные концентрации в % по объему			Объект тушения и метод
углекис- лый газ	азот	четырёх- хлористый углерод	
36	52	—	Пламя светильного газа в замкну- том сосуде
15	—	5—6	Горящие древесные обрезки в зам- кнутой камере
30—50	—	—	Метод не указан
10—20	—	10	То же
34	—	—	»
15—20	—	—	Пламя углеводородов
30	—	—	Метод не указан

Из приведенной таблицы видно, что нормы огнегасительной концентрации углекислоты колеблются от 10 до 50%.

Несопоставимость приводимых в литературе данных является результатом отсутствия единой методики определения огнегасительных концентраций, отсутствия указаний на метод определения их или, наконец, приведения норм без ссылки на источники.

В данное время вопросы огнетушения, в частности огнегасительная эффективность различных газов и паров, обстоятельно изучаются Н. И. Мантуровым [21], которым проверено, что огнегасительная эффективность различных газов и паров находится в зависимости от ряда факторов и в первую очередь от природы тушимого пламени, от его температуры, скорости выгорания горючего, поверхности горения и пр.

Опровергнуто предположение, что огнетушение начинается при введении в среду любой инертной добавки в количестве, снижающем содержание кислорода в смеси до 16%. Это убедитель-

но показано на различных высокоэффективных огнегасительных составах, которые тушат даже при общем содержании кислорода в смеси выше 20%, т. е. при снижении содержания кислорода всего на 0,4 — 1,0%.

В табл. 31 приведены экспериментальные данные по огнегасительным концентрациям некоторых газов и паров для различных видов пламени.

Таблица 31

Огнегасительный реагент, добавленный к воздуху	Огнегасительные концентрации в % по объему от смеси			
	пламя толуола	пламя бензина	пламя ацетона	пламя эти- лового спирта 96%-ного
Бромистый метил	1,7	4,0	3,5	4,5
Четыреххлористый углерод . .	3,5	7,5	7,5	10,5
Углекислый газ	16,0	23,0	18,5	25,0
Азот	27,5	31,0	—	31,5

Из данных табл. 31 видно, что огнегасительные концентрации для любого реагента находятся в зависимости от характера пламени, причем наиболее трудно поддается тушению неокоряющее пламя этилового спирта.

Если условно принять огнегасительную эффективность азота за единицу, то относительные огнегасительные эффективности других реагентов выразятся как показано в табл. 32.

Таблица 32

Огнегасительный реагент	Относительная огнегасительная эффективность (для азота равна 1)		
	пламя толуола	пламя бензина	пламя эти- лового спирта
Азот	1,0	1,0	1,0
Углекислый газ	1,72	1,35	1,25
Четыреххлористый углерод . . .	7,9	4,1	3,0
Бромистый метил	16,4	7,8	7,0

Для каждого вида пламени относительная огнегасительная эффективность имеет различные значения. Например, для пламени толуола пары бромистого метила эффективнее азота в 16,4 раза, а для пламени этилового спирта только в 7 раз.

В табл. 33 приведены значения огнегасительных концентраций

тех же реагентов по пламени толуола и этилового спирта с сопоставлением соответствующего этим концентрациям содержания кислорода в смеси.

Из этих данных видно, что фактор разбавления кислорода воздуха парами или газами в процессе огнетушения имеет ступенчатое значение.

Таблица 33

Огнегасительный реагент	Пламя толуола		Пламя этилового спирта	
	Огнегасительная концентрация в % по объему	Содержание кислорода в смеси в % по объему	Огнегасительная концентрация в % по объему	Содержание кислорода в смеси в % по объему
Азот	27,5	15,2	31,5	14,4
Углекислый газ	16,0	17,6	25,0	15,7
Четыреххлористый углерод	3,5	20,3	10,5	18,8
Бромистый метил	1,7	20,6	4,5	20,0

Связь между величинами огнегасительных концентраций и предельным содержанием кислорода в смеси выражается формулой:

$$x = (100 - y) \cdot 0,21,$$

где: x — содержание кислорода в смеси в процентах по объему;
 y — огнегасительная концентрация в процентах по объему.

Локализирующее действие инертных газов

Возможность использования инертных газов для локализации взрывных давлений ранее подробно не изучалась; этот вопрос требовал дополнительных исследований. Исследования, проведенные автором, имели своей целью проследить за локализацией значительных давлений взрыва (порядка 2—2,5 атм) и установить, при каких условиях возможно полностью локализовать взрывной эффект до минимальных избыточных давлений в системе. Работы проводились с применением углекислоты и азота.

При исследовании локализирующего действия инертных газов (также и присадочных материалов в пылевидном состоянии) была использована аппаратура для определения нижнего концентрационного предела взрыва, описанная в главе III.

Накал источника зажигания применялся на 100 — 150° выше изученной для данной аэровзвеси температуры самовоспламенения, а концентрации горючей пыли брались в два-три раза превышающие нижний концентрационный предел взрыва. Введением в испытуемую смесь инертного газа добивались локализации взрывных давлений.

Опытами было установлено, что огнегасительная эффективность инертного газа находится в зависимости от природы аэрозвеси и для некоторых промышленных пылей (например, торфяной пыли, сухого молока) снижение содержания в пыле-газовоздушной смеси кислорода требуется ниже 10% (см. табл. 35).

Методика исследования. Смесь инертного газа с воздухом в требуемом составе заранее приготавливалась в газометре. Непосредственно перед опытом производилась четырехкратная промывка этой смесью взрывного цилиндра.

Распыление испытуемой навески пыли во всех случаях производилось инертным газом из баллона через мерный резервуар емкостью в 1 л, под давлением 2 атм (по манометру).

Содержание инертного газа и кислорода в смеси определялось глухими опытами с забором проб газа из цилиндра и анализами в газоанализаторе.

Немедленно после заполнения всей взрывной аппаратуры инертной средой производился взрыв в цилиндре с фиксацией давления на фотопластинку.

Снижением содержания кислорода в испытуемой смеси добивались полной локализации взрывных давлений.

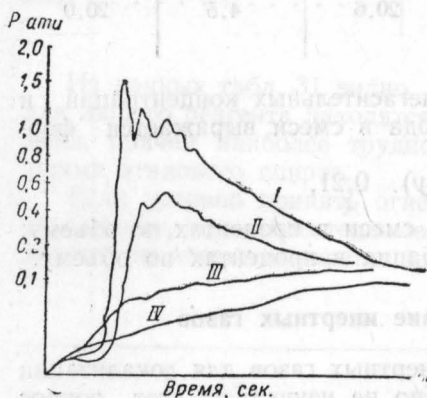


Рис. 55. Локализация взрывных давлений углекислотой при концентрации торфяной пыли 50,4 г/м³:

I — содержание CO_2 — 37%; II — содержание CO_2 — 45%; III — содержание CO_2 — 55%; IV — содержание CO_2 — более 55% (взрыва нет).

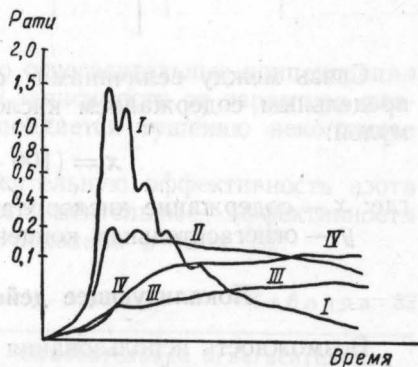


Рис. 56. Локализация взрывных давлений углекислотой (пыль кукурузных початков).

I — без инертного газа, концентрация пыли 101 г/м³; II — без инертного газа, концентрация пыли 73,6 г/м³; III — углекислоты 41%, концентрация пыли 101 г/м³; IV — углекислоты 43,5%, концентрация пыли 151 г/м³.

За норму добавки инертного газа принималась смесь с наименьшим содержанием инертного газа, при котором наблюдалась полная локализация взрыва.

Взрывные давления, зафиксированные фоторегистром, и последовательное их затухание зарисовывались с негативов на кальку методом наложения.

На рис. 55 показана локализация давлений взрыва торфяной

пыли при исходной концентрации $50,4 \text{ г/м}^3$, превышающей в пять раз нижний предел взрыва.

При содержании в смеси 37% по объему углекислоты еще не наблюдалось локализации взрыва, при 45% взрывное давление заметно снизилось и лишь при содержании углекислоты более 55% оно полностью локализовано.

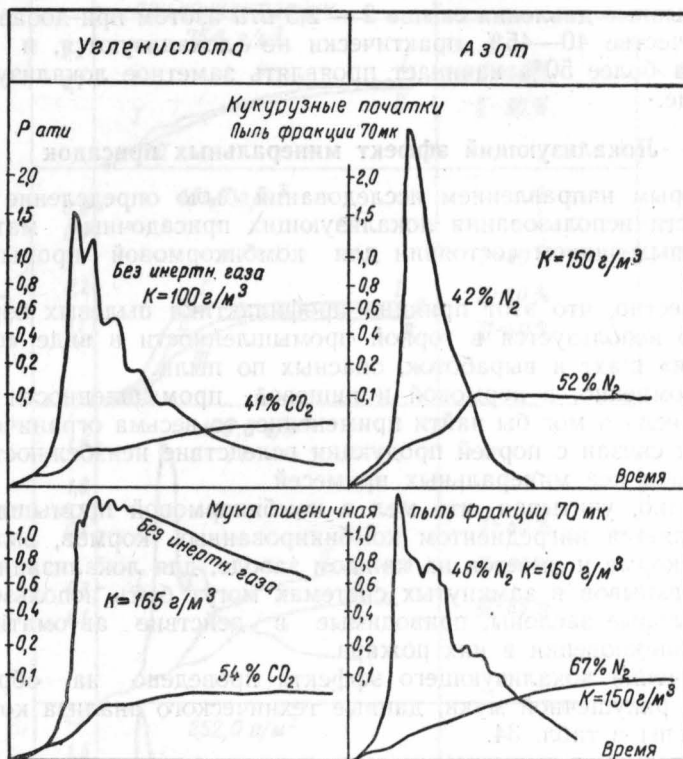


Рис. 57. Сравнительный локализирующий эффект углекислоты и азота.

Данные о локализирующем эффекте углекислого газа при взрывах торфяной пыли помещены ниже в табл. 35.

Норма добавки к воздуху углекислого газа экспериментально также была определена для сухого молока в 50—54% по объему.

Применение углекислоты было рекомендовано для локализации загораний, могущих перейти во взрыв, в сушильных башнях сухого молока.

Из фотодиаграммы (рис. 56) видно, что при концентрации пыли кукурузных початков порядка 100 г/м^3 взрывное давление, достигающее 1,5 ати, локализуется при добавке к воздуху угле-

кислоты в количестве 41%, а взрывное давление в 2—2,5 *ати* требует добавки углекислоты уже более 43,5%.

На рис. 57 приведены сравнительные данные о локализирующем действии углекислоты и азота. Зафиксированные при опытах фотодиаграммы с достаточной убедительностью выявили преимущества углекислоты, расход которой на локализацию (по объему) во всех случаях значительно меньше, чем азота.

Взрывные давления свыше 2 — 2,5 *ати* азотом при добавке его в количестве 40—45% практически не локализируются, и лишь добавка более 50% начинает проявлять заметное локализирующее действие.

Локализирующий эффект минеральных присадок

Вторым направлением исследований было определение возможности использования локализирующих присадочных материалов в пылевидном состоянии для комбикормовой промышленности.

Известно, что этот принцип профилактики пылевых взрывов широко используется в горной промышленности в виде «осланцевания» шахт и выработок, опасных по пыли.

Несомненно, в кормовой и пищевой промышленности этот способ если и мог бы найти применение, то весьма ограниченное, так как связан с порчей продукции вследствие неизбежности попадания в нее минеральных примесей.

Однако, учитывая, что мел в комбикормовой промышленности является ингредиентом комбинированных кормов, вводится во все корма и имеется на каждом заводе, для локализации пылевых взрывов в замкнутых системах могут быть использованы минеральные заслоны, приводимые в действие автоматически при возникновении в них пожара.

Изучение локализирующего эффекта проведено на образцах мела и ракушечной муки, данные технического анализа которых приведены в табл. 34.

Введением в испытуемую смесь минеральных присадок добились локализации взрывных давлений.

Таблица 34

Наименование	Влажность в %	Гигроскопичность в % (через 75 час.)	Насыпной вес для фракций в микронах			Удельный вес
			850	300	140	
Мел	0,21	1,20	1,06	1,00	0,86	2,48
Ракушечная мука	0,43	1,81	1,67	1,47	1,24	2,60

Методика исследования. В форсунку взрывного цилиндра (описание установки и методику работ на ней см. стр. 41) помещалась навеска исследуемой пыли с минеральной присадкой, составленной по предварительному

расчету, причем во всех случаях горючая часть смеси, а значит и концентрация испытуемой пыли в цилиндре, оставалась для данной серии опытов неизменной. Предельная навеска смеси, вмещающаяся в форсунку, равная 6 г, ограничивала изучение локализации при концентрации не выше 176 г/м^3 и лишь в отдельных случаях достигала 250 г/м^3 .

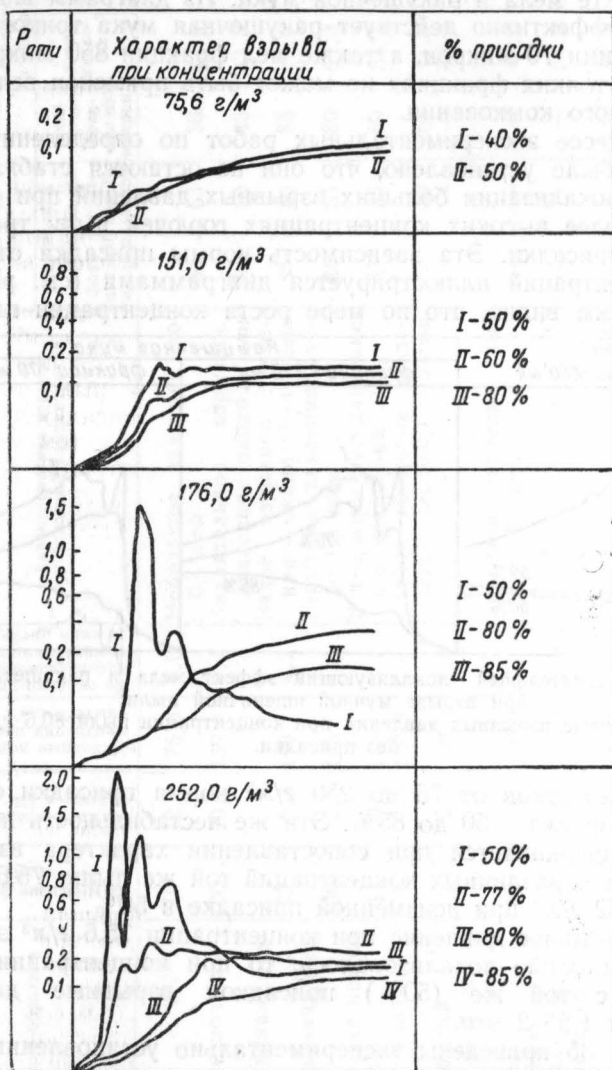


Рис. 58. Зависимость нормы минеральной присадки от исходных концентраций аэрозвеси кукурузных початков. Присадка — мел фракции 850 микрон. Пыль кукурузных початков — фракции 70 микрон.

По мере увеличения процентного содержания присадки снижались взрывные давления, в процессе локализации постепенно

изменялся характер взрыва до полного его затухания, что с достаточной наглядностью отражено на фотодиаграммах (рис. 58), перенесенных с негативов на кальку методом наложения.

На рис. 59 приведены сравнительные данные о локализирующем эффекте мела и ракушечной муки. Из диаграмм видно, что особенно эффективно действует ракушечная мука тонкого помола — фракции 70 микрон, а также мел фракции 850 микрон; последний в тонких фракциях не может быть применен вследствие значительного комкования.

В процессе экспериментальных работ по определению норм присадки было установлено, что они не остаются стабильными. Так, для локализации больших взрывных давлений при соответственно более высоких концентрациях горючей пыли требуются большие присадки. Эта зависимость нормы присадки от исходных концентраций иллюстрируется диаграммами (см. рис. 58). Из диаграмм видно, что по мере роста концентрации пыли ку-

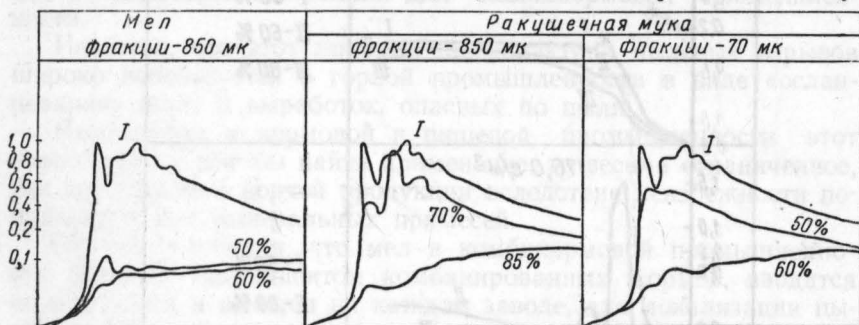


Рис. 59. Сравнительный локализирующий эффект мела и ракушечной муки при взрыве мучной пшеничной пыли:

I — кривые взрывных давлений при концентрации пыли 80,6 г/м³ без присадки.

курузных початков от 75 до 250 г/м³ норма присадки соответственно возросла с 50 до 85%. Эта же нестабильность норм наглядно подчеркивается при сопоставлении характера взрывных давлений для различных концентраций той же пыли: 75,6; 151,0; 176,0; и 252 г/м³ при неизменной присадке в 50%.

Если взрывное давление при концентрации 75,6 г/м³ этой добавкой полностью локализовалось, то при концентрации 176 и 252 г/м³ с той же (50%) присадкой взрывные давления превышали 1,5—2 ати.

В табл. 35 приведены экспериментально установленные нормы присадки минеральных пылей для некоторых аэровзвесей, в том числе и для серно-рудничной пыли. Как видим, эти нормы достаточно высокие и для мела не ниже 60% по весу.

Для сопоставления упомянем, что в угольной промышленности, по данным Макеевского научно-исследовательского института, нормы «осланцевания» приблизительно такого же порядка

Таблица 35

Таблица 3

№ п/п	Наименование образцов	Характеристика исследованных образцов				Экспериментально установленные нормы для них								
		Содержание фрак-ции 70 микрон в %	Нижний предел взрыва в г/м³	Исходные кон-центрации при опыте в г/м³	Во сколько раз исходная концен-трация превышает нижний предел	Характеристика взрыва при исходной концентрации	Присадки минеральной пыли, вес в %		Добавки инерт-ного газа, в объемных %		Содержание в смеси кислорода в % по объему			
							фрак-ция 850 микрон	фрак-ция 70 микрон	ракушечной муки	мела			угле-кисло-ты	азота
1	Сено	10	12,6	75,6	6,0	Небольшое давление до 0,4 <i>атм</i>	63	63	80	47,0	52,4	11,0		
2	Кукурузные початки .	100	20,2	150	7,4	Значительное взрывное давление — около 2,5 <i>атм</i>	60	20	45	43,5	58,6	11,8		
3	Мука пшеничная круп-ная	22	5,3	150	4,2	Вялое взрывное давле-ние — около 0,5—0,7 <i>атм</i>	85	80	85	54,0	64,4	9,7		
4	Мука пшеничная мел-кая	100	35,3	165	4,6	Взрывные давления око-ло 1,5 <i>атм</i>	85	55	80	51,0	64,4	9,7		
5	Комбикорм для молоч-ных коров	14	20,2	176	8,7	Вялое взрывное давление с замедлением	85	85	60	54,1	61,5	9,7		
6	Шрот подсолнечный	16	7,6	100,8	—	Слабое взрывное давле-ние — около 0,1—0,2 <i>атм</i>	78	50	65	41,0	55,5	12,3		
7	Торф фрезерный . . .	—	20,2	10,0	2,5		—	—	—	42,5	—	12,1		
8	Торфяная пыль из га-зоходов осадитель-ных камер	65	17,6	50,0	2,8	Взрывное давление свы-ше 2,5 <i>атм</i>	—	—	—	43,0	—	12,0		
9	Торфяная пыль из оса-дительных камер . . .	59	10,1	50,4	5,0		—	—	—	54,5	—	9,6		
10	Нормальное сухое мо-локо	97,4	7,6	25,0	3,0	Взрывное давление свы-ше 2,0 <i>атм</i>	—	—	—	50,0	—	10,5		
11	Сухие сливки с саха-ром	93,4	6,3	25,0	4,0		—	—	—	54,0	—	9,7		
12	Серно-рудничная пыль	12	13,9	45	3,0	Взрывное давление око-ло 2 <i>атм</i>	—	—	70	—	—	—		

Примечание 1. Содержание кислорода соответствует добавкам углекислоты.

и для ряда пластов Донбасса они экспериментально были установлены в пределах от 57 до 64%.

Лабораторные опыты по локализации взрывных давлений, образующихся при взрывах аэровзвесей как кормовых, так и других промышленных пылей, подтвердили практическую ценность ряда локализирующих средств и широкие возможности использования в промышленности для защиты оборудования, аппаратов и сооружений от разрушающего действия взрывов, в первую очередь огнегасительных газов (углекислоты, азота), а также минеральных пылей (мела, ракушечной муки).

Исследованиями установлено, что норма добавки к воздуху огнегасительных газов, а также нормы присадки минеральных пылей находятся в зависимости от исходных концентраций горючей пыли.

Добавка инертного газа в количестве 30% по объему, обычно рекомендуемая как средняя, для локализации взрывных давлений до полного их затухания недостаточна. В силу этого норму следует экспериментально устанавливать для каждого рода пыли по концентрации горючей части аэровзвеси порядка до 100 г/м³, так как практически в очагах пыли концентраций выше 100 г/м³ на производствах не обнаруживается.

Практически до разработки специальных конструкций различных локализирующих установок и блокирующих устройств с применением локализирующих средств в промышленности могут найти применение простейшие приспособления.

Например, у размольных (аспирируемых) машин, где возможно искрообразование, создающее угрозу загорания отложений пыли и даже взрыва в пылевоздушной среде, следует осуществлять углекислотную защиту. Защита принципиально может быть применена объемная в виде стационарной двухбаллонной установки.

В аварийных случаях, в момент загорания, двух баллонов будет достаточно для заполнения части объема отсосной системы. Возможно также применение углекислоты в течение короткого промежутка времени на периоды пуска (например, после капитального ремонта) или остановки различных машин, норий, аспираций и пр.

Применение азота может оказаться наиболее целесообразным для заполнения норийных труб или головок норий, а также замкнутых аппаратов периодического действия, к числу которых, например, относятся шаровые мельницы, смесители, дозирочные весы и пр.

В дальнейшем, в процессе внедрения в промышленность противовзрывных клапанов, может оказаться целесообразным комбинирование клапанов с инертными заслонами как на основе применения инертных газов, так и минеральных пылей.

6. ПРЕДОХРАНЕНИЕ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ОТ РАЗРУШАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА

В тех аппаратах, установках или помещениях, где причины, вызывающие взрывообразование, полностью не исключены, взрывы могут иметь место и могут сопровождаться значительными разрушениями. Это вызывает необходимость предохранять аппараты и здания от разрушений при возможном взрыве путем стравливания избыточного давления.

Защита зданий и сооружений взрывоопасных по пыли производств, а также технологического оборудования может быть осуществлена путем применения вышибных поверхностей или клапанов (для оборудования), через которые избыточные давления стравливаются прежде чем они достигнут величин, могущих вызвать разрушение конструкций.

Однако сложность учета всех факторов механизма взрыва аэровзвесей, а также отсутствие установившихся принципов конструирования и методов расчета вышибных устройств, сильно затрудняют разрешение этой проблемы.

Устройство систем для стравливания избыточного давления, образующегося при взрыве, принципиально отлично от приема сброса давления через предохранительный клапан, например, для парового котла. В паровом котле нарастание давления происходит сравнительно медленно, что дает возможность отрегулировать срабатывание клапана в желаемых пределах. При взрыве давление нарастает очень быстро, следовательно, так же быстро его нужно стравливать.

Противовзрывные устройства окажутся эффективными лишь в том случае, если их сопротивление давлению будет строго увязано со скоростью нарастания давления в системе, т. е. с импульсами взрыва.

Следует учитывать, что скорости нарастания давления в системе могут достигать сотен атмосфер в секунду даже при сравнительно небольших, как увидим ниже (рис. 60), максимальных давлениях.

Из этого вытекает, что изучение механизма стравливания давления при взрыве аэровзвесей в экспериментальной своей части должно быть проведено несколько иначе, чем обычно это делается при лабораторных исследованиях с определением максимальных давлений взрыва в замкнутой оболочке. В этом случае импульсы взрыва должны непосредственно измеряться в аппаратуре, снабженной свободными проемами или достаточно чувствительными малоинерционными клапанами.

Процесс стравливания давления с помощью вышибных панелей в здании до равновесия с окружающей атмосферой должен осуществляться достаточно быстро для избежания нарастания давления на ограждающие стены и кровлю выше величин, которым эти конструкции или элементы зданий способны противостоять.

В зданиях могут быть сооружены отдельные элементы облегченной конструкции, как, например, облегченные кровли, ослабленное заполнение или всухую выложенное кирпичное заполнение стен, незакрепленные фонари верхнего света и прочие устройства.

В момент взрыва ослабленные элементы здания при повышении давления разрушаются и за счет их удается спасти капитальные части здания, а главное, — еще более ценное технологическое оборудование.

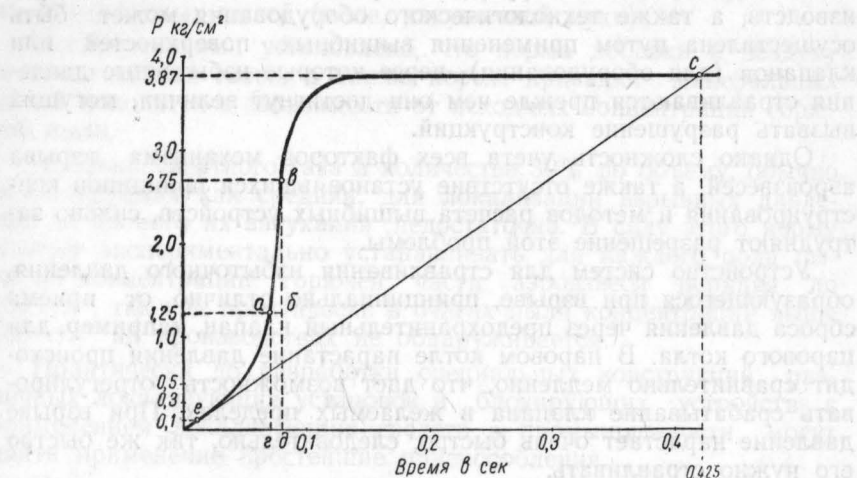


Рис. 60. Кривая нарастания давления взрыва во времени в замкнутом аппарате.

Измерение импульса взрыва при переменных свободных площадях (проемах), несомненно, является ключом к разрешению поставленной проблемы — защите зданий и сооружений от взрывов.

Выше уже упоминалось, что лабораторное определение максимальных давлений в замкнутом аппарате не дает точного представления о характере нарастания этого давления, даже при записи диаграмм давление — время. Поясним это на примере.

На рис. 60 дан график изменения давления взрыва во времени в замкнутом объеме. Из этого графика видно, что при опыте максимальное давление достигало 3,87 *ати*, а максимальная скорость нарастания давления в системе, очевидно, имела место на участке *ав*, где кривая имеет наибольшую крутизну.

За промежуток времени 0,009 сек. (*ад*) давление в системе возросло на 1,50 кг/см^2 (2,75 — 1,25), т. е. скорость нарастания давления равна $1,5 : 0,009 = 166 \text{ кг/см}^2\text{сек}$. Очевидно, это и составит максимальный импульс взрыва.

Положим, мы задались предельным допустимым давлением для железобетонной конструкции, например, бункера, $0,1 \text{ кг/см}^2$ (ати). Это значит:

а) что сопротивление вышибных панелей или клапанов не должно превышать этой величины;

б) при повышении давления в системе свыше $0,1 \text{ ати}$ оно должно стравливаться в атмосферу с той же скоростью, какая имела место в момент достижения давления, равного $0,1 \text{ ати}$.

Поэтому, если на диаграмме (см. рис. 60) в точке e , соответствующей давлению $0,1 \text{ кг/см}^2$, провести касательную до пересечения с кривой в точке c , то она укажет искомую скорость нарастания давления и, вместе с тем, закон, по которому она должна изменяться в системе до максимального значения давления, т. е. в данном случае до $3,87 \text{ кг/см}^2$ (ати).

По точке пересечения кривой с касательной определим время, в течение которого необходимо осуществить сброс давления. В данном случае оно равно $0,425 \text{ сек}$.

Отсюда заданный импульс взрыва будет равен:

$$3,87 : 0,425 = 9,1 \text{ кг/см}^2\text{сек}, \text{ или } 91 \text{ т/м}^2\text{сек}.$$

При экспериментальном исследовании процесса стравливания давления взрыва в системе необходимо измерять импульсы взрыва при различных соотношениях площади сечения проемов к защищаемому объему.

Расчет площади вышибных поверхностей

Изложенные выше положения могут быть положены в основу расчета площади предохранительных устройств. Поясним возможность этого на конкретном примере.

В главе II был приведен расчет сгорания аэровзвеси кормовой продукции при концентрации 200 г/м^3 .

Расчет показал, что объем продуктов взрыва из 1 м^3 аэровзвеси при температуре 200° равен $1,96 \text{ м}^3$, а если задаться максимальной температурой сгорания образующихся газов 1400° , составит $5,8 \text{ м}^3$ (см. стр. 38).

Задаемся окончательной температурой отходящих продуктов горения 600° .

При этих условиях объем газообразных продуктов будет равен:

$$V^t = \frac{1,96 (273 + 600)}{(200 + 273)} = 3,6 \text{ м}^3.$$

Итак, из объема в 1 м^3 после сгорания в нем 200 г пыли нужно отвести следующее количество избыточных продуктов горения:

$$\Delta V^t = 3,6 - 1,0 = 2,6 \text{ м}^3.$$

Скорость истечения газа через отверстие в условиях адиабатического процесса определится из выражения:

$$w = \varphi \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \cdot P_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{P}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \text{ м/сек},$$

где: P_1 — заданное в системе давление или избранное давление для срабатывания клапана. В нашем примере задаем $P_1 = 1,2 \text{ ата}$;

P — давление среды до взрыва (в наших условиях атмосферное давление);

V_1 — удельный объем продуктов сгорания; задавшись температурой 600° , можно с достаточной для практики точностью рассчитать V_1 , исходя из удельного веса воздуха:

$$V_1^0 = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{1,29} = 0,78 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_1^{600} = \frac{0,78 (273 + 600)}{273 + 15} = 2,37 \text{ м}^3/\text{кг}$$

k — отношение теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме, т. е.:

$$k = \frac{c_p}{c_v} = 1,41,$$

φ — коэффициент расхода, полагаем равным 0,6.

Количество газа (в м^3), вытекающего в секунду (V сек.) через сечение клапана f (м^2), определится из выражения:

$$V_{\text{сек}} = f \cdot w.$$

С другой стороны, необходимо соблюсти условие, чтобы скорость образования газов равнялась скорости отвода их через клапан, т. е. выражение для $V_{\text{сек}}$ должно удовлетворять условию:

$$V_{\text{сек}} = \frac{\Delta V_{P_1}^t}{\tau},$$

где $\Delta V_{P_1}^t$ — избыточный объем газообразных продуктов сгорания, который необходимо отвести из среды при температуре t и давлении P_1 .

В наших условиях $t = 600^\circ$, $P_1 = 1,2 \text{ ата}$, τ — время, в течение которого протекает горение, достигая максимума давления.

По опытным данным автора, при сгорании аэрозвесей τ изменялось от 0,25 до 0,80 сек., в зависимости от природы аэрозвеси, мощности источника зажигания и пр.

Приравнявая выражения, полученные для $V_{\text{сек}}$, получим:

$$f w = \frac{\Delta V_{P_1}^t}{\tau} \text{ или } f = \frac{\Delta V_{P_1}^t}{w \cdot \tau}.$$

Произведя подстановку значений ω и τ и упростив выражение, получим:

$$f = k \cdot \frac{\Delta V^t_{P_1}}{\sqrt{V_1}} \text{ (кв. м),}$$

где k — коэффициент, принимающий значения:

при $\tau = 0,25$ сек. $k = 0,0272$;

при $\tau = 0,50$ сек. $k = 0,0136$.

Примем для расчета $\tau = 0,25$ сек. как минимальное время.

По данным произведенного нами расчета сгорания аэрозвеси сечение предохранительного клапана должно быть

$$f = 0,0272 \cdot \frac{26}{\sqrt{2.37}} = 0,0458 \text{ м}^2 =$$

$$= 458 \text{ см}^2 \text{ на } 1 \text{ м}^3 \text{ защищаемого объема.}$$

Полученный результат очень мало отличается от норм защиты, принятых НСП 102-51 для взрывоопасных помещений категории А.

Расчет металлических мембран для предохранительных клапанов

Предохранительные клапаны на производственных аппаратах и машинах чаще всего устанавливаются мембранного типа — разрывные.

Очень важным фактором, определяющим надежность срабатывания предохранительных клапанов, является сопротивление разрыву собственно клапана — разрывной мембраны.

Требуемое разрушающее усилие мембраны находится в зависимости от ее размеров — толщины и диаметра в свету.

Доц. И. Г. Рубинштейном были выведены приближенные уравнения поверхности деформированной мембраны и уравнения нормальных напряжений (как радиальных, так и меридианальных) для любой точки мембраны при напряжении выше предела упругости. Опасной точкой при этом расчете оказался центр мембраны.

Как следствие из полученных выражений, была найдена формула, определяющая давление, разрушающее мембрану, при заданных конкретных условиях работы и размерах мембраны.

Предметом исследований были пластичные металлы (алюминий и медь), на которых велись основные теоретические и экспериментальные работы.

В окончательном виде формула для расчета толщины алюминиевых мембран имеет следующий вид:

$$\delta = k \cdot 10^{-3} \cdot p \cdot D,$$

где: δ — толщина мембраны в см,

p — разрушающее давление в кг/см^2 (ати),

D — диаметр мембраны (в свету) в см,

k — коэффициент, который для алюминия колеблется в пределах 0,33—0,38, а для меди 0,15—0,18.

В процессе экспериментальных работ выявлено, что при необходимости получения разрушения мембраны по кромке в целях обеспечения полного вскрытия сечения клапана следует применять особые конструктивные приспособления, обеспечивающие более сильное поджатие мембраны по периметру.

Результаты экспериментальной проверки видны из диаграмм (рис. 61), на которых приведены значения разрушающих давле-

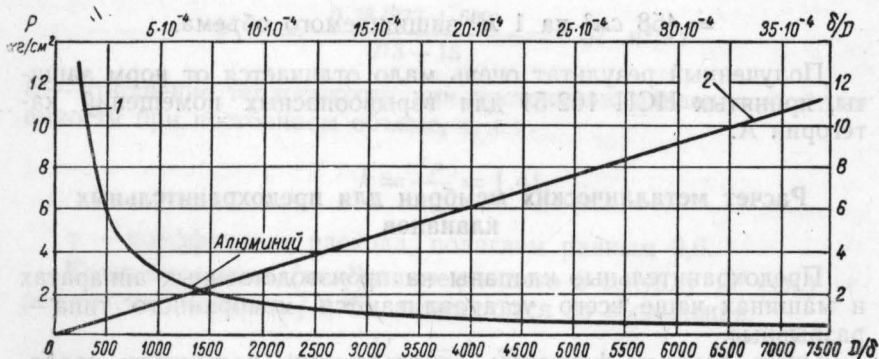


Рис. 61. Значение разрушающих давлений в зависимости от отношений диаметра мембраны к толщине (D/δ , кривая 1) и толщины мембраны к диаметру (δ/D , кривая 2).

ний в кг/см^2 в зависимости: от D/δ (отношение диаметра мембраны к ее толщине, кривая 1) и от δ/D (отношение толщины мембраны к диаметру, кривая 2). Обе кривые построены для алюминиевых мембран.

Например, при толщине мембраны 0,1 мм и диаметре 30 мм отношение $D/\delta = 300$, отношение $\delta/D = 33 \cdot 10^{-4}$.

При этом разрушающее давление определится по той или иной кривой в 10 кг/см^2 .

Для защиты как технологического, так и лабораторного оборудования можно допустить сопротивление клапанов до 0,1—0,2 кг/см^2 , т. е. они должны срабатывать при достижении давления в системе 0,1—0,2 ати.

Для матерчатых фильтров и аппаратов, не рассчитываемых на давление, это сопротивление клапанов желательно снизить до 0,05 ати.

Что касается предохранения трубопроводов, то заданное раз-

рушающее давление, зависящее от диаметра и толщины труб, может быть определено из известной формулы:

$$p = \frac{2R \cdot \eta \cdot \delta}{D}.$$

Здесь:

p — давление в кг/см^2 ,

R — допускаемое напряжение в кг/см^2 ,

η — коэффициент прочности шва,

δ — толщина стенки в см ,

D — диаметр трубы в см .

Точной экспериментально проверенной нормы для расчета сечения клапанов у нас не имеется.

Правилами Главэнерго [26] была принята норма для оборудования и помещений: $400\text{--}500 \text{ см}^2$ на 1 м^3 предохраняемого объема.

В комбикормовой промышленности [29] было решено временно, до экспериментальной проверки, пользоваться этой же нормой, т. е. $400\text{--}600 \text{ см}^2$ на 1 м^3 для участков, представляющих наибольшую опасность, и 285 см^2 на 1 м^3 для остальных.

Итак, комплексный расчет предохранительных клапанов мембранного типа сводится к следующему:

1) определяют внутренний объем аппарата или агрегата, подлежащего предохранению от взрыва;

2) по формуле исчисляют площадь клапана f , необходимую для защиты 1 м^3 объема, пользуясь исходными данными об элементарном составе пыли, ее концентрации, зная объем продуктов сгорания и удельный объем при температуре отходящих газов, а также задавшись давлением срабатывания клапана;

3) определяют суммарное сечение клапанов на весь внутренний объем агрегата;

4) определяют необходимое количество клапанов, задавшись диаметром клапана D ;

5) определяют необходимую толщину алюминиевой мембраны, пользуясь формулой или диаграммой (см. рис. 61) при заданных (по пп. 2 и 4) давлениях срабатывания клапана и диаметре его.

Для эффективности и надежности действия клапанов большое значение имеет правильность их расположения при обязательном условии, что суммарное сечение всех клапанов, обслуживающих данный агрегат, должно отвечать расчетной норме (см. выше).

Клапаны должны быть распределены по всей системе равномерно (особенно по трубам), но с некоторым концентрированием их у особо опасных участков.

Опасными участками следует считать: 1) участки, где наиболее вероятно образование искр или другого источника воспламенения;

2) очаги пыления с концентрацией пыли, превышающей взры-

воопасный предел, а также места скопления горючих газов и паров;

3) места, где пылевоздушный поток изменяет направление.

При монтаже клапанов должны быть обеспечены герметичность и прочность защищаемого аппарата (или технологического оборудования). Без соблюдения этого условия установка клапанов не достигнет цели, так как взрывная волна найдет выход через неплотности или разрушит аппарат.

Классификация клапанов с разрывными мембранами

Все клапаны, в зависимости от работы, можно разделить на три типа:

а) противовзрывные клапаны на трубопроводах, работающих при атмосферном давлении. В рабочем состоянии клапан представляет плоскую, ненапряженную мембрану. Клапан должен вскрыться (срабатывать) при некотором избыточном давлении, например, около 0,1—0,2 атм;

б) противовзрывные клапаны на трубопроводах со значительным рабочим давлением. В рабочем состоянии клапан — напряженная пластинка. Клапан должен вскрыться при давлении на 10—15% больше рабочего;

в) противовзрывные клапаны на аппаратах, поставленные с таким расчетом, чтобы сработать при мгновенном нарастании давления в этом аппарате. Обычное состояние мембраны — ненапряженное. Заданное давление срабатывания может быть весьма значительным.

Толщина пластинок (мембран) клапанов первого типа незначительна по сравнению с их диаметром. Изготавливаются такие клапаны из тонких листов или из фольги пластичных металлов, чаще всего из алюминия или меди.

Клапаны второго типа имеют значительную толщину. Незаменимым материалом для таких клапанов является чугун, так как благодаря его хрупкости пластина при разрушении разлетается на мелкие куски, открывая полностью отверстие клапана; с другой стороны, этот материал, благодаря почти полному отсутствию релаксации¹, надежен при высоких напряжениях.

Клапаны третьего типа могут быть и мембранами и пластинами, в зависимости от диаметра клапана и заданного взрывного давления.

В качестве вышибных поверхностей часто применяются мембраны из бумаги, металлической фольги и гибких или хрупких пластмасс. Эта форма защиты от разрушений при взрывах нашла особо широкое распространение, так как подобное ограждение предотвращает распространение пыли, пара или газа и позво-

¹ Релаксация — свойство материала деформироваться за пределом упругости с течением времени при постоянно действующей нагрузке.

ляет сохранить внутри зданий тепло, которое терялось бы при открытых проемах.

Внутри помещений могут применяться обычные сорта бумаги. В тех местах, где необходима защита от атмосферных воздействий, могут применяться легкие сорта строительной или кровельной бумаги, однако предпочтительнее в этих случаях пользоваться металлической фольгой или пленками из пластмасс.

В комбикормовой промышленности были испытаны следующие материалы для разрывных мембран: калька бумажная, целлофан, картон, бумага ватманская, бумага для брикетных кулей, фольга алюминиевая толщина 0,04 мм.

Опыт показал непригодность всех пористых материалов для изготовления мембран предохранительных клапанов. Мембраны из этих материалов при повышении давления принимают куполообразную форму и не разрываются, так как устанавливается равновесие в поступлении и расходе воздуха, проникающего через поры наружу.

Хорошие результаты были получены при испытаниях алюминиевой фольги толщиной 0,04 мм, которая во всех отношениях отвечала требованиям, поставленным комбикормовой промышленностью к материалам для клапанов.

Учитывая, что в комбикормовой промышленности диаметр клапанов в рабочем сечении (в свету) применяется не менее 250 мм, произведем расчет разрывающих усилий для различных толщин алюминиевых мембран указанного диаметра, а также для больших диаметров, чтобы сопоставить эти значения с требованиями в части сопротивления клапанов. Расчет ведем по формуле:

$$\delta = kpD \cdot 10^{-3}.$$

Например, для мембраны диаметром 250 мм и толщине $\delta = 0,04$ мм $= 0,004$ см разрывающее усилие определяется:

$$p = \frac{\delta}{k \cdot D} \cdot 10^3 = \frac{0,004 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 25} = 0,4 \text{ кг/см}^2.$$

Разрывающие усилия в кг/см^2 , вычисленные по этой формуле, для различных размеров алюминиевых мембран можно определить по кривым, построенным И. Г. Рубинштейном до диаметра 300 мм (рис. 62) или из табл. 36.

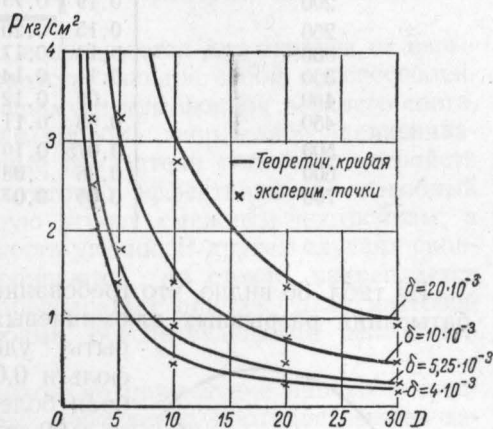


Рис. 62. Величина значений разрушающих давлений в зависимости от диаметра клапана и толщины алюминиевой пластины.

Толщина мембраны в мм	0,015	0,02	0,04	0,08	0,1	0,2	0,3
Диаметр мембран в свету в мм							
200	0,19	0,25	0,50	1,0	1,24	2,50	3,75
250	0,15	0,20	0,40	0,80	1,00	2,00	3,00
300	0,13	0,17	0,33	0,67	0,83	1,66	2,50
350	0,11	0,14	0,28	0,57	0,71	1,42	2,14
400	0,09	0,12	0,25	0,50	0,63	1,25	1,87
450	0,08	0,11	0,22	0,45	0,56	1,11	1,66
500	0,075	0,10	0,20	0,40	0,50	1,00	1,50
600	0,06	0,08	0,17	0,33	0,42	0,83	1,25
700	0,05	0,07	0,14	0,28	0,36	0,72	1,07

Из табл. 36 видно, что требование о предельном давлении срабатывания разрывных алюминиевых мембран $0,2 \text{ кг/см}^2$ может быть удовлетворено: при толщине фольги $0,04 \text{ мм}$ и при диаметрах мембран более 500 мм , при толщине фольги $0,02 \text{ мм}$ и диаметрах от 250 мм и более, а при толщине фольги $0,015 \text{ мм}$ — любого диаметра от 200 мм и более.

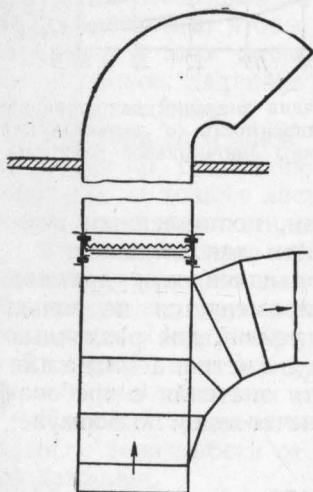


Рис. 63. Газотводящий трубопровод с режущими устройствами для разрушения мембраны при взрыве.

Применение тонких металлических мембран практически будет целесообразно в тех местах, где их можно защитить от механических повреждений извне металлическими сетками в прочных рамках, которые при этом не должны мешать срабатыванию мембран.

Для предохранения тонких фольговых мембран от продавливания при вибрации их рекомендуется с внутренней стороны устанавливать проволоочные латунные сетки с ячейками $30-50 \text{ мм}$.

Для облегчения срабатывания мембраны рекомендуется также устанавливать снаружи лезвия, зубчатые ножи или другие устройства для разрушения или разрыва мембраны в начальный момент возникновения ненормальной ее деформации. Этот способ применения мембран для вышибных отверстий схематически представлен на рис. 63.

Типы и конструкции вышибных устройств

Для срабатывания давлений, образующихся при взрыве, наиболее эффективными являются открытые или свободные проемы. Однако в большинстве случаев необходимо предусмотреть в них защиту от атмосферных воздействий, от входа посторонних лиц, от раздувания и рассеивания обрабатываемых пылевидных материалов или для предотвращения загрязнения продукта за счет пыли или влаги снаружи.

Ниже для руководства при выборе надлежащего оборудования приводится краткое описание некоторых из важнейших типов вышибных устройств.

О к н а. Наиболее широко используются для защиты от взрывов вышибные устройства, представляющие собой приспособленные для этой цели оконные фрамуги или фонари верхнего света. В некоторых случаях оконная коробка лишь слабо заанкеривается в стене здания. Защитные показатели подобных устройств в случае взрыва обычно достаточно эффективны, но подобный прием создает дополнительную угрозу смежным постройкам, а также не исключает возможность увечий. В других случаях оконные коробки прочно заанкериваются, но стекло закрепляется только с помощью легких проволоочных шпилек, пластмассовой замазки или другими способами, обеспечивающими легкое вышибание его из переплетов.

В тех случаях, когда необходимо применение прочно закрепленного стекла в заанкеренных переплетах, противовзрывная защита может быть достигнута путем надреза стекла снаружи с помощью алмаза. Этот надрез, обычно в форме креста по диагоналям, с перерывом в середине каждой линии, значительно ослабляет способность стекла противостоять давлению изнутри. Прочность такого стекла составляет всего $1/5$ прочности целого стекла.

В некоторых типах вышибных переплетов предусматривается навеска их с откидыванием наружу (рис. 64) при заранее установленном внутреннем давлении. Подобные фрамуги обычно оборудуются замком или основанным на трении прибором, предотвращающим открытие фрамуги под действием ветра или посторонними лицами снаружи.

При некоторых условиях необходимо устройство специальных приспособлений, удерживающих переплет в открытом состоянии после того как он сработал, до выравнивания внутреннего и наружного давлений.

Вышибные поверхности типа дискового клапана. Устройства этого рода обычно применяются для защиты от взрыва на резервуарах и оборудовании, которое нормально должно сохраняться в закрытом виде для предотвращения выхода пыли, паров или газа при низких давлениях. Подобные ус-

тройства обычно состоят из пластин или дверных створок, снабженных прокладками и удерживаемых в закрытом состоянии под действием какого-либо типа пружин. Обычно рекомендуется пользоваться устройствами «куркового» типа, действующими непосредственно на пружину и позволяющими этим створкам широко открыться при достижении взрывного давления.

Вентиляционная шахта — вышибная поверхность. Вентиляционные шахты в производственных помещениях могут быть использованы для устройства в них вышибных поверхностей. Вышибные элементы подобного сооружения должны быстро и легко срабатывать, обеспечивая создание отверстий, необходимых для стравливания давления, образующегося при взрыве в помещении, которое защищается этим устройством.

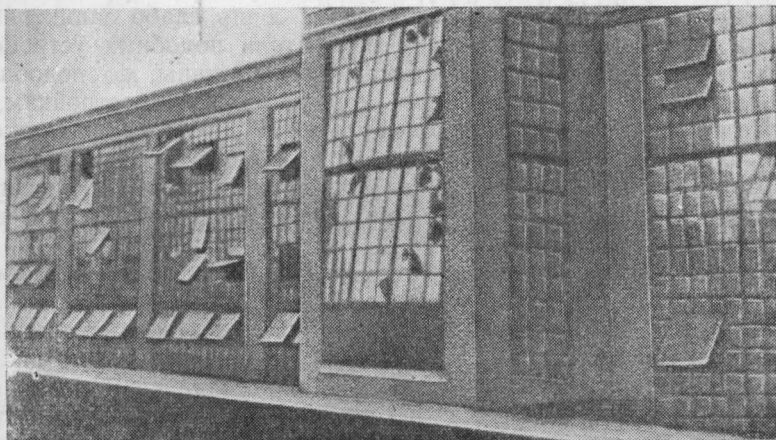


Рис. 64. Здание, в котором при взрыве сработали самооткрывающиеся фрамуги.

Подводя итог по применению противовзрывных клапанов, следует отметить, что защита технологического и лабораторного оборудования может быть осуществлена простейшими клапанами мембранного типа. Диаметр и толщина мембраны определяются расчетом.

На основе расчета горения кормовых аэровзвесей и экспериментальных исследований могут быть рекомендованы приближенные формулы для расчета сечения клапана и толщины клапанной мембраны.

Вместе с тем из приведенного на стр. 127 ориентировочного расчета со всей очевидностью вытекает, что решающим фактором в вопросе применения противовзрывных клапанов, а также других вышибных поверхностей для сооружений и зданий является время, в течение которого нарастает давление взрыва до максимального значения.

Этот параметр может быть получен только экспериментальным путем, не в лабораторных, а на укрупненных установках с применением осциллографии для регистрации момента зажигания и снятия кривых давлений взрыва во времени по пьезокварцевому манометру или еще более совершенными методами измерения импульсов взрыва.

7. ЗАЩИТА ОТ РАЗРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Явление «электричества трения», несмотря на многочисленный экспериментальный материал различных исследований, до сего времени еще не вполне изучено.

Отсутствие же или недостаточность сведений о статическом электричестве, о механизме и условиях его образования зачастую создают беспомощность в борьбе с ним.

Часто инженерно-технический персонал предприятий уделяет этому вопросу недостаточное внимание, применяет малоэффективные или даже неправильные меры защиты от разрядов статического электричества.

Углубленные исследования этого явления с применением усовершенствованных электронных приборов ведутся Н. Г. Дроздовым [31.].

В большом числе технологических процессов, в связи с введением новых машин повышенной производительности и с большими скоростями, создаются благоприятные условия для образования статического электричества.

Возникая на обрабатываемом материале и накапливаясь на металлических частях машин, электричество трения создает поле высокой напряженности. Это электрическое поле может обусловить искровые разряды, по своей зажигающей мощности вполне достаточные для возбуждения взрыва аэрозвесей или пожара отложившейся горючей пыли.

Статическое электричество обнаруживается в производствах порошковой продукции. От него сильно страдают сахарные и серные заводы, предприятия, производящие пластические массы (эбонит и др.), предприятия мукомольной и элеваторной промышленности, а также пылеугольные установки.

Величина потенциалов статического электричества на отдельных изолированных механизмах может достигнуть нескольких тысяч вольт и дать искрение на соседние заземленные части.

Металлические части установок, в которых происходит образование статического электричества, могут служить, если они не заземлены, обкладками конденсатора. Поэтому с них могут происходить искровые разряды на соседние части, находящиеся под другим или нулевым потенциалом.

Заземление производственного оборудования

Все металлические части, могущие служить местом скопления зарядов статического электричества, необходимо, как правило, заземлять.

Однако, как отмечает Н. Г. Дроздов [31], одно заземление металлических частей оборудования не решает вопроса. Электрические заряды остаются на другом материале — диэлектрике, и искрения еще возможны. Это доказывается, например, искрением с ремня на заземленное ограждение.

Для отвода статического электричества в качестве заземления могут быть использованы существующая сеть заземления электрической аппаратуры [30] или водопроводная система, проложенная под землей.

При отсутствии их следует устраивать самостоятельную сеть заземления, которая должна удовлетворять требованиям:

1. От каждой заземленной части машины должен идти отдельный провод к сборной заземляющей шине, соединенной с заземлителем.

2. Все соединения в контуре заземляющих проводов должны выполняться посредством сварки и только в исключительных случаях путем свинчивания или склепывания, причем в дополнение к свинчиванию требуется бескислотная пропайка мест соединения.

3. Магистраль по каждому этажу выполняется в виде замкнутого контура, чтобы заземление не нарушалось при повреждении какого-либо участка магистрали.

4. В качестве заземлителей могут служить погруженные в землю до уровня грунтовых вод стальные полосы площадью не менее $0,5 \text{ м}^2$ при толщине не менее 4 мм или две оцинкованные трубы диаметром 40—50 мм, длиной 2,5—3,0 м.

Сопротивление контура заземления не должно превышать 10 ом [30].

5. Трубы аспирационных систем в местах фланцевых соединений должны быть соединены проволокой диаметром 3—5 мм. Прикрепление такой перемычки к фланцу трубы должно быть осуществлено при помощи сварки.

Удаление статического электричества с ременных передач

Наиболее распространенными для всех фабрик и заводов источниками статического электричества являются ременные передачи.

Во время своей работы ременные передачи могут считаться

непрерывно действующими генераторами электростатических зарядов, по своей опасности значительно превосходящими все другие источники статического электричества, встречающиеся на предприятиях.

Так, при больших скоростях ремня (свыше 15 — 20 м/сек) могут образоваться заряды, имеющие потенциал до 75 000 — 80 000 в.

Вместе с тем ременные передачи, работающие со скоростью до 5 м/сек при передаваемой мощности до 6 — 8 квт, обнаруживают недостаточно интенсивную электризацию и могут считаться безопасными. Все же остальные, и особенно работающие со значительными скоростями, следует считать при работе в среде с относительной влажностью ниже 70% безусловно опасными.

Наиболее простым и вместе с тем достаточно эффективным способом для удаления статического электричества с ремней может быть рекомендована промазка внутренней поверхности ремня проводящим составом.

Простейший состав смазки: на 100 весовых частей глицерина берется 40 весовых частей сажи. Составные части тщательно перемешиваются и с помощью кисти смазка наносится ровным слоем на ремень.

Кроме того, применяются [31] следующие смазки:

а) Для резиновых ремней: ламповой сажи — 18%, лака — растворителем из спирта или четыреххлористого углерода — 82%. Эта смазка перед запуском ременной передачи должна быть просушена.

б) Для кожаных ремней: рыбьего жидкого клея — 100 см³, глицерина — 80 см³, сажи — 82 г, 2% гидроокиси аммония (водного аммиака) — 20 см³. Смазка наносится на ремень во время движения без просушки.

По исследованиям Н. Г. Дроздова и экспериментально проверенным данным, зачастую применяемые дополнительные меры по борьбе со статическим электричеством, а именно: прошивка ремня по длине и ширине металлической проволокой, заземление самого вала трансмиссий с помощью контактных колец, а также установка мягких металлических щеток в местах сбега ремня со шкива, — оказались не только малоэффективными, но и вредными или бесполезными.

В целях предупреждения разрядов статического электричества между ремнем и его металлическим ограждением необходимо соблюдать удаление ограждения от ремня не менее чем на 150 мм.

При скоростях ремня свыше 5 м/сек эта норма удаления металлического ограждения может быть сохранена лишь при обязательном условии соблюдения мер по предупреждению накопления электростатических зарядов на ремне, в частности при регулярной смазке ремней проводящим составом.

При сеточных ограждениях следует обращать внимание на то, чтобы не было выступающих концов оборванной проволоки.

Следует учитывать, что одним из мероприятий по предупреждению накопления статического электричества в материалах может явиться также поддержание в помещении относительной влажности воздуха не ниже 70%.

В отдельных случаях, где это возможно, следует рекомендовать увлажнение воздуха производственных цехов и наряду с контролем запыленности производить регулярное определение влажности воздуха в помещениях.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бурштейн А. И. Методы исследования аэрозолей, Госмедиздат, СССР, 1934.
2. Виноградов А. В. Организация заводских лабораторий в химической промышленности. Госхимиздат, 1948.
3. Техническая энциклопедия, т. XX, стр. 886.
4. Панченко А. В. Вентиляционные установки мельниц и элеваторов. Заготиздат, 1938.
5. Ромадин В. П. Пылеприготовление и пылесожигание. Изд. Главной редакции Энергетической литературы, 1936.
6. Рогинский С. З. и Тодес О. М. Кинетика превращений парцелированных тел. Д. А. Н. новая серия, 1940, т. XXVII, № 7, стр. 681.
7. Тидеман Б. Г. и Сциборский Д. Б. Химия горения. Изд. Наркомхоза, 1940.
8. Кисельгоф М. Л. Взрывы угольной пыли в пылеприготовительных установках. Гострансхитезлат, 1937.
9. Долгов Б. Е. и Левицкий Д. Г. Взрывчатость каменноугольной пыли, изд. «Вугілля і руда», Харьков, 1933.
10. Окнов М. Г. Топливо и его сжигание, изд. КУБУЧ, Ленинград, 1925.
11. Годжелло М. Г. Состав рудничной атмосферы и проветривание серных рудников. «Горный журнал», 1939, № 2, стр. 48.
12. Станкевич Л. В. О взрывчатых свойствах пылей при производстве грамофонных пластинок и галалитовых изделий. «Промышленность органической химии», т. VI, 1939, № 2.
13. Быховский Б. Б. О взрывчатости электронной пыли. «Труды Пермского мединститута», вып. XIII, 1939.
14. Годжелло М. Г. и Табаков Н. Д. Взрывоопасность промышленной пыли льняной костры. Журнал «Льно-пенькоджутовая промышленность», 1939, № 5.
15. Годжелло М. Г., Млиник И. Р. и Табаков Н. Д. О взрывчатости пыли органических красителей. Журнал «Промышленность органической химии», 1939, № 1.
16. Годжелло М. Г. О пылевых взрывах в промышленности. Журнал «Пожарная техника», 1939, № 4.
17. Дунаева Н. Н., Осипов Е. Г. и Рогозин Н. Г. Рациональная конструкция электроанемометра. Журнал «Отопление и вентиляция», 1937, № 11.
18. Скворцов А. Новый прибор для измерения ветра небольших скоростей. Журнал «Метрология и гидрология», 1936, № 6.
19. Кучерук В. В. и Серов В. Н. Промышленная пыль и обеспыливающая вентиляция, Стройиздат Наркомстроя, 1941.
20. Авторское свидетельство Гостехники СССР № 84509 от 3 мая 1950 г. по заявке № 396306. Годжелло М. Г., Пальцев В. С. и Малис А. Я. Взрывобезопасная вентиляционная обеспыливающая установка для производства огнеопасных порошков.
21. Мантуров Н. И. К вопросу исследования процессов тушения пла-

мени горючих жидкостей огнегасительными парами и газами. Информационный сборник ЦНИИПО. Изд. МКХ РСФСР, 1950.

22. Симский П. М. Газовые огнетушащие концентрации. Журнал «Пожарная техника», 1939, № 2.

23. Скочинский А. А. и Огиевский В. М. Рудничные пожары. Главное научно-техническое издательство топливной литературы, 1940.

24. Голубев С. Г., Каляев С. В. и Зильберштейн Ф. Б. Пожарная тактика. Изд. Наркомхоза РСФСР, 1942.

25. Годжелло М. Г. и Малис А. Я. Сухие огнепреградители для мельниц. Информационный сборник ЦНИИПО, вып. «Противопожарная техника и профилактика», 1951, стр. 50—59.

26. Правила проектирования, монтажа и эксплуатации пылеугольных установок для сжигания фрезерного торфа. Журнал «Тепловое хозяйство», 1938, № 10.

27. Журнал «Тепло и сила», 1936, № 4.

28. Годжелло М. Г. Предохранение аппаратов и промышленного оборудования от взрывов. Информационный сборник ЦНИИПО, 1950, стр. 50—59.

29. Федяев В. И. О взрыворазрядных устройствах. Сборник трудов ЦНИЛ Комбикорма, Пищепромиздат, 1946.

30. Правила устройства электротехнических установок. Министерство электростанций СССР. Госэнергоиздат, 1949.

31. Дроздов Н. Г. Статическое электричество в промышленности. Госэнергоиздат, 1949.

32. Сборник руководящих материалов по пожарной профилактике. Изд. отдела госпожарнадзора ГУИО, 1947.

33. Брегман Я. М. Взрывы пыли в пылеприготовительных установках, их причины и меры борьбы с ними. Журнал «Советское котлотурбостроение», 1935, № 10, стр. 3—11.

34. Скочинский А. А. и Макаров С. З. Исследования о применении антипирогенов при борьбе с рудничными пожарами, Изд. Академии Наук СССР, 1947.

35. Руководство по изготовлению и применению рециркуляционных установок ВНИИЗ — ЦНИИПО. Модернизация оборудования и улучшение технологического процесса на мельницах Главмуки (инструктивные материалы). Изд. Мин. Заготовок СССР, 1950.

36. Синцеров А. Д. и Павлов В. Н. Вентиляционные установки элеваторов, мельниц и крупозаводов. Заготиздат, 1950.

37. Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест. НСП 102—51.

38. Годжелло М. Г. Лабораторные исследования взрывчатости аэрозвесей. Информационный сборник ЦНИИПО, вып. «Противопожарная техника и профилактика», 1951, 30—49.

39. Скочинский А. А. Рудничная атмосфера, изд. 2. ОНТИ, 1933.

40. Труды Макеевского научно-исследовательского института, вып. 2 и 19, 1931 г.; т. 1 — 1934 г., изд. ОНТИ, НКТП СССР.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Свойства аэровзвесей	
1. Общие сведения	5
2. Основные свойства аэровзвесей	8
3. Определение степени дисперсности пыли	10
Правила рассева и помольные характеристики, применяемые в пылеприготовительных установках электростанций	14
Глава II. Горение и взрыв в пылевоздушных смесях	
1. Сгорание аэровзвесей	16
2. Сгорание осажженной пыли (аэрогеля)	19
Методика изучения кинетики выделения газа при постепенном нагреве порошковой продукции	20
Определение состава газов пиролиза	21
Определение минимальной температуры образования окиси углерода и уголекислоты в газах пиролиза	23
Методика определения критических температур загоряемости осажденных пылей	24
Методика определения температуры самовоспламенения осажженной промышленной пыли (геля) в токе воздуха	26
3. Распространение горения в пылевоздушной смеси. Природа пылевых взрывов	30
4. Пределы взрыва аэровзвесей	31
5. Расчет сгорания аэровзвесей и ожидаемых давлений взрыва	32
Глава III. Лабораторные методы определения и оценки пожаро-взрывоопасности аэровзвесей	
1. Прибор с кварцевой трубкой	40
2. Установка для определения нижнего предела взрывчатости	41
3. Определение температуры самовоспламенения аэровзвеси	45
4. К вопросу определения верхнего предела взрывчатости	45
5. Характеристика пожаро-взрывоопасности аэровзвесей	53
Глава IV. Оценка пожаро-взрывоопасности производств, связанных с пылеобразованием или производством порошковой продукции (методические указания)	
1. Контроль воздуха производственных помещений на запыленность. Прибор Н. Д. Табакова	55
2. Отбор проб промышленных пылей	61
3. Оценка запыленности производственных помещений	62
4. Методика определения объемного веса промышленных пылей	63

5. Примеры оценки запыленности производственных помещений некоторых промышленных объектов	63
6. Пылеобразующее технологическое оборудование	66
7. Характеристика пожаро-взрывоопасности промышленных пылей	69
8. Классификация промышленных пылей по степени пожаро-взрывоопасности	69

Глава V. Предупреждение пылевых взрывов в промышленности

1. Общие принципы и задачи пожарной профилактики в промышленности	77
2. Местные обеспыливающие агрегаты	82
3. Сухие огнепреградители для мельниц	95
4. Предупреждение взрывов в воздуховодах от искрящих частиц	104
Автоматические сигнализаторы по принципу индизирования искр	107
5. Огнегасительные и локализирующие средства	112
Локализирующее действие инертных газов	115
Локализирующий эффект минеральных присадок	118
6. Предохранение зданий, сооружений и оборудования от разрушающего действия взрыва	123
Расчет площади вышибных поверхностей	125
Расчет металлических мембран для предохранительных клапанов	127
Классификация клапанов с разрывными мембранами	130
Типы и конструкции вышибных устройств	133
7. Защита от разрядов статического электричества	135
Заземление производственного оборудования	135
Удаление статического электричества с ременных передач	136
Использованная литература	138

Редактор М. В. Алексеев
Обложка художника Ю. И. Батова
Техн. редактор Е. Петровская

Сдано в набор 16/IV 1952 г.	Подписано к печати 10/IX 1952 г.		
Л106518.	Форм. бум. $60 \times 92_{16}$.	Тираж 15 000.	Печ. л. 9.
Печ. зн. в*1 п. л. 43 000.	Уч.-изд. л. 9,70.	Изд. № 1395.	Зак. № 1270

Типография издательства Министерства коммунального хозяйства РСФСР,
г. Перово, ул. Плющева, 22.