

ОЦЕНКА ЗАЖИГАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАЗРЯДОВ В ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ

А.Г. Овчаренко, С.Л. Раско

Авторы продолжают публикации по электростатической искробезопасности (предыдущие материалы опубликованы в Ползуновском вестнике №1-2, 2008 и №4,2008) и предлагают читателям материал о методах и установках для определения минимальной энергии зажигания преимущественно пылевоздушных и твердых материалов.

Ключевые слова: Оценка опасности пожара, Разряды статического электричества, Минимальная энергия зажигания, Порошкообразные материалы, Сплошные материалы

К показателям, характеризующих чувствительность взрыво- и пожароопасных веществ (материалов, смесей) к зажигающему воздействию разрядов статического электричества, относятся: минимальная энергия зажигания, минимальный заряд зажигания и минимальная линейная плотность энергии зажигания. Наиболее часто определяют минимальную энергию зажигания W_{\min} (мДж), по которой классифицируют вещества и разрабатывают меры защиты.

Воспламенение газовых смесей разрядами статического электричества

Исследования зажигающей способности разрядов статического электричества во взрывоопасных газовых смесях проводились во взрывной камере постоянного давления (рисунок 1) [1].

Формирование электростатического разряда на электроде 8 достигается при приближении к нему назлектризованной полиэтиленовой плёнки 1. Герметичность верхнего торца полиэтиленовой трубки 2 обеспечивается пробкой 3, в которую вмонтированы входной 4 и выходной 6 патрубки газовой системы и заземляющий проводник через сопротивление 5. Сменный электрод 8 закрепляется на держателе 7.

Камера из латекса 9 заполняется горючей смесью. Зависимость энергии зажигания горючих смесей от величины заряда в импульсе для электродов 8 различного радиуса кривизны представлена на рисунке 2. Из графика видно, что между энергией зажигания и значением зажигающего заряда существует пропорциональная зависимость в широком диапазоне энергий зажигания – от $3 \cdot 10^{-3}$ до 200 мДж. В этом диапазоне располагаются горючие газопаровоздушные смеси, аэрозвеси и аэрогели.

По этой зависимости определяют допустимый заряд в импульсе для любой горючей смеси. Таким образом, опасность разрядов статического электричества оценивается

сравнением величин зарядов, возникающих в технологических процессах, с допустимым зарядом в импульсе $q_{\text{доп}}$. [1].

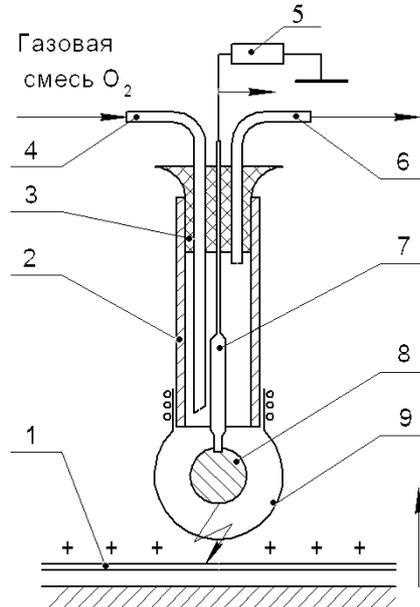


Рисунок 1 - Схема устройства для оценки зажигающей способности разрядов статического электричества для взрывоопасных газовых смесей

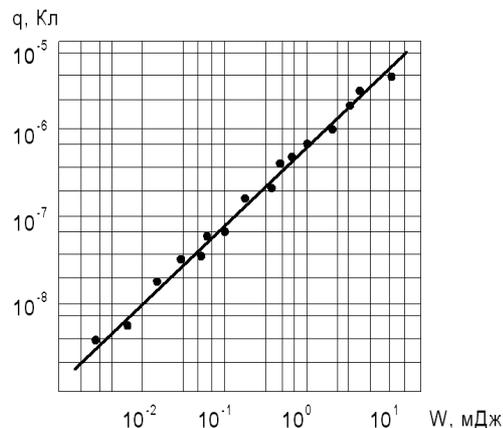


Рисунок 2 - Зависимость заряда в импульсе от энергии зажигания

ОЦЕНКА ЗАЖИГАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАЗРЯДОВ В ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ

Допустимые заряды в импульсе рассчитывают для горючих газов и паров по формуле

$$q_{\text{доп}} = 4 \cdot 10^{-8} \cdot W_{\text{min}}^{0,6}, \quad (1)$$

для пылей по формуле

$$q_{\text{доп}} = 3,3 \cdot 10^{-8} \cdot W_{\text{min}}. \quad (2)$$

В таблице.1 помещены величины минимальных энергий зажигания некоторых горючих газов и пылей, значения зарядов в импульсе, при которых они были получены, и допустимые заряды в импульсах, рассчитанные по формулам (1) и (2).

Определение минимальных энергий зажигания пылевоздушных смесей и твердых материалов

Опасность воспламенения (взрыва) аэрозвесей характеризуется рядом факторов:

- а) химическими и физическими свойствами веществ аэрозвесей;
- б) размерами и формой частиц, дисперсным составом аэрозвесей;
- в) нижним концентрационным пределом воспламенения;
- г) условиями проведения эксперимента (размером испытательной камеры, природой и мощностью источника зажигания и др.).

В литературе рассматриваются различные методы исследования воспламенения горючих пылей. В этих методах существенную роль играет способ создания аэрозвеси

с достаточно однородными свойствами во всём объёме испытательной камеры. Проблема заключается в значительном многообразии физических свойств промышленных образцов пылей. Объёмная и истинная плотности пылевидных веществ, средние размеры и форма частиц, дисперсность, гигроскопичность, электрические свойства и когезия между частицами – все эти факторы могут влиять на процесс получения аэрозвесей. Для создания аэрозвеси применяют способы, которые можно разделить на следующие группы:

- 1) диспергирование, достигаемое механическим возмущением или перемешиванием пыли в сосуде;
- 2) диспергирование пыли под воздействием импульса воздушной струи;
- 3) методы электростатического взвешивания;
- 4) механическая подача пыли в пространство с неподвижным воздухом или в регулируемый поток воздуха.

Способы первой группы основаны на применении вентиляторов или мешалок. К недостатку указанных методов относится расслоение аэрозвеси, приводящее к неравномерному распределению концентрации, непостоянству дисперсного состава, вызываемому инерционными силами, возникающими при механическом перемешивании.

Таблица 1 – Экспериментальные значения минимальных энергий зажигания горючих смесей, соответствующие им заряды и рассчитанные допустимые заряды в импульсе [1]

Смесь горючего с воздухом	W _{min} , мДж	Заряд, мкКл	
		эксперимент	расчет
Водород, 20 % объем.	0,01	0,007	0,003
Водород, 50 % объем.	0,08	0,039	0,011
Метан, 8,5 % объем.	0,32	0,074	0,020
Полипропилен эмульсионный	3,40	0,972	0,113
Полистирол эмульсионный	1,80	0,515	0,060
Поливинилбутираль	8,80	2,510	0,292
Полиформальдегид	7,50	2,140	0,250
Фталиевый ангидрид	2,30	0,660	0,080
Мука пшеничная	11,50	3,290	0,384

Способы второй группы основаны на распылении навески порошка под давлением воздуха. При повышенном давлении воздуха,

поступающего из ресивера, частицы удерживаются во взвешенном состоянии, создавая равномерную концентрацию. При вертикаль-

РАЗДЕЛ III. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

ном распылении пыли равномерность концентрации во взрывном цилиндре 1 (рисунок 3а) достигается за счёт распределения навески порошка 2 в конусе 3, установленном в распылительном устройстве 5. Подача пыли осуществляется эжекционной форсункой 4 давлением воздуха из 6.

При горизонтальном распылении пыли для определения в лабораторных условиях качества осланцевания горных выработок и взрывоопасных свойств угольной пыли применяют импульсные пневматические дозаторы (рисунок 3б), в которых навеска вещества 2 распыляется в трубе 1 (из тугоплавкого стекла) с помощью поршня 5, приводящегося в движение пружиной 6, при этом давление порции воздуха в камере обеспечивается скоростью перемещения поршня и калиброванным соплом 4. Недостатком данного устройства является то, что струя аэровзвеси направляется на источник зажигания 7, но не заполняет весь объём трубы, что приводит к значительным погрешностям при создании равномерной концентрации пыли.

Наиболее равномерное распределение пыли в объёме обеспечивается импульсным пневматическим распылителем (рисунок 3в). Равномерность распределения частиц в камере 1 осуществляется программным устройством 2, обеспечивающим движение частиц по вертикали вращающимся перфоратором 3, в котором количество, диаметр и распределение отверстий выполнено по специальному алгоритму, соответствующему заданной концентрации с определённым размером и весом частиц. Подсчёт частиц при фотографировании различных сечений по объёму показал равномерность концентраций частиц на любых участках сечения. Недостатком данного метода является использование дорогого оборудования и отложение частиц на стенках камеры за счёт электростатического притяжения.

Методы электростатического взвешивания используют эффект движения частиц в однородном электростатическом поле. Аэровзвесь создаётся в диэлектрическом цилиндре 1, выполненном из органического стекла (H=188 мм, d = 77 мм) (рисунок 3г). Торцы цилиндра выполнены из нержавеющей стали в виде электродов Роговского, к одному (ниж-

нему 4) подводится высокое напряжение от высоковольтного источника 3, а другой (верхний 2) заземлён. Способ электростатического взвешивания пылевидных материалов обеспечивает равномерное распределение частиц в объёме. Способ пригоден только для металлических и полупроводящих порошков, обладающих электрической проводимостью.

К способам четвертой группы можно отнести создание аэровзвесей с помощью вибросит, механических транспортёров (ковшей) или других методов подачи пыли в реакционный сосуд. На рисунке 4а представлено устройство виброситового дозирования пылевидных материалов. Исследуемый порошок распыляется из стакана 3 посредством вибродозатора 1 и в свободном падении сыпается в пылесборник 6, проходя через электроды, один из которых заземлён, а другой находится под напряжением источника питания 4. Искровой разряд между электродами образуется в момент выхода диэлектрической заслонки 5 из межэлектродного пространства под действием электромагнита 7.

Оригинальная конструкция установки для получения пылевоздушной смеси и проведения испытаний по определению чувствительности к электрическому разряду разработана в ДНИХТИ (г. Дзержинск) и оформлена отраслевым стандартом. Устройство (рисунок 4б) работает по принципу циклической подачи порошка в межэлектродное пространство из опрокидывающихся поочередно ковшей 5, которые установлены на вращающемся коромысле 3. Опрокидывание ковшей осуществляется за счёт прокатывания оси 4 ковшей (ковши на осях закреплены неподвижно) по поверхности копира 1, закреплённого на оси, смещённой относительно центра вращения. Синхронизация двигателя 11, вращающего коромысла, опрокидывание ковшей, управление виброситом 6 и вибратором 7, сближением высоковольтного электрода и подача напряжения на него от источника питания 9 (заряд – разряд) осуществляется блоком управления 10, связанным с контактной группой 2, установленной на копире и осях ковшей. Установка двигателя 11 осуществляется при воспламенении пылевоздушной смеси, которое фиксируется фотодатчиком 8.

ОЦЕНКА ЗАЖИГАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАЗРЯДОВ В ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ

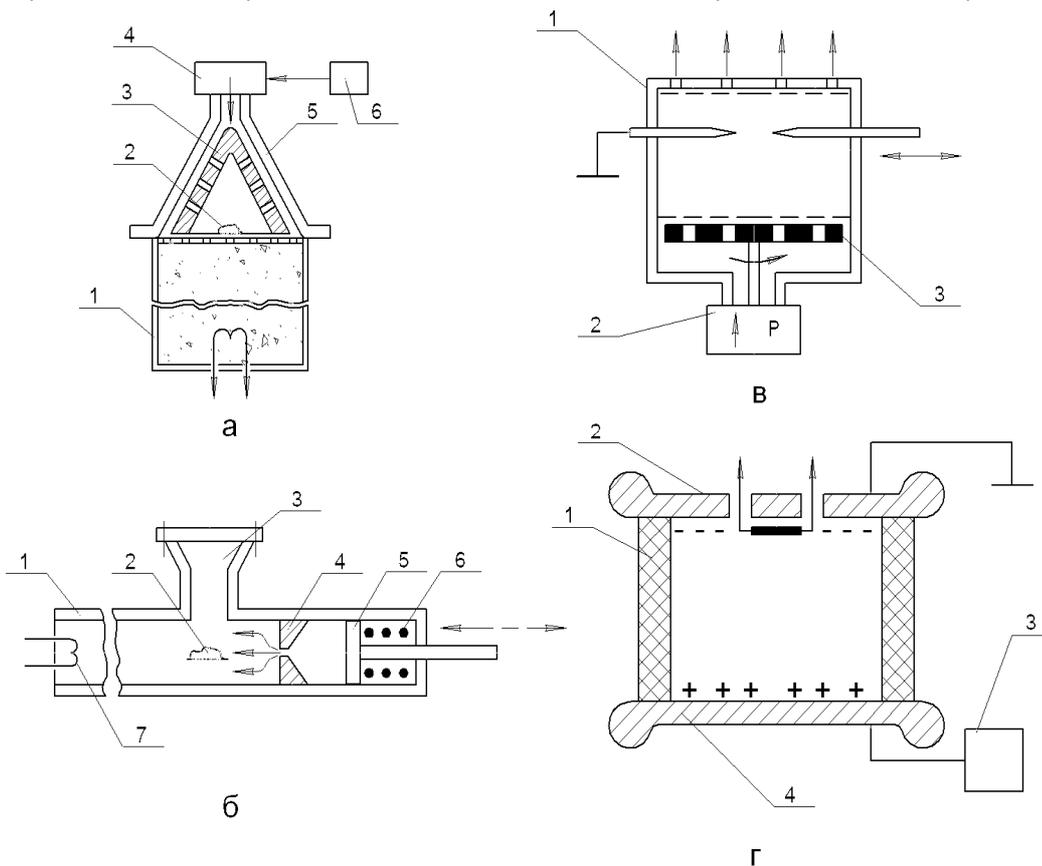


Рисунок 3 - Схемы устройств получения аэрозвесей пылей

а - устройство вертикального распыления пыли; *б* - импульсный пневматический дозатор; *в* - импульсный пневматический распылитель; *г* - устройство электростатического взвешивания пылевидных материалов

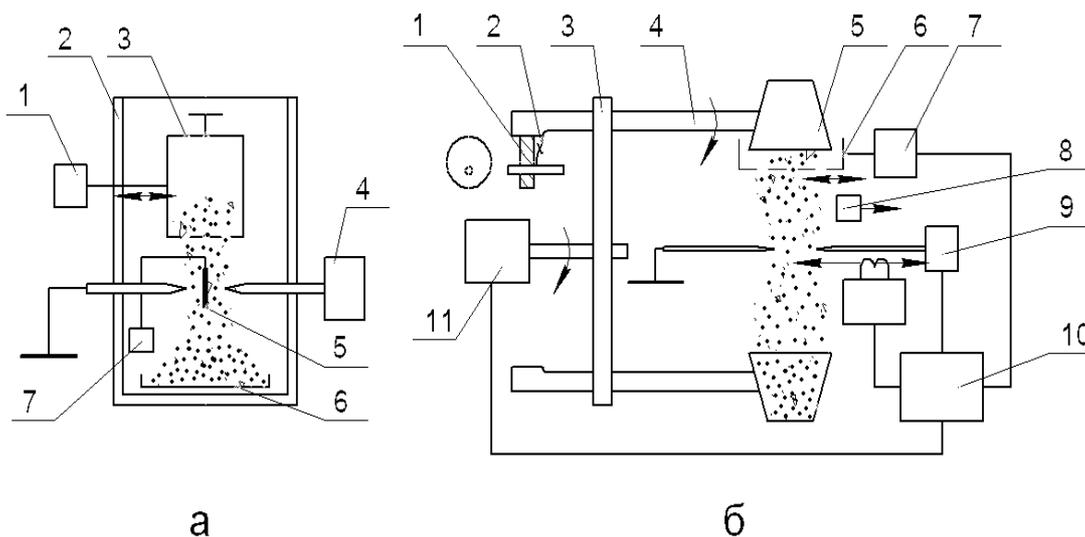


Рисунок 4 - Принципиальные схемы устройств для определения минимальной энергии зажигания пылевоздушных смесей

а - устройство виброситового дозирования порошка; *б* - устройство циклической подачи порошка

Для исследования чувствительности к электрическому разряду аэрозвесей в зависимости от различных факторов, в том числе от состава газовой среды и давления, в НПО

“Алтай” разработана лабораторная установка, позволяющая проводить испытания небольших навесок горючих пылей (рисунок 5) [2].

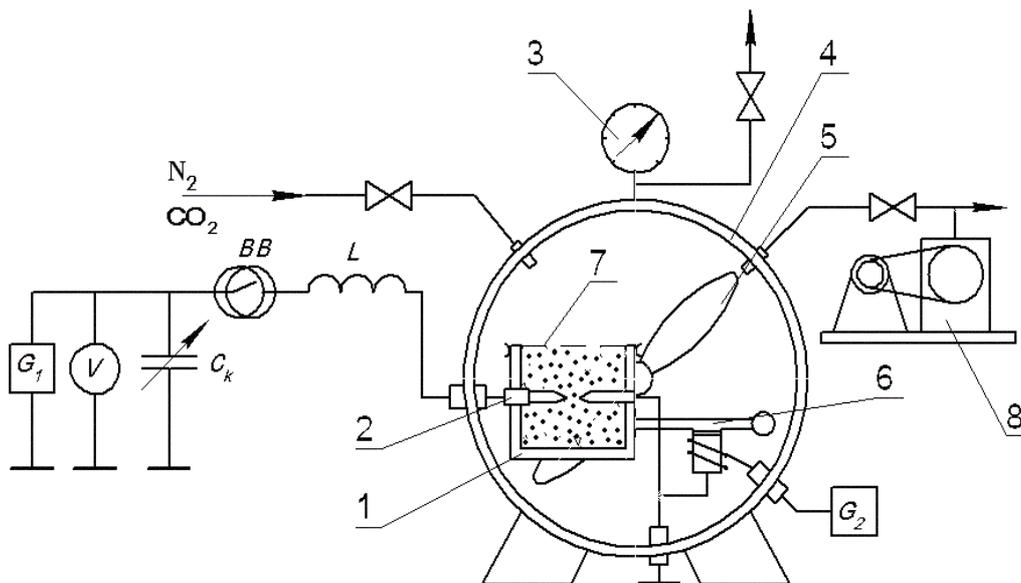


Рисунок 5 - Принципиальная схема установки для определения минимальной энергии зажигания горючих пылей

Аэровзвесь исходного порошка создается в диэлектрической прозрачной сборке 1 (объем $V = 3,5 \text{ см}^3$), установленной на якорь 6 электромагнита, частота вибрации которого регулируется генератором. Для исключения выхода пыли наружу сборка накрывается крышкой 7 из мелкоячеистой сетки. Расстояние между электродами регулируется электродом 2, закреплённым в сборке резьбовым соединением. Заданная концентрация создается с помощью вентилятора 5. Сборка, электромагнит и вентилятор размещены в герметичной стальной испытательной камере 4 со смотровым окном. Подача инертного газа с ресивера и вакуумирование камеры насосом 8 контролируется образцовым манометром 3. В качестве источника напряжения используется высоковольтная установка АИ-70. Для исключения потерь в контуре конденсатор C_k соединен со сборкой через вакуумный выключатель ВВ-20. Воспламенение аэровзвесей фиксируется визуально через смотровое окно.

Энергия искрового разряда, выделившаяся в межэлектродном промежутке, определяется как:

$$W_{\min} = \frac{C_k (U_1 - U_2)^2}{2}, \quad (3)$$

где U_1, U_2 – потенциалы до и после разряда соответственно, В.

На рисунке 6 приведены зависимости минимальной энергии зажигания от концентрации порошка циркония при различном содержании кислорода в среде азота, а также от давления при содержании кислор

рода 21%.

Полученные зависимости характерны для многих горючих пылей.

Изучение пожароопасных свойств пылей на установке (рисунок 5) позволяет классифицировать аэровзвеси по группам чувствительности к искре в соответствии с правилами электростатической искробезопасности, а также дает возможность определить условия работы с пылевидными материалами при различных концентрациях, видах флегматизирующих газов и т.п.

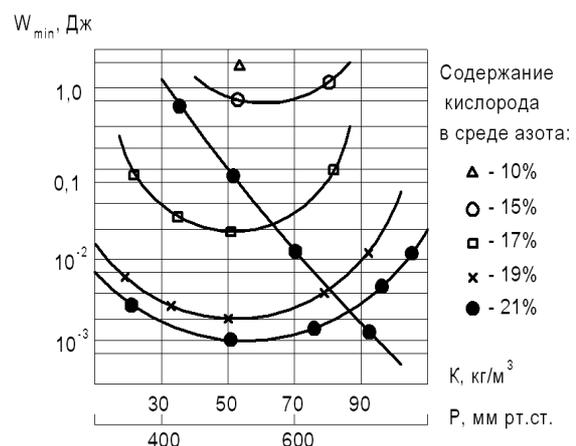


Рисунок 6 - Зависимость минимальной энергии зажигания аэровзвесей циркония от концентрации пыли K ($\text{кг}/\text{м}^3$) при различном содержании кислорода (%) и от давления P (мм.рт.ст.) в камере при содержании кислорода 21% (наклонная прямая)

На зажигающую способность искрового разряда кроме описанных выше факторов существенно влияют основные параметры электрической схемы испытательной уста-

ОЦЕНКА ЗАЖИГАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАЗРЯДОВ В ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ

новки: емкость конденсатора C , активное сопротивление R , индуктивность L разрядного контура, длина искрового промежутка.

Для нахождения зависимости минимальной энергии зажигания от толщины пастообразных и твердых образцов используется установка сканирующего разряда по

объёму материала (рисунок 7) [2]. Эта установка позволяет оценивать энергию зажигания при прохождении электрического разряда через объём исследуемого образца, причём толщина исследуемого образца может изменяться от нуля до некоторого значения h при вращении образца.

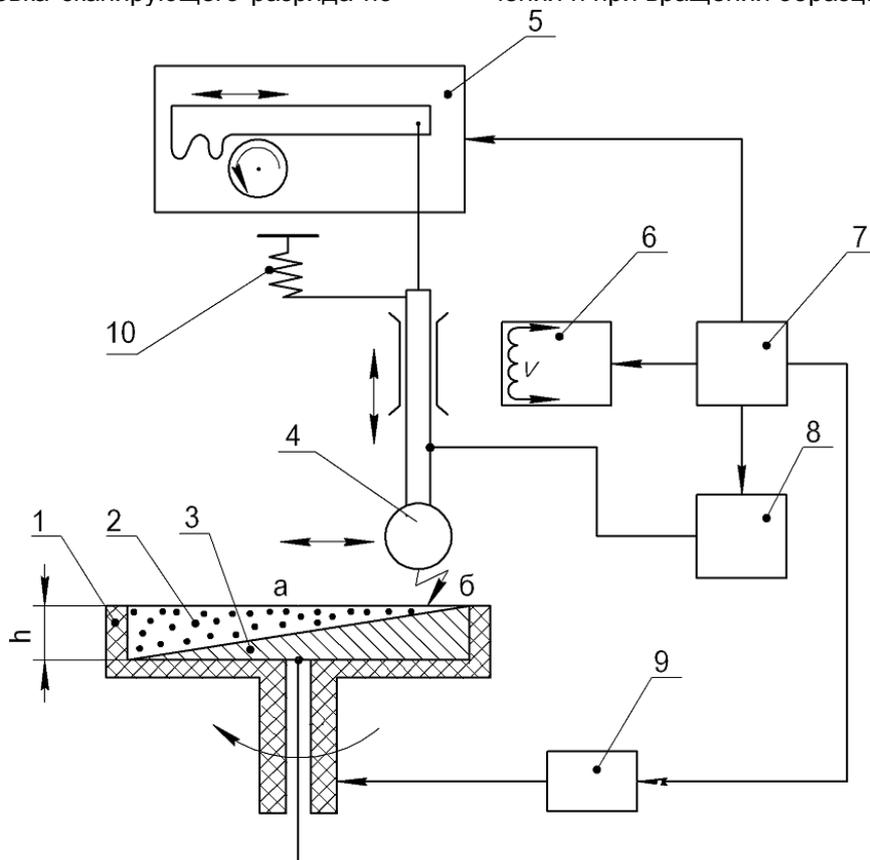


Рисунок 7 - Схема установки для определения минимальной энергии зажигания твердых и пастообразных материалов при прохождении электрического разряда через объём образцов

Исследуемый материал 2 и металлический заземлённый электрод 3 помещаются во вращающийся с постоянной скоростью диэлектрический ротор 1. Искровой разряд формируется при сближении в вертикальной плоскости с помощью электромагнита 6 высоковольтного электрода 4 с поверхностью образца 2. Сканирование образца искровым разрядом по толщине образца осуществляется перемещением электрода 4 в горизонтальной плоскости реечным механизмом 5. Управление высоковольтным блоком 8, шаговым двигателем 9, реечным механизмом 5 и электромагнитом 6 осуществляется блоком управления 7. Минимальная энергия зажигания рассчитывается по формуле (3), а вероятность зажигания как частное от деления числа воспламенений m на общее число искровых разрядов n в опыте:

$$p = m/n. \quad (4).$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, Б.Г. Статическое электричество в химической промышленности. / Б.Г.Попов, В.Н. Веревкин, В. А. Бондарь, В.И. Горшков; под ред. Б.И. Сажина. – Л.: Химия, 1977. - 238 с.
2. Овчаренко, А.Г. Электростатическая безопасность пожаро- и взрывоопасных производств. / А.Г.Овчаренко, С.Л. Раско – Бийск: Изд-во Алт. Гос. техн. ун-та, 2006 – 156 с.
3. ГОСТ Р 52274-2004. ЭСИБ. Общетеchnические требования и методы испытаний.

А.Г. Овчаренко, д.т.н., профессор Бийского технологического института АлтГТУ, академик МАНЭБ. Тел./факс (3854) 43-22-84, e-mail: shura@bti.secna.ru. **С.Л. Раско**, к.т.н., доцент Бийского технологического института АлтГТУ. Тел. (3854) 43-53-08.