

КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

А.Г.Овчаренко, С.Л.Раско

В последние годы в России незаслуженно забыто научное направление электростатической искробезопасности. Значительно сократилось число публикаций на эту тему. Авторы, являясь специалистами по рассматриваемому вопросу, предлагают возобновить публикации по электростатической безопасности, так как это проблема является важнейшей для уменьшения взрывов и пожаров не только на производствах Алтайского края, но и России в целом.

Электризация вызывает нарушение технологических процессов получения и переработки синтетических материалов, горючих и взрывчатых веществ, может явиться причиной пожаров и взрывов, неблагоприятно воздействует на организм человека.

Пожары и взрывы, вызванные разрядами статического электричества, хорошо известны, и информация об этом постоянно публикуется. Наиболее вероятны взрывы и пожары паров легковоспламеняющихся жидкостей, горючих мелкодисперсных твердых материалов и взрывчатых веществ.

По данным статистики, в России источником зажигания и пожаров в резервуарах с легковоспламеняющимися жидкостями и горючими жидкостями в 9,5 % случаев являлись разряды статического электричества. По данным зарубежной статистики, от разрядов статического электричества происходит около 50 % взрывов и пожаров в нефтехимической промышленности и около 80 % в резинотехнической промышленности [1]. Анализ причин аварий на объектах мукомольной промышленности, связанных с техническим состоянием оборудования и зарегистрированных Госгортехнадзором России в 1971 – 1996 гг., показал, что доля аварий от статического электричества составляет от 14 до 20 % от общего числа взрывов [2].

Трагические случаи с гибелью или тяжёлыми травмами происходят при воспламенении горючих сред искровыми разрядами с человека, при снаряжении вручную электродетонаторов, работе с пиротехническими веществами, зарядении детонирующих шнуров и скважин промышленными взрывчатыми веществами, а также на различных ручных операциях при работе с сыпучими горючими смесями и изготовленными из них изделиями. Подобные случаи чаще всего наблюдаются в сухих помещениях с плохо проводящим полом. В

этих условиях человек при движении генерирует заряды, достаточные для воспламенения многих горючих газов и паровоздушных смесей.

Источником воспламенения горючей смеси является газовый разряд, инициируемый либо в электрическом поле заряженного диэлектрика, либо в поле заряженного проводника. В последнем случае воспламеняющая способность искрового разряда больше, опасность выше. Несмотря на то, что разряд, инициированный в поле заряженного диэлектрика, наблюдается чаще, его воспламеняющая способность меньше, чем у разряда проводника, так как величина заряда в импульсе является только частью заряда, накопленного на диэлектрике, а проводник сбрасывает весь заряд за один импульс.

Обеспечение электростатической искробезопасности (ЭСИБ) является актуальной задачей, особенно в условиях взрывопожароопасных производств. Защита от разрядов статического электричества должна осуществляться во взрыво- и пожароопасных производствах с наличием зон классов: В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa, П-I и П-II, в которых применяются или вырабатываются вещества и материалы с удельным электрическим сопротивлением $\rho_v > 10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ [1, 3, 4]

Обычно задача обеспечения ЭСИБ решается комплексным путём и включает изучение всех технологических операций взрывопожароопасного производства на предмет наличия электризации, с применением индикаторов и приборов для измерения параметров электризации. Оценка ЭСИБ производится путём сравнения накапливаемой энергии электростатических зарядов с минимальной энергией зажигания используемых горючих материалов. Затем разрабатываются конкретные рекомендации и меры защиты от статического электричества. На основании разработанных рекомендаций и мер защиты вносятся

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК №1-2 2008

КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

изменения и дополнения в технологические регламенты и инструкции по правилам выполнения работ с последующим постоянным контролем их выполнения.

Основные принципы измерения электризации

Обеспечение измерительной аппаратурой, позволяющей осуществлять оперативный контроль электризации, является важной задачей, решение которой определяет возможность проведения предупредительных мероприятий по предотвращению вредных и опасных проявлений статического электричества.

Разработкой и исследованием таких приборов ранее занимались многие организации различных министерств и ведомств. Несмотря на это, в настоящее время не производятся отечественные искробезопасные и взрывозащищённые приборы для замеров электризации во взрыво- и пожароопасных условиях промышленных предприятий. Поэтому разработка и создание таких искробезопасных и взрывозащищённых приборов является актуальной задачей.

Приборы контроля параметров электризации основаны на измерении разности потенциалов U (В) между заряженным телом и землёй (заземлёнными предметами), поверхностной плотности электрических зарядов σ (мкКл/м²) и напряжённости электростатического поля E (кВ/м). Измерителями электрических потенциалов служат различные механические (лепестковые, стрелочные, струнные, квадрантные) и электронные электрометры. В механических электрометрах измеряемый заряд подаётся на один из двух электродов, кулоновское взаимодействие которых фиксируется различными методами.

Принцип действия квадрантных электрометров положен в основу электростатических вольтметров (серии С 50/1 – С 50/9, С 196). В этих приборах электростатический заряд воздействует на подвижный секторный электрод, который под действием кулоновских сил перемещается. По углу поворота судят о величине измеряемого потенциала. При этом потенциал, фиксируемый прибором, нельзя считать потенциалом заряженного тела, так как входная ёмкость переменна и вносит соответствующую погрешность. Приборы питаются от напряжения 220В и не могут

быть использованы в пожаро- и взрывоопасных производственных условиях.

В статических индукционных электрометрах с преобразованием входного сигнала удалённый от заряженного диэлектрика зонд проводника-датчика соединён с сеткой электрометрической лампы или полевого транзистора, поэтому индуцированный на нём заряд определяет ток лампы (ток транзистора). По такому принципу работает прибор ПК2-3А, созданный ВНИИ охраны труда [5]. Прибор фиксирует поверхностный потенциал и плотность заряда. Диапазон измерений имеет три предела (1; 10; 50 кВ), переключение производится сменными насадками с дисковыми диафрагмами цилиндрической части прибора, где находится электрометрическая лампа в герметичном стальном экране. Но прибор не может применяться во взрывоопасных зонах.

Приборы для электростатических измерений во взрывоопасных зонах должны быть взрывозащищённого исполнения, а их датчики должны отвечать требованиям электростатической искробезопасности. Датчик прибора считают искробезопасным для данной взрывоопасной смеси, если искровой разряд на него с металлического электрода, имеющего потенциал 20 кВ и ёмкость от 60 до 100 пФ не вызывает воспламенение этой смеси с вероятностью 10^{-3} (либо энергия этих разрядов меньше энергии воспламенения смеси не менее, чем в два раза). Для обеспечения этого условия используют различные конструктивные способы, например, датчик прибора ИСПИ-4 с отклонением электронного потока в вакууме покрыт слоем диэлектрика (фторопласта), это обеспечивает его искробезопасность [6]. В приборе СМ-2/С-59 взрывозащита достигается путём заключения электростатического вольтметра С-59 во взрывонепроницаемый корпус, а специальное покрытие датчика (фторопласт) обеспечивает его искробезопасность. Взрывобезопасность процесса измерения также обеспечивается применением во взрывоопасной зоне искробезопасного датчика, а прибор устанавливается в невзрывоопасной зоне. Однако на практике реализовать данный способ не всегда удаётся.

Измеритель электростатических потенциалов

Из известных приборов представляет интерес для взрывопожароопасных

производства измеритель электростатических потенциалов ИЭП-1, разработанный НПО "Алтай" (г. Бийск) [2]. Прибор малогабаритен, имеет современный дизайн и удовлетворяет всем требованиям по искробезопасности и взрывозащите. Аттестован ведомственной комиссией Восточного НИИ (г. Кемерово) и имеет уровень взрывозащиты OExII BT4 в соответствии с ГОСТ 22.782.5-78, что позволяет использовать его на ручных операциях в особоопасных производствах. Общий вид прибора представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Измеритель электростатических потенциалов ИЭП-1 (общий вид)

За основу при разработке принципиальной схемы прибора выбрано устройство, выполненное по схеме на МДП-транзисторах (металл-диэлектрик-полупроводник). МДП-транзисторы (полевые транзисторы с изолированным затвором) по сравнению с полевыми транзисторами с р – n переходом обладают большим входным сопротивлением, которое составляет в среднем от 10^{14} до 10^{15} Ом, и током затвора в пределах от 10^{-13} до 10^{-16} А.

На прибор ИЭП-1 разработан полный комплект технической документации, сертифицированная партия приборов успешно эксплуатируется на некоторых взрывопожароопасных предприятиях.

Индикаторы электростатических полей

Для исследования электростатических полей кроме приборов, обладающих достаточно точными характеристиками, разработаны и используются простые по конструкции датчики-индикаторы, по показаниям которых можно принять оперативные решения.

Отличительной особенностью датчиков-индикаторов, разработанных в МИХМе (г. Москва) [7], является то, что оценка зажигающей способности разрядов

статического электричества производится по непосредственному воспламенению горючей смеси с известной характеристикой чувствительности к электростатическому разряду. Такой характеристикой является минимальная энергия зажигания горючей среды или зажигающий (воспламеняющий) заряд в разряде. Так как чувствительность горючих сред, в качестве которых используются газоздушные смеси, изменяется в широких пределах, то всегда можно выявить максимальную зажигающую способность разрядов в технологическом процессе, а затем сделать вывод о пожаро- и взрывоопасности всего процесса на основании известных свойств перерабатываемого материала.

Датчик-индикатор (рисунок 2) разработанный на данном принципе работает следующим образом. Если в аппарате, в котором установлен датчик, происходит искровой разряд с поверхности или облака заряженного материала (в сушильной камере, бункере и т.п.) на изолированный от корпуса шарообразный электрод 1, то одновременно в зазоре между электродами 2 и 3, установленными в полости, заполненной горючей газовой смесью с известной энергией зажигания, происходит искровой разряд. Если его энергия равна или превышает энергию зажигания горючей смеси, происходит ее воспламенение. Пламя плавит капроновую нить 4, контакты 5 замыкаются на корпус и включают сигнальную лампу 8, питаемую от элемента 7. Герметичность датчика обеспечивается крышкой 6.

Несмотря на надёжность полученных экспериментальных данных, техническое обслуживание датчика представляет определённую сложность: снаряжение горючей смесью, закрепление капроновой нити на контакты, обеспечение герметичности и индикации. Поэтому применение датчика ограничилось научно-исследовательскими работами.

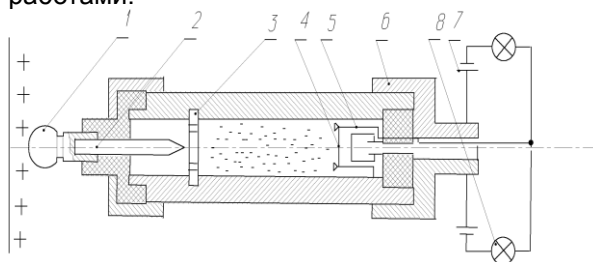


Рис. 2. Датчик-индикатор зажигающих искровых разрядов с газовой индикационной смесью

КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Наиболее простым по конструкции и обслуживанию является малогабаритный индикатор электростатических потенциалов МИЭП-1М, разработанный НПО "Алтай" совместно с Томским политехническим институтом. Индикатор представляет собой портативную конструкцию, не требует источников питания и относится к показывающим приборам, предназначенным для визуального отсчёта показаний [2].

Индикатор МИЭП-1М представляет собой цилиндрическую конструкцию из диэлектрика, внутри которой размещена электрометрическая измерительная система. Индикатор размещен на измерительной штанге (рисунок 3). Благодаря подвижному сочленению "штанга-индикатор" прибором можно пользоваться в труднодоступных местах, повернув и зафиксировав индикатор в удобном для работы положении. На корпусе индикатора расположена ручка регулируемого устройства для установки начального положения визирной нити электроскопа.

Электрометрическая измерительная система МИЭП-1М представляет собой металлический цилиндрический корпус 4, в котором находятся отсчётный микроскоп 6, электроскоп 3, запоминающий элемент 7, измерительная головка 2 и устройство 8, с помощью которого устанавливается начальное положение визирной нити электроскопа (рисунок 4).

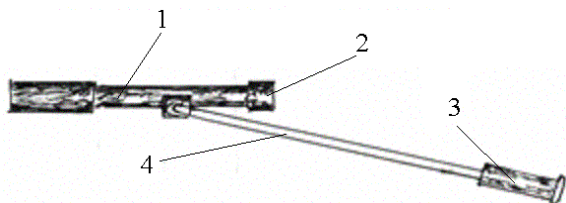


Рис. 3. Малогабаритный индикатор электростатических потенциалов МИЭП-1М (общий вид): 1-датчик; 2-окуляр; 3-ручка; 4-штанга

При внесении индикатора головной частью в электростатическое поле заряженной поверхности 1, на острие электроскопа 3 измерительной головки 2 индуцируется заряд, знак которого противоположен знаку заряда на исследуемой поверхности. Срабатывание запоминающего элемента 7 обеспечивает сохранение этого заряда на электроскопе 3 в течение продолжительного времени после удаления индикатора из исследуемого поля.

Отклонение кварцевой нити 5 электроскопа, наблюдаемое в отсчётный микроскоп 6, пропорционально потенциалу на измеряемом объекте 1.

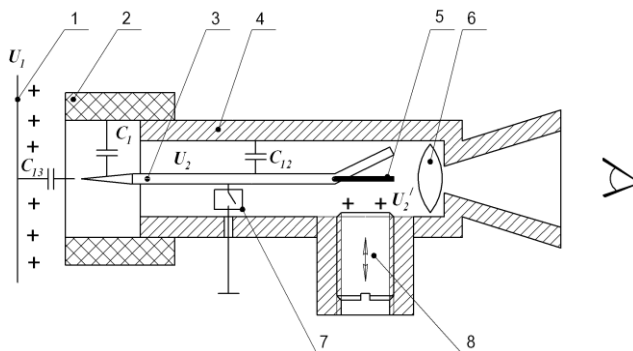


Рис. 4. Функциональная схема индикатора МИЭП-1М

Искробезопасность малогабаритных индикаторов МИЭП обеспечивается размещением всех металлических элементов в диэлектрическом корпусе и отсутствием источников питания. Максимально возможная энергия, которую получает измерительная система в процессе измерения электростатических полей, составляет $1,2 \cdot 10^{-8}$ Дж, что на два порядка ниже энергии зажигания водородной смеси ($1,4 \cdot 10^{-6}$ Дж). Дополнительно искрозащита обеспечивается заземлением всех металлических элементов конструкции.

Преимуществами малогабаритных датчиков-индикаторов статического электричества по сравнению с другими приборами являются: простота конструкции, оперативность обслуживания, низкая стоимость, возможность использования в производственных условиях на каждом рабочем месте, где возможно образование зарядов статического электричества. Таким требованиям удовлетворяет разрядник электростатический РЭС-1, разработанный в НПО "Алтай" (г. Бийск) [8]. Разрядник применяется для индикации электростатического поля, а также используется для снятия электростатических зарядов, как с наэлектризованного человека, так и с любого объекта в пожаро- и взрывоопасных производствах.

На рисунке 5 представлена конструктивная схема разрядника РЭС-1, а на рисунке 6 его электрическая схема.

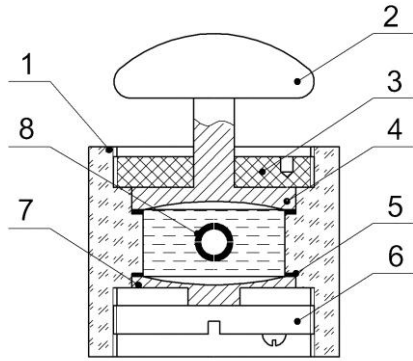


Рис. 5. Конструктивная схема разрядника РЭС-1:

1–корпус; 2–рабочая часть; 3–упорная гайка; 4–верхняя обкладка; 5–прокладка; 6–клемма заземления; 7–нижняя обкладка; 8 – сферическая частица

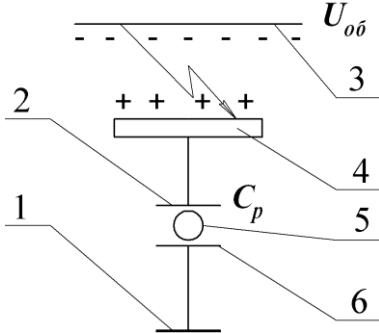


Рис. 6. Эквивалентная электрическая схема разрядника РЭС-1

Разрядник-индикатор работает следующим образом. При приближении (касании) рабочей части 4 к наэлектризованной поверхности 3 (рисунок 6), рабочая часть, соединённая с верхней обкладкой 2 конденсатора, заряжается до потенциала наэлектризованной области 3. Под воздействием электростатического поля в межэлектродном пространстве конденсатора C_p частица 5 совершает колебательное движение, периодически касаясь обкладок конденсатора. При этом частица переносит на заземлённую нижнюю обкладку 6 определённое количество зарядов. Если на рабочей части нет притока новых зарядов, то процесс колебания частицы будет затухающим до выравнивания потенциалов на обкладках конденсатора. Так как заземлённая обкладка имеет нулевой потенциал, то и обкладка 2, соединённая с рабочей частью, разряжается до нулевого потенциала, то есть до полного стекания зарядов с рабочей части. Конец процесса

стекания зарядов фиксируется визуально через прозрачный корпус по прекращению колебания частицы.

Электростатическая энергия, переносимая частицей на землю, определяется по экспоненциальному закону

$$W = \frac{C_0 + C_p}{2} \cdot U_0^2 \cdot e^{-\frac{2\tau}{R(C_0 + C_p)}} = \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot U_i^2}{2} \cdot e^{-\frac{2\tau}{RC_i}},$$

где C_0 - ёмкость объекта, Ф;

U_0 - потенциал объекта, В;

C_i - ёмкость частицы, Ф;

C_p - ёмкость конденсатора устройства, Ф;

R - электрическое сопротивление разрядной цепи, ;

τ - время между единичными порциями электростатической энергии, переносимой частицей на землю, с;

U_i - потенциал, переносимый наэлектризованной частицей, В;

Время переноса электростатической энергии на землю частицей в разряднике намного больше времени развития электростатического разряда с заряженной поверхности объекта на рабочую часть разрядника, поэтому искробезопасность разрядника оценивается по начальной энергии заряженного объекта. Тогда условие обеспечения искробезопасности разрядника будет определяться выражением:

$$W_p \leq W_{min} \cdot K_{без} \quad (2)$$

где W_p - энергия, которая может выделиться в промежутке между рабочей частью устройства и наэлектризованным объектом, Дж;

W_{min} - минимальная энергия зажигания среды, в которой применяется разрядник, Дж;

$K_{без}$ - коэффициент безопасности.

Устройство можно использовать для дистанционных измерений, а также для подключения индикатора к автоматической системе управления. Для этой цели более помехозащищённым является аналогичное устройство, в котором нижняя обкладка конденсатора, противоположная рабочей части, выполнена в виде пьезокерамического диска с металлизированными торцевыми поверхностями [9]. В этом случае улучшается контроль процесса разряда за счёт преобразования механической энергии частицы в пьезоэлектрический сигнал.

Усовершенствование таких устройств

КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

позволит применять их в любых средах с дистанционным наблюдением при использовании современных волоконно-оптических световодов [10]. На рисунке 7а и 7б представлены варианты исполнения датчиков с различным расположением торцов световодов в корпусе. Концы световодов 3 закреплены снаружи корпуса и оптически соединены с источником света 4 и фотоприёмником 5. Оси световодов обращены в сторону траектории движения частицы 1, на поверхность которой нанесён отражающий материал из хромоникелевого сплава. Возможные изменения светового потока во времени представлены на рисунке 7в. Регистрация прохождения частицы через световой поток обеспечивается при выполнении определённого соотношения между внутренним диаметром полости корпуса, диаметром сферической частицы и шириной светового пучка h . Данное соотношение между внутренним диаметром D полости корпуса и диаметром d частицы с учётом ширины светового пучка h имеет вид:

$$d < D < 2d + h. \quad (3)$$

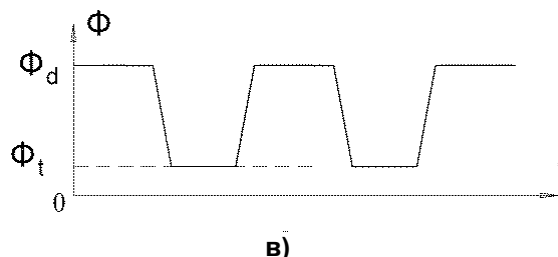
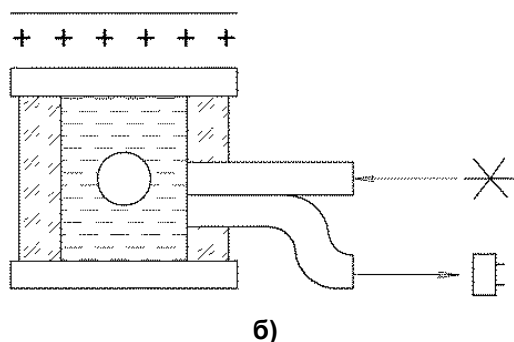
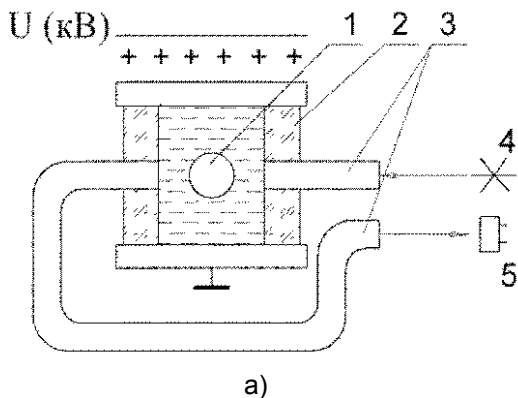


Рис. 7. Принципиальная схема разрядно-индикаторного устройства для дистанционных измерений: 1 – частица; 2 – корпус; 3 – световоды; 4 – источник излучения; 5 – фотоприемник

Достоинством данной конструкции является то, что концы световодов могут достигать десятков метров, что позволяет вывести источник света и фотоприёмник из взрывопожароопасного помещения. Возможность использования волоконно-оптических световодов в разрядном устройстве позволит применять его в автоматических системах управления технологическими процессами.

Контроль электропроводности покрытий

Одним из путей обеспечения электростатической безопасности в пожаро-взрывоопасных производствах является замена диэлектрических покрытий на электропроводные (электропроводная резина, антистатическая краска, алкамон ОС-2 и т.п.), которые заземляются. Однако контроль качества электропроводности покрытий и измерение сопротивления заземления в этом случае затруднительны, так как рекомендуемые мегомметры громоздки, неудобны в эксплуатации и имеют высоковольтный источник питания.

С целью определения электропроводности покрытий во взрывопожароопасных производствах на предприятии НПО «Алтай» (г. Бийск) был разработан прибор ПЭП-1, имеющий корпус искробезопасного исполнения и эластичный измерительный электрод из вибростойкой и электропроводной резины марки ВР-40-1 на основе каучука СКМ-40 [2]. Схема этого прибора изображена на рисунке 8. Прибор ПЭП-1 работает по методу «амперметра-вольтметра», который заключается в измерении тока в последовательно соединённой цепи, включающей источник питания G , микроампервольтметр V , измерительный электрод 1, сопротивление исследуемого настила 2, контур заземления

3. В данной схеме искомое сопротивление покрытия R_p определяется по закону Ома по величине тока, протекающего по цепи: источник тока – электрод – контур заземления.

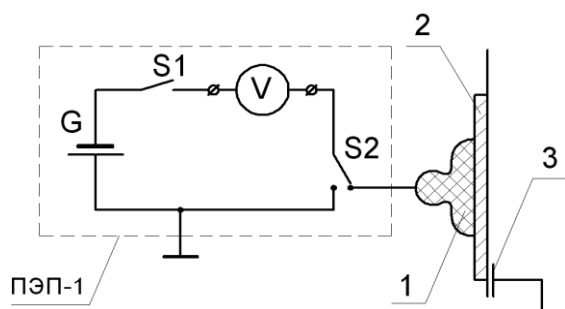


Рис. 8. Схема прибора контроля электропроводности покрытий:
1 – измерительный электрод; 2 – исследуемое покрытие; 3 - контур заземления; G – источник питания; V – микроампервольтметр; S1, S2 – переключатели

Опытная партия таких приборов была изготовлена и внедрена на предприятии НПО "Алтай".

Таким образом, актуальным является усовершенствование существующих и разработка новых приборов для контроля электризации в технологических процессах, что позволит значительно снизить опасность взрывов и пожаров на производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веревкин В.Н., Смелков Г.И., Черкасов В.Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита. - М.: МИЭЭ, 2006. –170 с.
2. Овчаренко А.Г., Раско С.Л. Электростатическая безопасность пожаро- и взрывоопасных производств.– Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2006. – 155 с.
3. Правила защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности – М.: Химия, 1973. – 60 с.
4. ГОСТ Р 52274-2004. ЭСИБ. Общетеchnические требования и методы испытаний.
5. Морозов Ю.А., Толстопяттов В.Н. Прибор для измерения электростатических зарядов / Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС – Вып. 76 - М.: Профиздат, 1972 – С. 28-34.
6. Черкасов В.Н. Защита взрывоопасных сооружений от молний и статического электричества – М.: Стройиздат, 1984 – 64 с.
7. Попов Б.Г., Веревкин В.Н., Бондарь В.А., Горшков В.И. Статическое электричество в химической промышленности. Под ред. Сажина Б.И. – Л.: Химия, 1977. – 238 с.
8. Авторское свидетельство №936475. Искробезопасное устройство. Раско С.Л., Скачков А.Е. – 1982.
9. Авторское свидетельство № 1669088. Электростатический разрядник – индикатор / Раско С.Л., Алёзова Л.Р. – 1991.
10. Патент РФ № 2024220. Разрядное индикаторное устройство / Раско С.Л., Чигорко А.Б., Ломакин Г.С.- 1994.