



**Б. Е. ТЕПЛИЦКИЙ,**  
канд. техн. наук



**А. Е. ПОГОРЕЛЬСКИЙ,**  
канд. техн. наук



**Б. Н. ВАНЕЕВ,**  
канд. техн. наук

**Постановка проблемы.** Техническое перевооружение угольной, горной, обогатительной и перерабатывающей промышленности осуществляется на основе механизации и автоматизации технологических процессов и их дальнейшей интенсификации. Для реализации указанных направлений необходимо применение электрооборудования как общего назначения, так и взрывозащищенного рудничного, обеспечивающего в условиях

УДК 628.511:621.31-213.34.001.4

## Основные требования к пыли для испытаний взрывозащищенного рудничного электрооборудования на степень защиты IP5X и IP6X

Установлено, что наиболее приемлемой пылью для испытания оболочек взрывозащищенного рудничного электрооборудования на степень защиты IP5X и IP6X является портландцемент марки 400 по ДСТУ Б В. 2.7-46-96.

**Ключевые слова:** взрывозащищенное рудничное электрооборудование, оболочка, степень защиты, тальк технический, портландцемент.

**Контактная информация:** [ukrniive@ukrniive.com.ua](mailto:ukrniive@ukrniive.com.ua)

взрывоопасных производственных помещений, шахт и рудников надежную работу и высокий уровень безопасности обслуживающего персонала.

Одно из таких условий – воздействие на электрооборудование промышленных пылей, возникающих при добыче полезных ископаемых и переработке различных веществ. Эти пыли в сочетании с другими факторами условий эксплуатации: температурой и влажностью воздуха, капезом, воздействием дождя и т. д. – могут резко повысить аварийность электрооборудования. Поэтому его надежность и безопасные свойства во многом определяются принятыми мерами защиты от воздействия промышленных пылей. Оценка эффективности таких мер осуществляется испытаниями электрооборудования по соответствующим методикам, которые в большей или меньшей степени воспроизводят условия, адекватные условиям эксплуатации.

Для унификации способов защиты и методик испытаний Международной электротехнической комиссией (МЭК или IEC), а затем и национальными органами по стандартизации многих стран, в том числе и Украины, принята единая классификация степеней защиты оболочек электрооборудования IP (International Protection), в которую вошли и две степени защиты оболочек от проникновения пыли – IP5X и IP6X. Важность и актуальность рассматриваемого вопроса подтверждается созданием в 1971 г. в структуре МЭК специального технического комитета ТК 70 по защите электрооборудования оболочками.

Общепризнана нецелесообразность проведения испытаний на степень защиты оболочек IP5X и IP6X с использованием в каждом случае конкретного вида пыли, характерного для данного производственного помещения (угольной, железорудной, пластмассовой, хлопчатобумажной, сахарной и др.), ввиду чрезвычайного разнообразия видов пыли и существенных затруднений с их при-

готовлением в лабораторных условиях. Поэтому МЭК было принято решение об использовании при испытаниях только одного вида пыли.

Оценка степени защиты оболочек электрооборудования IP5X и IP6X во многом зависит от выбора вида пыли, применяемого при испытаниях, так как различные виды промышленной пыли обладают разной способностью проникать через узкие щели между корпусом оболочки и ее крышкой, ширина которых у электрооборудования с видом взрывозащиты «d» (взрывонепроницаемая оболочка) согласно ДСТУ 7114:2009 (IEC 60079-1:2007, MOD) составляет 0,1–0,75 мм в зависимости от его группы и подгруппы. Кроме того, разные виды пыли обладают разной гигроскопичностью, слеживаемостью, способностью к отложению на вертикальной поверхности изоляционных деталей, удельным поверхностным и объемным электрическим сопротивлением и т. д. Кроме того, используемая для испытаний пыль не должна представлять опасности для персонала, обслуживающего испытательную установку (пылевую камеру).

Поэтому проблема выбора вида пыли для испытаний оболочек электрооборудования на степень защиты IP5X и IP6X является актуальной.

**Анализ публикаций.** В п. 13.4 международного стандарта IEC 60529:2001 «Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)» в качестве испытательной пыли регламентировано применение порошка талька. Однако известно, что порошок талька образует в воздухе аэрозоли фиброгенного характера (воздействующие на органы дыхания) и по степени вредного влияния на организм человека относится к 3-му классу опасности (умеренно опасные вещества) по ГОСТ 12.1.007–76. Поэтому межгосударственные стандарты ГОСТ 19729–74, ГОСТ 21234–75 и ГОСТ 21235–75 на тальк технический молотый и талькомагнезий (для производства резиновых изделий и пластических масс, для керамической продукции, для кровельных и гидроизоляционных изделий соответственно) в п. 2 каждого из них регламентируют следующие меры для обеспечения безопасности обслуживающего персонала:

а) предельно допустимая концентрация талька в воздухе рабочей зоны, измеряемая не реже одного раза в квартал, не должна превышать  $4 \text{ мг/м}^3$ ;

б) для защиты органов дыхания персонала от воздействия тальковых аэрозолей должны применяться респираторы.

Соблюдение этих мер вызывает дополнительные трудности при проведении испытаний (например, из-за разной периодичности проведения испытаний и неизбежных простоев между ними концентрация талька в рабочей зоне испытательной лаборатории должна измеряться не один раз в квартал, а при каждом испытании). Поскольку нет гарантии, что они всегда будут выполняться обслуживающим персоналом, то для устранения этой опасности ГОСТ 14254–96 (МЭК 529–89) в п. 13.4.2в разрешил вместо талька применять портландцемент марки 400 по ГОСТ 10178–85. Однако полное обоснование возможности применения этого материала в ГОСТ 14254–96 (МЭК 529–89) отсутствует.

**Цель работы** – обосновать возможность использования портландцемента марки 400 по ГОСТ 10178–85 (заменен ДСТУ Б В. 2.7-46–96) в качестве пыли при проведении испытаний взрывозащищенного рудничного электрооборудования на степень защиты IP5X и IP6X.

**Результаты исследований.** При выборе вида пыли взамен талька технического для проведения испытаний на степень защиты руководствовались тем, что пыль должна образовывать в воздухе менее опасные аэрозоли по сравнению с тальком, а также иметь:

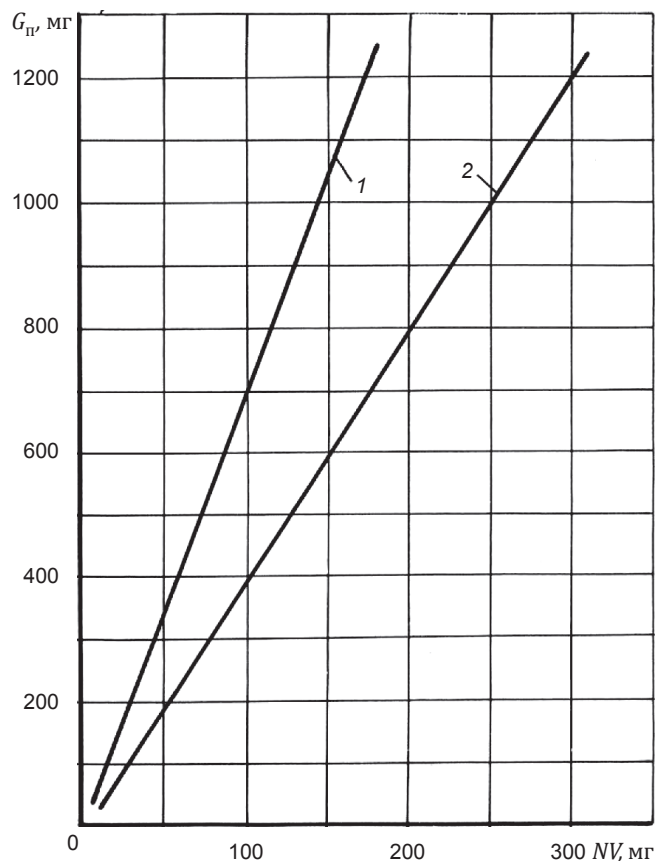
а) проникающую способность через щели и уплотнения между корпусом и крышками электрооборудования не хуже, чем у талька;

б) удельное электрическое поверхностное и объемное сопротивление слоя ниже, чем у талька;

в) активную гидрофильность при воздействии влажного воздуха (для случая, если будет признано необходимым после испытаний изделия на степень защиты IP5X дополнительно испытывать его на воздействие влажности воздуха);

г) невысокую стоимость, доступность и простоту в обращении при подготовке к испытаниям.

Согласно ДСТУ Б В. 2.7-46–96 портландцемент марки 400 менее опасен для здоровья человека, так как относится не к 3-му классу опасности по ГОСТ 12.1.007–76 (умеренно опасные вещества), как тальк технический, а к менее опасному 4-му классу (мало опасные вещества) и для него предельно допустимая концентрация в воздухе составляет 6 %.



**Рис. 1.** Зависимость количества проникшей в оболочки пыли от концентрации пыли в камере  $N$  и объема прокачанной через щели оболочки пылевоздушной смеси  $V$ : 1 – портландцемент марки 400; 2 – тальк технический.

Для определения сравнительной проникающей способности талька технического и портландцемента марки 400 в стандартной камере пыли по ИЕС 60529:2001 проведены исследования разных оболочек с применением вакуумирования для создания искусственного подсоса пылевоздушной смеси через щели оболочки между ее корпусом и крышкой [1–3].

В рудничном взрывозащищенном электрооборудовании наиболее широко применяются оболочки с плоскими фланцами, имеющие такие параметры:

Внутренний диаметр фланца, мм	58; 96; 286
Ширина фланца (длина щели), мм	10; 15; 25; 40
Высота щели (зазор), мм	0,1; 0,15; 0,2; 0,3
Шероховатость поверхности фланцев, мкм	6–7

Параметры испытательного режима следующие:

Крупность частиц пыли, мкм, менее	71
Относительная влажность пыли, %, менее	2,5
Концентрация пыли в камере, мг/м <sup>3</sup>	200; 500; 1000; 1500
Скорость пылевого потока, м/с	1–2; 4–5; 9–10
Температура воздуха пылевого потока, °С	40 ± 2
Относительная влажность воздуха пылевого потока, %	40 ± 5
Разрежение в оболочке, бар (мм вод. ст.)	2,5 (25); 4,9 (50); 9,8 (100); 14,7 (150); 19,6 (200)

В результате исследований (более 180 опытов) получена линейная зависимость количества пыли  $G$ , проникшей в оболочку через щели ее фланца, от концентрации пыли в воздушном потоке камеры  $N$  и объема прокачанной через оболочку пылевоздушной смеси  $V$ :

$$G = k N V, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности.

Исследования показали, что коэффициент пропорциональности имеет наибольшее значение при скорости пылевоздушного потока 4–5 м/с, при которой для талька технического  $k = 0,4$ , а для портландцемента марки 400  $k = 0,7$ . Зависимость (1) для этого случая представлена на рис. 1.

Ширина щели между корпусом и крышкой оболочки не оказывает влияния на количество проникшей в нее пыли  $G$  в том случае, если щель расположена перпендикулярно вектору скорости пылевоздушного потока.

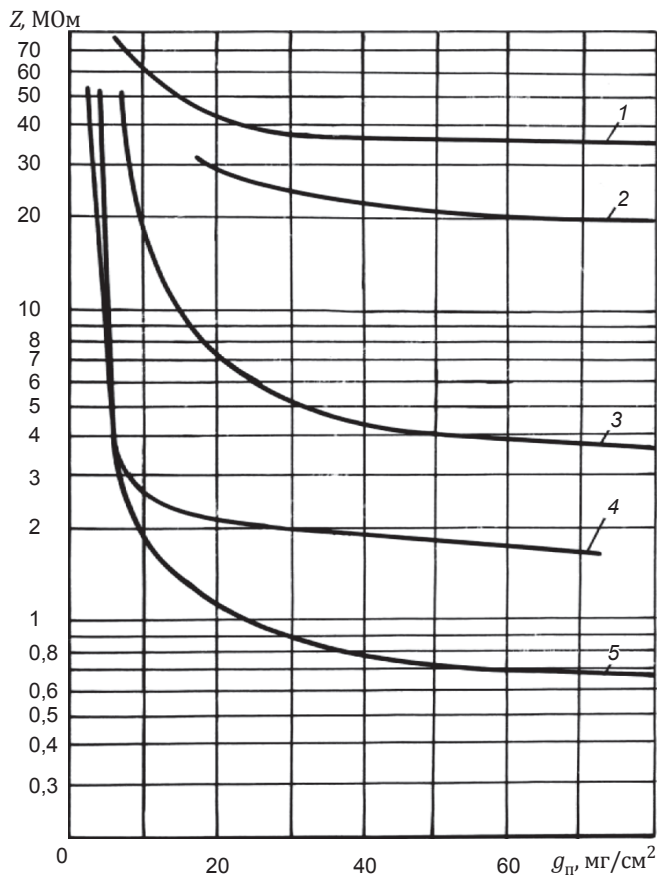
Из рис. 1 и формулы (1) следует, что способность портландцемента марки 400 (кривая 1) проникать через узкие щели оболочек взрывозащищенного электрооборудования не хуже проникающей способности талька технического (кривая 2).

Как известно, основной параметр, наиболее полно характеризующий электропроводные свойства слоя осевшей пыли, – его удельное электрическое сопротивление, от которого зависят условия развития тока утечки по поверхности диэлектрика. Для исследования этого параметра у различных видов пыли использовали горизонтальное расположение электро-

дов прямоугольной формы шириной 10 мм, закрепленных на горизонтальной пластине из фторопласта, обладающего очень высоким удельным поверхностным сопротивлением ( $10^{16}$ – $10^{17}$  Ом·см) и большой гидрофобностью. Расстояние между электродами  $l = 50$  мм приняли равным нормированной ГОСТ 24719–81 длине пути утечки для материалов группы «а» по трекинговости (неорганические материалы) при напряжении переменного тока не ниже 1140 В. Напыление на пластину производили с помощью сита № 0071В в замкнутом объеме с высоты 250 мм, благодаря чему слой пыли формировался свободным осаждением частиц. Среднее количество пыли, приходящееся на единицу площади напыления, определяли делением массы просеянной пыли на площадь запыленного участка, условно считая распределение пыли по поверхности равномерным. Расхождение в массовой плотности напыления в разных опытах составляло 1,5–2,5 %.

Чтобы исключить возможность образования конденсата и проникновения капиллярной влаги в слой пыли, запыленные пластинки подсушивали при температуре 30–35 °С в течение 1,5 ч, а затем помещали в климаттермокамеру, в которой поддерживалась относительная влажность воздуха ( $95 \pm 2$ ) % при температуре ( $40 \pm 2$ ) °С, и увлажняли до момента достижения наименьшего уровня электрического сопротивления данного образца, т. е. до максимального гигроскопического содержания.

Активное электрическое сопротивление слоя пыли измеряли с использованием принципиальной схемы измерения сопротивления изоляции по методу наложения постоянного напряжения, равного оперативному напряжению реле защиты от утечек на переменное напряжение сети, установленному ГОСТ 24719–81, применяя в качестве источника питания трансформаторы мощностью 2,5 кВ·А на напряжение 1200 В. Подаваемое напряжение регулировали в первичной цепи с помощью автотрансформаторов. Приборы для измерения силы тока и напряжения – класса 0,5. Измерения выполняли при переменном напряжении 400, 600, 700, 1000 и 1140 В в течение 2–3 с каждое, что обеспечило расхождение значений сопротивления не более  $\pm 5$  %. Полученные результаты измерений обрабатывали методами математической статистики.



**Рис. 2.** Зависимость электрического сопротивления слоя пыли  $Z$  от плотности напыления  $g_p$ : 1 – тальк технический; 2 – руда марганцевая; 3 – портландцемент марки 400; 4 – антрацит; 5 – руда железная.

Исследовали следующие виды пыли:  
 руда железная, содержание Fe = 53...55 % (Кривой Порог Днепропетровской обл.);  
 уголь марки А пласта  $h_3$  Ремовский (Торез Донецкой обл.);  
 портландцемент марки 400;  
 руда марганцевая (Никополь Днепропетровской обл.);  
 тальк технический.

Согласно результатам испытаний [3, 4] тальк технический (рис. 2, кривая 1) при максимальной плотности напыления поверхности диэлектрика  $g_p = 70...80$  мг/см<sup>2</sup> имеет электрическое сопротивление  $Z$  в десятки раз и более выше, чем любая другая из исследованных промышленных пылей, т. е. для испытаний взрывозащищенного электрооборудования из-за очень высокой гидрофобности тальк непригоден. Портландцемент марки 400 (рис. 2, кривая 3) обладает более низким электрическим сопро-

тивлением слоя пыли и по этой характеристике приближается к такому полезному ископаемому, как уголь, добываемому в мире в наибольшем объеме по сравнению с другими ископаемыми.

Исследование гидрофильности ряда промышленных пылей проводили путем напыления фторопластовых пластинок указанным выше методом свободного осаждения. Пыль предварительно высушивали до влагосодержания 0,03–0,05 % и просеивали через сито № 0071В. Толщина слоя пыли составляла 1 мм. Приготовленные пластинки одновременно для всех видов пыли подвергали увлажнению на открытом воздухе в течение 24 ч. Влагосодержание, %, разных видов пыли определяли взвешиванием пластинок до и после увлажнения, оно составило:

Тальк технический	0,1–0,2
Антрацит	0,2–0,4
Уголь каменный	0,3–0,5
Сланец песчаный	0,7–0,9
Сланец глинистый	0,8–1,4
Руда марганцевая	1,2–1,6
Руда железная	1,4–1,9
Портландцемент марки 400	1,6–2,5

Как видим, влагосодержание портландцемента марки 400 более чем в 10 раз выше влагосодержания талька, т. е. он обладает более высокой гидрофильностью.

Кроме того, согласно данным [5] тальк технический резко отличается от наиболее распространенных промышленных пылей и по такому важному свойству, как контактно-электрический заряд пыли, Кл/г·10<sup>-8</sup>, который для разных видов пыли составляет:

Земля инфузорная	-2,0
Тальк	-0,8
Оксид алюминия	+6,0
Гипс	+7,2
Кварц	+9,5
Оксид железа	+12,5
Портландцемент	+16,0
Зола угольная	+22,5
Карбид	+35,0

Тальк имеет незначительный отрицательный заряд, в то время как остальные пыли, включая и портландцемент, – положительный.

Портландцемент марки 400, в отличие от талька технического, более доступен: он продается в магазинах хозяйственных товаров или стройматериалов в удобной расфасовке по 1, 5, 10 или 50 кг. Подготовка его к испытаниям не представляет трудностей, поскольку в исходном товарном виде портландцемент марки 400 имеет хорошую тонкость помола (через сито № 008В проходит 85 % пыли), т. е. легко поддается дальнейшему просеиванию и сушке.

**Вывод.** Наиболее приемлемой пылью для испытания оболочек взрывозащищенного рудничного электрооборудования на степень защиты IP5X и IP6X с учетом всех предъявляемых к ней требований является портландцемент марки 400 по ДСТУ Б В. 2.7-46–96 (взамен ГОСТ 10178–85), обладающий достаточно высокой проникающей способностью, низким электрическим сопротивлением и высокой гидрофильностью слоя пыли.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Теплицкий Б. Е. Сравнительная оценка условий испытаний рудничного электрооборудования на пылезащищенность по ГОСТ 14254-69 / Б. Е. Теплицкий // Электротехническая промышленность. Сер. Аппараты низкого напряжения. – 1973. – № 7 (26). – С. 16–18.
2. Теплицкий Б. Е. Основные требования к установкам для проведения испытаний электрооборудования на пылезащищенность / Б. Е. Теплицкий, Н. К. Мудраков, Ф. М. Аккерман // Электротехническая промышленность. Сер. Электрические машины. – 1974. – № 3 (37). – С. 8–9.
3. Теплицкий Б. Е. Исследование защиты рудничного электрооборудования от воздействия промышленных пылей и совершенствование методов испытаний: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Теплицкий Борис Ефимович. – Донецк, 1977. – 169 с.
4. Теплицкий Б. Е. Оценка работоспособности рудничного электрооборудования в условиях повышенной запыленности (степень защиты IP5X по ГОСТ 14254-69) / Б. Е. Теплицкий, Ф. М. Аккерман // Электротехническая промышленность. Сер. Аппараты низкого напряжения. – 1975. – № 7 (47). – С. 6–8.
5. Защита радиоэлектронной аппаратуры от влияния климатических условий / [под ред. Г. Юбиша]. – М.: Энергия, 1970. – 368 с.