

ПУТИ РЕАЛИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ИЗНОСОСТОЙКОЙ И ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОЙ СПЕЦОДЕЖДЕ ШАХТЕРОВ

к.ф.-м.н. Дорошев В.Д., к.т.н. Сынков В.Г., инж. Транковская Л.Д.
(ИФГП НАН Украины)

Розглянута концепція комплексних вимог до спецодягу шахтарів, захищаючий від механічних пошкоджень та статичної електрики. Описані методики та оригінальні установки для атестування електричного опору, вольт-амперних характеристик і релаксації зарядів статичної електрики з тканини, яка має в складі металеві мікроволокна, або інші електропровідні компоненти.

THE WAYS OF REALIZING THE UP-TO-DATE REQUIREMENTS ON WEAR RESISTANCE AND EXPLLOSION-PROF OVERALLS OF MINERS

Doroshev V.D., Synkov V.G., Trankovskaya L.D.

The conception of complex demands on the miner's overalls proofing from mechanical damages and static electricity has been proposed. It has been described techniques and original equipment for attestation of electrical resistance, voltage-current characteristics and relaxation of static electricity charge from fabrics containing metallic microfibres or other components conducting electricity.

Повышение уровня защиты горняков от механических повреждений, загрязнений и вредных воздействий электро-магнитных полей выдвигает качественно новые требования к материалам, используемым в спецодежде. Особую роль в этих требованиях играют факторы долговечности, комфортности и минимизации электризуемости одежды при носке в подземных условиях.

Одно из основных значений в факторе комфортности имеет малый вес комплекта, определяемый поверхностной плотностью ткани, что входит в противоречие с механической прочностью, износостойкостью и электризуемостью материала. Высокие прочностные свойства тканей обеспечиваются введением в их структуру полимерных волокон и нитей, но с другой стороны, это повышает их электризуемость.

Степень электризации текстильных материалов, т.е. их способность накапливать и сохранять на своей поверхности электрические заряды, зависит от электрической проводимости ткани и способности компонентов ее структуры либо обеспечивать перетекание зарядов от участков с высоким потенциалом к менее напряженным зонам, либо осуществлять релаксацию зарядов путем появления коронарных разрядов между отдельными участками или между участками ткани, окружающей средой или заземленным оборудованием.

ем. Вполне понятно, что определенную роль в облегчении или торможении этих процессов играют характеристики окружающей среды (влажность, запыленность, склонность к образованию заряженных аэрозолей, турбулентность воздушных потоков и др.) [1-5].

Наиболее важное положительное влияние на релаксацию зарядов оказывает модификация текстильного материала специальными добавками, вводимыми в структуру волокон, нитей или тканей на различных этапах их производства. В качестве таких модификаторов используют твердые проводящие частицы – наполнители химических волокон, электропроводящие покрытия на волокнах, нитях и тканях, металлические проволоочные элементы, добавляемые в штапельную пряжу или используемые как монопить при производстве ткани [3].

Введение в штапельную нить металлических микроволокон позволяет наиболее полно использовать оба механизма релаксации зарядов (электронный и ионный), т.к. протяженные отрезки проводников при относительно малой массовой доле ввода в ткань (до 3%) обеспечивают не только разветвленную проводящую цепь, но и создают сетку концентраторов электрического поля, образуемых концами элементарных волокон и огранкой их поверхности [4].

Порошковые наполнители, вводимые в химические волокна и проводящая сетка, образованная монопитью или напылением не имеет концентраторов поля такой эффективности. Кроме того, высокая механическая и коррозийная стойкость волокон позволяет тканям выдерживать многократные стирки без потери электрофизических характеристик. Особое значение для обеспечения условий релаксации зарядов путем коронирования в окружающую среду имеют случаи, когда по условиям горного производства нельзя обеспечить постоянное и надежное заземление работника.

Поэтому тестирование электрофизических характеристик текстильных материалов и спецодежды должно наиболее полно отражать все возможности накопления и релаксации зарядов [1,2,5].

1. Накопление зарядов электризацией :

- трением об уголь и горную породу различной степени метаморфизма,
- при ходьбе и выполнении работ в различных горных условиях,
- при одевании и раздевании различных элементов костюма.

2. Релаксация зарядов статического электричества растеканием и коронированием, а именно:

-интенсификацией растекания зарядов по поверхности материала за счет снижения электросопротивления ткани электрическому току введением электронных носителей,

-ограничением предельной величины накопленных зарядов стимуляцией ионной проводимости концентраторами электрического поля.

Механические характеристики ткани (сопротивление истиранию, разрыву, раздиру и др.) регламентируется ГОСТами [6-8]. С другой стороны, в Украине и других странах СНГ отсутствуют ГОСТы, регламентирующие электрофизические характеристики тканей, содержащих электропроводящие компоненты (удельное электрическое сопротивление - ρ , максимальный

потенциал электризации – U_m , время снижения максимального потенциала электризации до безопасной величины – τ).

Поэтому при разработке устройства для измерения удельного электрического сопротивления нами использовано решение, содержащееся в DIN 54345, р.5 [9]. Схема устройства представлена на рис.1. На пластину 2 размером $6,5 \times 13 \text{ см}^2$ из фторопласта жестко крепится образец ткани 1 размером $6 \times 12 \text{ см}^2$. С помощью калиброванной пружины 3 измерительные электроды 4 прижимаются к ткани с удельным усилием 6 кг/см^2 . Каждый из электродов имеет поверхность прижима $0,05 \times 5 \text{ см}^2$, изготавливается из меди и крепится к направляющему стержню 6 корпуса устройства 7 с помощью фторопластовых ползунов 5. Заземленный корпус устройства является экраном от внешних электромагнитных полей. Измерение электрического сопротивления осуществляется методом ток-напряжение. Для измерения использован стабилизированный источник постоянного тока П4105 (8), универсальный вольтметр Щ68003 (9), комбинированный прибор Щ300 (10). Установка позволяет производить измерения электрического сопротивления в пределах от 10 до 10^{12} Ом при опорных напряжениях 1-10 В для материалов с $\rho < 10^8 \text{ Ом}$ и с напряжением 100 В для материалов с $\rho \geq 10^8 \text{ Ом}$.

Удельное электрическое сопротивление ρ , измеренное по данной методике является комбинацией удельного поверхностного ρ_s и удельного объемного ρ_v электрических сопротивлений и рассчитывается по формуле:

$$\rho = K \cdot R,$$

где R- величина сопротивления образца ткани, измеренная методом ток-напряжение; K – постоянная устройства, $K = h / s$; h – длина электрода; s – расстояние между электродами.

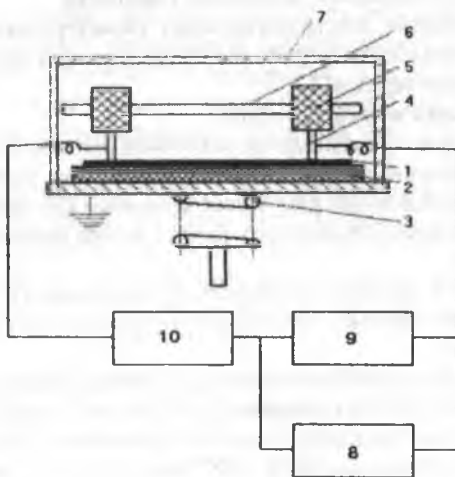


Рис.1. Схема устройства для измерения удельного электрического сопротивления.

Конструкция устройства позволяет охватить все длины резки волокон, вводимых в штапельные ткани. На рис.2 представлена зависимость $\rho = f(c)$, где c весовая доля (в %) содержания металлических волокон в ткани. Использовано волокно из нержавеющей стали, длина резки 50 ± 2 мм. Расстояние между электродами $s = 80$ мм. Уже при вложении 1% волокон удельное электросопротивление ткани по сравнению с базовой полиэфирной снижается на 8 порядков. Таким образом, для релаксации зарядов с высокими потенциалами путем растекания по поверхности ткани создаются очень благоприятные условия.

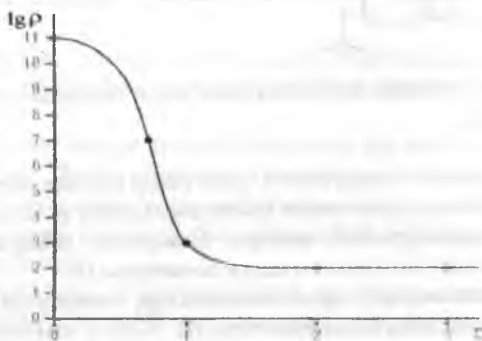


Рис.2. Зависимость электросопротивления от весовой доли (c , %) содержания металлических волокон в ткани.

Для исследования способности ткани нейтрализовать электростатические заряды коронированием необходимо знать вольт-амперные характеристики материала. Для этого нами разработано устройство, представленное на рис.3. Оно состоит из высоковольтного источника стабилизированного напряжения (0-3 кВ) 1, измерительной ячейки 2, вольтметра-электрометра 3, регистрирующего прибора 4, киловольтметра 5 и переключателя полярности 6. В источнике напряжения предусмотрена как ручная регулировка выходного напряжения, так и автоматическая временная развертка по линейному закону, длительность которой может быть 7,5; 15; 30; 60 мин. Также предусмотрен выход напряжения до 30 мВ, пропорционального выходному напряжению источника и подаваемого на вход канала горизонтальной развертки регистрирующего прибора.

Измерительная ячейка представляет собой плоский конденсатор с пластинами в форме круга (диаметр 200 мм, толщина 10 мм) и плавно скругленными краями. Зазор между пластинами регулируется от 0 до 50 мм. Пластины выполнены из алюминия и тщательно отполированы. Их фиксация в пространстве измерительной ячейки осуществляется стержневыми изоляторами из фторопласта. Корпус ячейки экранирован от промышлен-

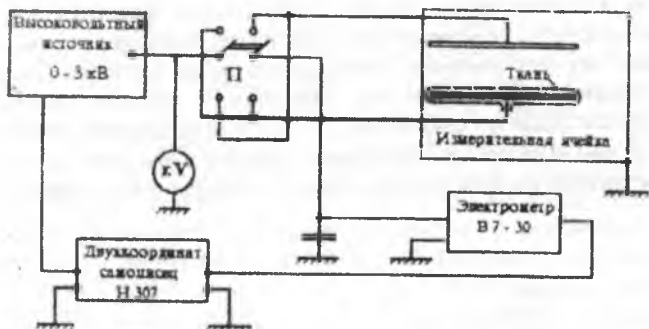


Рис.3. Схема установки для измерения вольтамперных характеристик тканых материалов.

ной сети и влияния посторонних электромагнитных полей. Он также содержит блокировку отключения высоковольтного источника при открывании дверцы экранирующей камеры. Изменение полярности напряжения обеспечивается двухполюсным переключателем П.

Ток, протекающий через конденсатор, измеряется с помощью универсального вольтметра-электрометра (В 7-30) с аналоговым выходом, к которому подключен канал вертикальной развертки регистрирующего прибора. Для уменьшения наводок вход электрометра защищен фильтром (3300 пФ). При автоматической записи вольт-амперных характеристик производится компенсация фонового постоянного тока, протекающего через измерительную ячейку в результате линейного изменения во времени приложенного напряжения. Действительно, поскольку ток, протекающий через конденсатор связан с изменением напряжения на нем соотношением $i = C (dU/dt)$, линейно изменяющееся напряжение вызывает постоянный ток. Этот ток легко компенсируется с помощью цепей компенсации входных токов, предусмотренных в электрометре В 7-30. При ручном снятии вольт-амперных характеристик цепи компенсации могут быть отключены. Однако, испытания в автоматическом режиме исключают случайные ошибки и повышают производительность и надежность измерений.

Испытываемая ткань устанавливается на одной из пластин с обеспечением плотного прилегания и исключения складок. Расстоянием между электродами устанавливается предельная напряженность поля при максимальном напряжении на пластине конденсатора. На рис.4 представлены результаты сравнительных испытаний хлопко-полиэфирной ткани без металлического волокна (кривые 1,3,5,7) и ткани с той же основой, но с дополнительным введением 2% металлического волокна (кривые 2,4,6,8) соответственно при расстоянии между электродами 20 мм (кривые 1,2), 15 мм (кривые 3,4), 10 мм (кривые 5,6), 5 мм (кривые 7,8). Сравнивая параметры коронирования обеих тканей можно видеть, что в ткани с металлическим волокном стекание заряда начинается на 0,5-0,7 кВ раньше, а ток короны

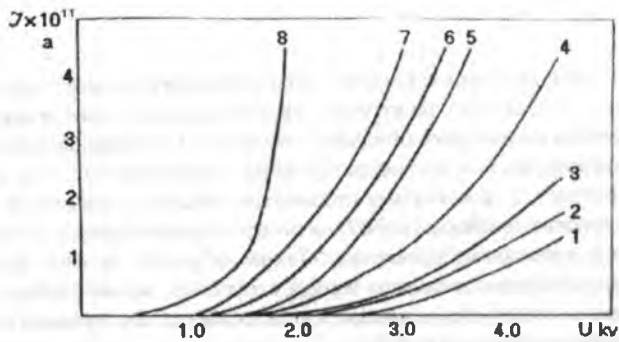


Рис.4. Вольтамперные характеристики тканей, содержащих металлические волокна (кривые 2,4,6,8) и не содержащих металла (кривые 1,3,5,7).

в 1,5 – 2 раза больше, чем на ткани без волокон для всех напряженностей электрического поля. Таким образом, эта методика позволяет сказать, что даже в самом неблагоприятном случае (кривые 1 и 2) при введении металлических волокон энергия заряда снижается с 0,94 мДж до 0,49 мДж, т.е. до безопасного значения.

Контроль кинетики релаксации заряда осуществляется нами с помощью установки, схема которой представлена на рис.5. Установка состоит из высоковольтного источника стабилизированного напряжения (2 кВ) 1, измерительной ячейки 2, статического киловольтметра 3, регистрирующего прибора 4, безконтактного преобразователя 5 движения подвижной системы статического киловольтметра в напряжение, высоковольтного контактора 6, схемы управления и блокировки 7. Конструкция измерительной

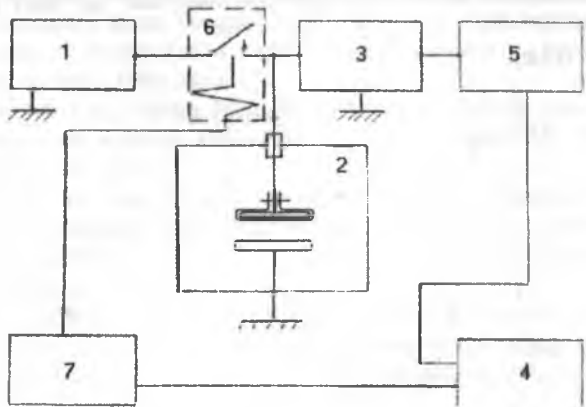


Рис.5. Схема установки для контроля кинетики релаксации заряда с ткани.

щепки 2 конструктивно повторяет измерительную камеру, представленную на рис.3. Потенциал электрода с закрепленной на нем тканью относительно второй заземленной обкладки измеряется с помощью модифицированного статического вольтметра (С-196), снабженного безконтактным преобразователем 5, к которому подключен канал вертикальной развертки регистрирующего прибора (Н-307), а по его горизонтальному каналу осуществляется временная развертка. Таким образом можно фиксировать время (τ) уменьшения величины заряда в заданное число раз или до заданной безопасной величины, которое использовать как сравнительную характеристику различных тканей.

На рис.6 приведена кинетика релаксации электростатического потенциала ($U = f(\tau)$) для полиэфирных тканей, содержащих 2% металлического волокна (кривая 1) и не содержащих его (кривая 2). Из рис.6 видно, что для релаксации заряда от 2 кВ до 1,5 кВ ткань, содержащая металлическое волокно затрачивает в 2,2 раза меньше времени, чем не содержащая его, а при снижении потенциала на ткани от 2 кВ до 1 кВ это различие достигает 6 раз. Поскольку продолжительность индукционного периода возгорания метана при температуре источника тепла 650-1000°C может сокращаться в несколько раз, методика изучения кинетики релаксации заряда дает важную информацию о пригодности материала спецодежды для безопасной работы.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Производители и пользователи ткани для спецодежды горнорудных взрывоопасных производств не имеют до настоящего времени эффективных средств аттестации материалов по накопленному статическому заряду и времени его релаксации до безопасной величины. Оценка материала только по поверхностному электросопротивлению не дает ответа на

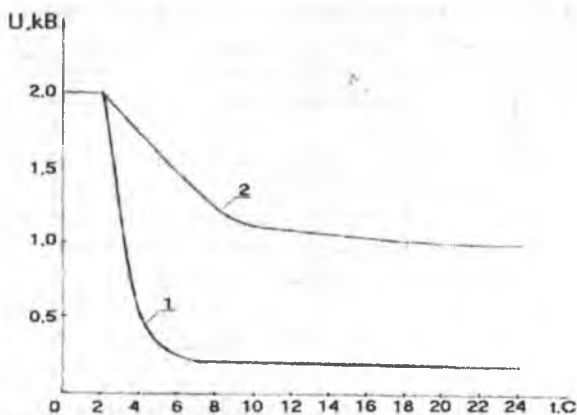


Рис.6. Кинетика релаксации электростатического потенциала с ткани.

вопрос о предельной величине потенциала электризации ткани для спецодежды и возможности ее применения на работах различной категории взрывоопасности.

2. Представленные в данной работе схемы установок и методики контроля электрофизических характеристик тканых материалов могут послужить основой для разработки комплексных методов и средств сертификации тканей для спецодежды работников взрывоопасных производств и, в первую очередь, угольных шахт, опасных по выбросам метана, а также работников предприятий, имеющих доступ к взрывчатым веществам.

3. Ткани, содержащие металлические волокна обеспечивают более эффективную защиту работников от взрывоопасных ситуаций, особенно в спецодежде, содержащей полимерные компоненты, стимулирует снижение весовых показателей одежды и улучшение условий труда.

Авторы благодарят профессора А.Д.Алексеева за интерес к работе, участие в ее обсуждении и ценные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гефтер П.Л. Электростатические явления в процессах переработки химических волокон.-М.: Легпромиздат, 1989. -270 с.
2. Швердяев О.Н. Антистатические полимерные материалы. -М.: Химия, 1983.-176 с.
3. Никитин А.А., Литош О.В., Благодаров Ю.А. и др. Механизм проводимости электропроводящих химических волокон и их электрофизические свойства. Обзор информации. Сер. "Промышленность химических волокон". -М.: НИИТЭХИМ, 1987. -69 с.
4. Металлическое волокно "Бекинок" как решение проблемы получения текстильных изделий с электропроводящими и антистатическими свойствами в целях безопасности/ Лефевр И., Тиммерман Г.-Вевегем, Бельгия, Бельгийский НТЦ текстильной промышленности "Сентексбел", 1988, -36 с.
5. Саранчук В.И., Качан В.Н. Об электростатической взрывоопасности пылевых и водных аэрозолей в угольных шахтах/ Уголь Украины, №8, 1983. -с.43-45.
6. ГОСТ 12.4.110-82. Комплекты шахтерские для защиты от механических воздействий и общих производственных загрязнений.
7. ГОСТ 18976-73. Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию.
8. ГОСТ11209-85. Ткань хлопкополиэфирная меланжевая «Горизонт».
9. DIN 54345, р.5. Elektrostatisches Verhalten. Bestimmung des elektrischen Widerstandes an Streifen aus textilen Flachengebilden .Deutsche Norm. Juli 1985.