

УДК 537.622

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИМОСТИ КОМПОЗИЦИОННОЙ НИТИ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ ШАХТЕРОВ

Сынков В.Г., Транковский Д.В. (ИФГП НАНУ)

Запропоновано структуру залежності провідності композиційної нитки, що вміщує металеві волокна, від довжини її ділянки. Ефективний коефіцієнт цієї залежності отримано завдяки обробці експериментальних даних.

RESEARCH OF CONDUCTIVITY OF COMPOSITIONAL FILAMENT FOR OVERALLS OF MINERS

Synkov V.G., Trankovskiy D.V.

The structure of dependence of conductivity of compositional filament, comprising metal fibers, from its length is proposed. Effective coefficient of this dependence is received by experimental data handling.

1. Введение.

Взрывобезопасность в угольных шахтах зависит от большого числа природных и технологических факторов, среди которых определенную роль играет статическое электричество (СЭ). Одним из источников зарядов СЭ является спецодежда шахтеров, а стремление повысить механические характеристики ткани за счет использования полимерных нитей увеличивает показатели электризации и не удовлетворяет требованиям стандарта по электростатической искробезопасности [1–3].

Введение в структуру ткани композиционной нити, содержащей наряду с полимерными металлическими волокнами, снижает величину накопленных зарядов. Однако для разработки промышленного образца такой ткани необходимо научно обосновать количество металлической фазы, ее влияние на электропроводность композиционной нити.

В работе [4] мы свели расчет проводимости тканого материала, содержащего металлические волокна, к обобщенной задаче узлов теории протекания. Обобщение состоит в том, что допускаются прямые связи между узлами, удаленными друг от друга на расстояние, не превышающее величину kD , где D – шаг сетки, k – некоторое данное целое число. При $k = 1$ задача [4] сводится к классической задаче узлов [5]. При $k > 1$ дальнедействующие связи, проходящие через поврежденные узлы, (узлы, в которых нет электрического контакта между пересекающимися нитями) снижают порог перколяции и изменяют характер зависимости проводимости системы от вероятности повреждения узла.

Следовательно, необходимо разработать алгоритм расчета проводимости участка тканого полотна основанный на обобщенной задаче узлов [4]. С этой целью решим вначале задачу, оставшуюся «за кадром» при принципи-

альном рассмотрении вопроса в работе [4] – определим зависимость проводимости участка нити от его длины.

2. Зависимость проводимости участка нити от его длины.

Электропроводность нити обусловлена наличием в ней некоторой доли проводящих металлических волокон. Последние представляют собой обрезки, длиной $l \approx 40\text{--}50$ мм, тонких (диаметром $d \approx 10\text{--}15$ мкм) металлических проволочек, распределенные вдоль нити.

Определим зависимость проводимости участка нити от его длины в следующих предположениях.

а) Все металлические волокна имеют длину l и равномерно распределены вдоль нити. Последнее означает, что любое сечение нити пересекает одно и то же число q волокон. Величина q однозначно связана с объемной долей проводящих волокон в нити.

б) Электрод, пересекающий нить контактирует с p -ой частью проводящих волокон, имеющихся в данном сечении. Т.е. в контакт с электродом вступают qp волокон.

в) Волокна в нити не контактируют друг с другом. Последнее предположение справедливо при относительно малой объемной доле проводящих волокон и означает, что отрезки металлических волокон не образуют связных цепочек.

Определим, на основе принятых допущений число волокон n_{12} , соединяющих электроды 1 и 2, расположенные на расстоянии x друг от друга.

С электродом 1 контактирует qp волокон. Из них $qpF(x)$ доходит до сечения 2, где $F(x)$ – вероятность того, что волокно доходит до сечения 2. Электроды 1 и 2 соединяют число волокон, равное

$$n_{12} = qp F(x). \quad (1)$$

Определим $F(x)$. Согласно предположению а, длина одного волокна, отсчитываемая от сечения 1, является случайной величиной, равномерно распределенной в интервале $[0, l]$. Плотность распределения этой величины – $1/l$. Следовательно, вероятность того, что длина волокна, отсчитываемая от электрода 1, больше x , определяется соотношением

$$F(x) = \int_x^l \frac{d\xi}{l} = \frac{l-x}{l}. \quad (2)$$

Очевидно, при $x > l$ $F(x) = 0$. Подставляя (2) в (1) и учитывая последнее замечание, получаем

$$n_{12} = \begin{cases} qp^2 \frac{l-x}{l}, & \text{при } 0 < x \leq l, \\ 0, & \text{при } x > l. \end{cases}$$

Обозначим проводимость единицы длины волокна через Y_0 . Тогда проводимость $Y_1(x)$ одного волокна, длиной x , равна

$$Y_1(x) = \frac{Y_0}{x}$$

Суммарная проводимость n_{12} волокон, соединяющих электроды 1 и 2, определяется соотношениями

$$Y_1(x) = \begin{cases} Y_0 qp^2 \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{l} \right) & \text{при } 0 < x \leq l, \\ 0 & \text{при } x > l. \end{cases} \quad (3)$$

Будем рассматривать полученные соотношения как структуру зависимости Y от x и найдем эффективный коэффициент $k = Y_0 qp^2$ путем обработки экспериментальных данных по определению проводимости нити.

Экспериментально исследовались нити диаметром 250 мкм из полиэфира с 7% и 30% объемным содержанием волокон из стали 03X18H9T-ВИ. Диаметр волокон 10–15 мкм, длина 40 мм. В эксперименте измерялась величина тока в цепи, образованной двумя электродами и участком нити. Расстояние между электродами варьировалось в диапазоне 10–50 мм. Напряжение между ними – 1 В. Пробные измерения при напряжениях 0,5 В и 2 В дали те же результаты по величине проводимости. Это указывает на то, что в экспериментах исключался электрический пробой между не контактирующими волокнами, т.к. при наличии такового проводимость увеличивается с ростом напряжения.

При заданном расстоянии между электродами производилось до 100 замеров, причем после каждого измерения электроды переносились на новый участок нити.

Один из основных результатов эксперимента состоит в том, что нить при 7% и 30% объемном наполнении металлическими волокнами практически не проводит электрический ток, когда расстояние между электродами превышает 40 мм (т.е. длину металлических волокон) – это обосновывает сделанное выше допущение c .

Обработка результатов эксперимента с помощью метода наименьших квадратов позволила определить эффективный коэффициент в зависимости $Y(x)$ и получить следующие соотношения для проводимости нити:

при 7% наполнении металлическими волокнами

$$Y_1(x) = \begin{cases} 0,37 \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{40} \right), \frac{1}{\text{Ом}} & \text{при } 0 < x \leq 40 \text{ мм}, \\ 0 & \text{при } x > 40 \text{ мм}. \end{cases} \quad (4)$$

при 30% наполнении металлическими волокнами

$$Y_1(x) = \begin{cases} 1,1 \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{40} \right), \frac{1}{\text{Ом}} & \text{при } 0 < x \leq 40 \text{ мм}, \\ 0 & \text{при } x > 40 \text{ мм}. \end{cases} \quad (5)$$

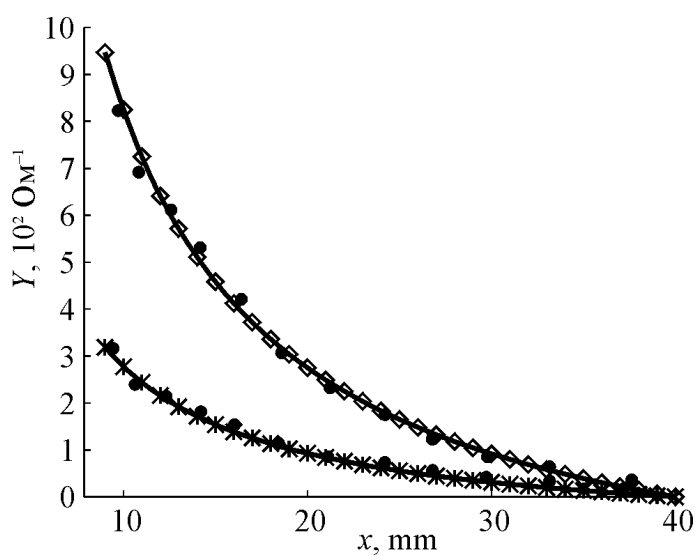


Рис. 1. Зависимость проводимости участка нити от его длины при наполнении металлическими волокнами, %: Ж – 7, \diamond – 30 (линии – расчетные данные, точки – результаты эксперимента)

На рис. 1 приведены расчетные зависимости $Y(x)$, там же нанесены результаты эксперимента (указаны средние значения проводимости).

3. Заключение.

В настоящей работе мы определили зависимость проводимости участка нити от его длины, основанный на компьютерной модели [4]; привели примеры расчетов.

В последующем мы предполагаем расширить данную работу и исследовать влияние шага расчетной сетки и параметров модели на результат численного эксперимента. Выяснить зависимость проводимости элемента полотна от его размеров. А также провести серию экспериментов подтверждающих выбранную нами модель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швердяев О.Н. Антистатические полимерные материалы. М.: Химия, 1983. – 176 с.
2. Сынков В.Г., Транковская Л.Д., Дорошев В.Д. Пути реализации современных требований к износостойкой и взрывобезопасной спецодежде шахтеров // Физико-технические проблемы горного производства. Донецк, 2003. Сборн. научн. трудов, №6, С. 138–145.
3. Алексеев А.Д., Сынков В.Г., Транковская Л.Д. Электризуемость спецодежды шахтеров и взрывобезопасность // Уголь Украины. – №11. – 2003. – С. 46–48.
4. Сынков В.Г., Транковский Д.В. Модель электрической проводимости тканых материалов, содержащих металлические волокна // Физико-технические проблемы горного производства. Донецк: ИФГП НАНУ, 2006. Сб. научн. трудов, №9, С.82–88.
5. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М.: Наука, 1979. – 416 с.