

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2026, Том 11, № 2 / 2026, Vol. 11, Iss. 2 <https://kostumologiya.ru/issue-2-2026.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/30TLKL226.pdf>

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Дориомедов, А. С. Математическое моделирование электростатического состояния волокна округлой формы / А. С. Дориомедов // Костюмология. — 2026. — Т. 11. — № 2. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/30TLKL226.pdf>.

For citation:

Doriomedov A.S. Mathematical modeling of the electrostatic state of a rounded fiber. *Journal of Clothing Science*. 2026;11(2): 30TLKL226. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/30TLKL226.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 519.87:677

Дориомедов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Доцент кафедры «Физики и высшей математики»

Кандидат технических наук

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5092-4648>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1227748

Математическое моделирование электростатического состояния волокна округлой формы

Аннотация. Для оценки электрических параметров текстильных материалов необходимо знать электрическую емкость уже на стадии проектирования материала. Задача нахождения аналитического выражения электроемкости от определяющего ее фактора — диэлектрической постоянной весьма актуальна.

Анализ структурных особенностей текстильных материалов привел к рассмотрению модели одного волокна с прилегающей оболочкой воздуха.

Автором разработана математическая модель электростатического состояния волокон округлой формы с учетом воздушной прослойки, окружающей волокна. По разработанной математической модели предложена схема исследования и прогнозирования электростатических свойств волокон.

В статье с помощью математических методов исследована функциональная зависимость электроемкости от диэлектрической проницаемости волокон округлой формы с учетом воздуха, и замечено, что важную роль в значении исследуемой функции играет соотношение полуосей волокон (растянутость волокон по вертикали или по горизонтали) и и построен график зависимости электроемкости волокна округлой формы от электрической проницаемости.

В статье рассмотрены способы аппроксимации функции электроемкости для определения значения функции с меньшей точностью в отличие от точного значения, полученного из аналитической функциональной зависимости. Представлен пример аппроксимации, получена в результате покрытия функциональной зависимости, на интервальных участках аргумента линейными функциями, обратная зависимость, которая дает возможность определения диэлектрической проницаемости по известному значению электроемкости.

На основе полученных данных предложена авторская математическая методика разработки модели электростатического состояния волокна, которая позволила разработать модель электростатического состояния волокна округлой формы с учетом воздушной прослойки для функциональной зависимости между электроемкостью волокна и коэффициентом диэлектрической проницаемости.

Ключевые слова: волокно; электроемкость; прослойка; проницаемость; зависимость; интегрирование; модель; материалы

Введение

Заряды, возникающие при электростатическом зарядении текстильных материалов, обычно не превышают $\sigma = 3 \cdot 10^{-9} \text{ К/см}^2$ [1–11]¹, при появлении более высоких зарядов изолирующая прочность воздуха нарушается, что можно проследить по возникновению зарядов рассеивания (эффект «искрения» текстильных материалов), поэтому плотность заряда не превышает указанной величины. Незначительные количества электрического заряда вызывают очень малые токи и мощности, которые в электростатике не принимаются во внимание. Силовой характеристикой поля является напряженность, то есть она определяет силовое взаимодействие между электрически заряженными телами. Понятие потенциала связано с энергетической характеристикой поля, потенциал φ зависит от геометрических соотношений и от заряда, создающего поле. Напряжение какого-либо заряженного тела, измеренное по отношению к земле, всегда пропорционально находящейся на нем величине заряда, поэтому отношение заряда к напряжению всегда постоянно, если не изменяются геометрические соотношения. Это частное C (электроемкость) зависит от геометрических величин тела, от его размеров и расположения относительно другого тела, например, земли. Если известна величина заряда и потенциал одного тела по отношению к другому, то известна также и емкость системы, образованная этими телами: заслуживает большего внимания обратная задача: если известна электроемкость системы, то можно определить частное между зарядом и разностью потенциалов, по известному потенциалу можно найти заряд и так далее. Каждая система имеет, следовательно, определенную электрическую емкость, то есть она обладает свойством принимать электрические заряды при определенном напряжении. Электроемкость какого-нибудь тела указывается по отношению к земле или по отношению к другому заземленному проводнику, имеющему потенциал земли.

Электроемкость выражает в некоторой степени вместимость системы: чем больше емкость системы, тем больше зарядов может она принять при заданном потенциале. Электроемкость играет большую роль во всей электростатике. На практике при определении электроемкости какого-либо тела по отношению к земле всегда важно имеются ли рядом заземленные проводники, которые увеличивают электрическую емкость исследуемого тела [12–15].

Для оценки электрических параметров текстильных материалов необходимо знать электрическую емкость уже на стадии проектирования материала. Задача нахождения аналитического выражения электроемкости от определяющего ее фактора — диэлектрической постоянной весьма актуальна. Заряд и его знак в значительной степени зависят от диэлектрической постоянной и обуславливаются ее влиянием, что подтверждено соответствующими аналитическими и практическими исследованиями.

В основном, мы имеем дело не с одной электрической емкостью, а с системой, внутри которой имеется несколько емкостей, соединенных друг с другом, и потому необходимо определить их общую емкость в зависимости от емкостей отдельных конденсаторов и способов их соединения.

¹ Grüner H. Untersuchungen über den Entstehungsmechanismus der elektrostatischen Aufladungen von Faserstoffen: дис. — Technische Hochschule Darmstadt [Исследования механизма возникновения электростатических зарядов в волокнистых материалах: дис. — Технический университет Дармштадта], 1953.

Математическое моделирование электростатического состояния волокна

При параллельном включении общая емкость системы равна сумме емкостей отдельных конденсаторов²:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (1)$$

При последовательном включении емкостей общая емкость системы вкладывается следующим образом:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (2)$$

При комбинации параллельных и последовательных соединений соответственно используются формулы (1) и (2).

Рассмотрим модель волокна: известно из тематической литературы по материаловедению³, что волокно в сечении может иметь форму окружности.

Ткани представляют собой различные структуры (расположение волокон, количество слоев и т. д.). Используемые текстильные материалы способны накапливать электрический заряд, то есть ведут себя подобно конденсатору. Наличие в ткани прослойки воздуха определяет модель конденсатора Е вешанного типа — «волокно — воздух», «волокно — воздух — волокно», и т. д. Анализ структурных особенностей подобных материалов привел к рассмотрению модели одного волокна с прилегающей оболочкой воздуха. Следует отметить, что существующие аналитические методы оценки электростатических свойств материалов по данным параметрам базировались на ряде существенных упрощений (например, не учитывалась в ткани прослойка воздуха), вносимых при постановке задачи или в ходе ее решения. Поэтому нередко получаемые результаты, в лучшем случае имеют характер приближенной оценки, в худшем — неправильные, по существу, и могут явиться источником глубоких заблуждений. В этой связи необходимо рассмотреть бесконечное множество различных случаев, объединенных некоторой общностью свойств. Создание обобщенной типовой математической модели электростатического состояния тканей в целом является основной чертой рассматриваемой системы исследования.

Рассмотрим модель волокна, имеющей форму окружности в поперечном сечении (рис. 1):

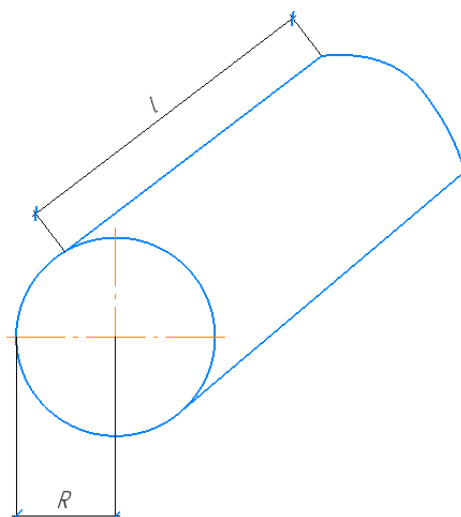
² Данко П. Е., Попов А. Г., Кожевникова Т. Я. Высшая математика в упражнениях и задачах: учебное пособие для вузов. В 2 ч. — 5-е изд., испр. — Москва: Высш. шк., 1997. — ISBN 5-06-003070-9 (в пер.). — 304 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_001770777/?ysclid=mshqtrwk1s694186643.

³ Кукин Г. Н., Соловьёв А. Н., Кобляков А. И. Текстильное материаловедение (волокна и нити): учеб. для вузов по спец. «Прядение натур. и хим. волокон» / под ред. Г. Н. Кукина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Легпромбытиздат, 1989. — 348, с. URL: <https://rgub.ru/searchopac/book.php?id=RGUB%5CBIBL%5C0000320642&ysclid=mshqydue1x812908386>.

Кукин Г. Н., Соловьёв А. Н., Кобляков А. И. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия): учебник для вузов по спец. «Технология тканей и трикотажа» / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьёв, А. И. Кобляков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Легпромбытиздат, 1992. — 271, с.: ил. — (Для вузов). — 271с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_rc_99421/?ysclid=mshqy3h823593650187.

Кобляков А. И. (ред.), Кукин Г. Н., Соловьёв А. Н. и др. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению: учеб. пособие для вузов / под ред. А. И. Коблякова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Легпромбытиздат, 1986. — 204с. URL: <https://www.libex.ru/detail/book772647.html>.

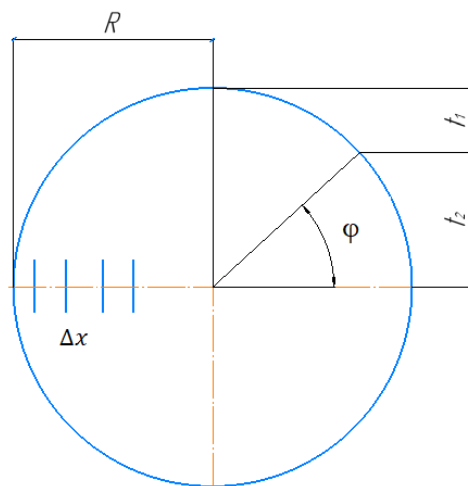
Кричевский Г. Е. Качественный и количественный анализ волокнистого состава текстильных материалов: справочник-пособие / Г. Е. Кричевский. — Москва: Рос. заоч. ин-т текстил. и лег. пром-сти, 2002. — 272, с., л. ил.: ил., схем., табл. — (Для вузов). — 273с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_001852954/?ysclid=mshr0pam2d930059589.



R — радиус нити; l — длина нити

Рисунок 1. Модель волокна (авторский рисунок)

В поперечном сечении волокно с прилегающей прослойкой воздуха можно представить в виде (рис. 2).



R — радиус волокна; t_1 — высота прослойки воздуха при текущем угле; t_2 — высота материала при текущем угле; ϕ — текущий угол, в силу симметрии рассматривается I четверть окружности

Рисунок 2. Модель волокна в поперечном сечении (авторский рисунок)

Если разбить радиус R по горизонтали на элементарные составляющие (рис. 2) $\Delta x \rightarrow 0$, а по вертикали рассмотреть суммирование t_1 и t_2 при текущем в I четверти окружности угле ϕ , то получаем последовательно-параллельное соединение плоских конденсаторов.

По вертикали, при движении по углу ϕ в первой четверти (против часовой стрелки) соединение последовательное, то есть согласно формуле (2):

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C(t_1)} + \frac{1}{C(t_2)}. \quad (3)$$

Емкость C плоского конденсатора определяется по формуле:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}, \quad (4)$$

где:

ε — диэлектрическая проницаемость среды;

ε_0 — диэлектрическая постоянная;

S — площадь пластин;

d — расстояние между обкладками.

Формула (3) в соответствии с (4) примет вид

$$\frac{1}{C} = \frac{t_1}{\varepsilon \varepsilon_0 S} + \frac{t_2}{\varepsilon \varepsilon_0 S}. \quad (5)$$

Для значения $C(t_1)$ диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 1$, для $C(t_2)$ диэлектрическая проницаемость нити(волокна) определяется в каждом конкретном случае в зависимости от выбранного материала; из рисунка 1 следует:

$$\Delta S = \Delta x l. \quad (6)$$

По аналогии рассмотрим четвертую четверть (можно рассмотреть сразу полукруг), следовательно, по вертикали при текущем угле φ расстояние между обкладками в воздушной прослойке — $2t_1$, а на площади материала — $2t_2$ при разбиении радиуса по горизонтали на элементарные составляющие $\Delta x \rightarrow 0$.

При разбиении данной системы имеем:

$$\frac{1}{\Delta C} = \frac{1}{\Delta C(t_1)} + \frac{1}{\Delta C(t_2)}. \quad (7)$$

С учетом (6) по всей вертикали при текущем угле φ формула (7) примет вид:

$$\frac{1}{\Delta C} = \frac{2t_1}{\varepsilon \varepsilon_0 \Delta x l} + \frac{2t_2}{\varepsilon \varepsilon_0 \Delta x l}. \quad (8)$$

После элементарных математических преобразований формула (8) имеет следующее выражение:

$$\Delta C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 \Delta x l}{2(\varepsilon t_1 + t_2)}. \quad (9)$$

Из рисунка 2 следует, что

$$t_2 = R \sin \varphi. \quad (10)$$

$$t_1 = R - t_2 = R(1 - \sin \varphi). \quad (11)$$

$$x = R \cos \varphi. \quad (12)$$

Продифференцируем выражение (12), оно примет вид:

$$dx = -R \sin \varphi. \quad (13)$$

По горизонтали вдоль радиуса при разбиении его на элементарные составляющие соединение участков параллельное.

Проинтегрируем выражение (9) с учетом формул (10–13) и физического смысла электроемкости²:

$$C = \int_0^{\pi/2} \frac{-l\varepsilon_0 \varepsilon R \sin \varphi d\varphi}{2(\varepsilon R(1 - \sin \varphi) + R \sin \varphi)} = \frac{l\varepsilon_0 \varepsilon}{2} \int_0^{\pi/2} \frac{\sin \varphi d\varphi}{\varepsilon - \varepsilon \sin \varphi + \sin \varphi}. \quad (14)$$

Для данного интеграла удобно будет воспользоваться универсальной тригонометрической подстановкой [3]:

$$t = \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right); \varphi = 2 \operatorname{arctg} t; d\varphi = \frac{2dt}{1+t^2}; \sin \varphi = \frac{2t}{1+t^2}.$$

Соответственно изменяются границы интегрирования t :

$$t(0) = 0; t\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1.$$

Выражение (14) примет вид:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 l}{2} \int_0^1 \frac{\frac{2t}{1+t^2} \frac{2dt}{1+t^2}}{\varepsilon - \varepsilon \frac{2t}{1+t^2} + \frac{2t}{1+t^2}}. \quad (15)$$

Приведя выражение (15) к общему знаменателю, получим

$$C = 2l\varepsilon \varepsilon_0 \int_0^1 \frac{tdt}{(1+t^2)(\varepsilon t^2 + 2(1-\varepsilon)t + \varepsilon)}. \quad (16)$$

Физическое значение коэффициента диэлектрической проницаемости исследуемых материалов $\varepsilon > 1$, исследуем корни выражения:

$$\varepsilon t^2 + 2(1-\varepsilon)t + \varepsilon = 0$$

$$D = 4(1-\varepsilon)^2 - 4\varepsilon^2 = 4 - 8\varepsilon^2 < 0.$$

Исследуемое выражение имеет комплексные корни. Корни выражения

$$1+t^2=0.$$

тоже комплексные.

Решение выражения (16) проведем методом неопределенных коэффициентов⁴, подынтегральное выражение представим суммой двух дробей

$$\frac{t}{(1+t^2)(\varepsilon t^2 + 2(1-\varepsilon)t + \varepsilon)} = \frac{At + B}{1+t^2} + \frac{Ct + D}{\varepsilon t^2 + 2(1-\varepsilon)t + \varepsilon}. \quad (17)$$

Приведем правую часть выражения (17) к общему знаменателю:

$$\frac{At + B}{1+t^2} + \frac{Ct + D}{\varepsilon t^2 + 2(1-\varepsilon)t + \varepsilon} = \frac{At^3\varepsilon + 2A((1-\varepsilon)t^2 + At\varepsilon + Bt^2\varepsilon + 2B((1-\varepsilon)t + B\varepsilon + Ct + D + Ct^3 + Dt^2)}{(1+t^2)(\varepsilon t^2 + 2(1-\varepsilon)t + \varepsilon)}$$

$$t^3 : A\varepsilon + C = 0$$

$$t^2 : 2A((1-\varepsilon) + B\varepsilon + D = 0$$

$$t : A\varepsilon + 2B((1-\varepsilon) + C = 1$$

$$t^0 : B\varepsilon + D = 0$$

⁴ Кричевский Г. Е. Качественный и количественный анализ волокнистого состава текстильных материалов: справочник-пособие / Г. Е. Кричевский. — Москва: Рос. заоч. ин-т текстил. и лег. пром-сти, 2002. — 272, с., л. ил.: ил., схем., табл. — (Для вузов). — 273 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_001852954/?ysclid=mshr0pa m2d930059589.

Решим данную линейную систему уравнений методом Крамера⁴, находим значения неизвестных коэффициентов A, B, C, D :

$$A = 0; B = \frac{1}{2(1-\varepsilon)}; C = 0; D = \frac{-\varepsilon}{2(1-\varepsilon)}. \quad (18)$$

Сделаем проверку:

$$\frac{0t + \frac{1}{2(1-\varepsilon)}}{1+t^2} + \frac{0t - \frac{\varepsilon}{2(1-\varepsilon)}}{\varepsilon^2 + 2(1-\varepsilon)t + \varepsilon} = \frac{\varepsilon t^2 + 2(1-\varepsilon)t + \varepsilon - \varepsilon - \varepsilon t^2}{2(1-\varepsilon)(1+t^2)(\varepsilon^2 + 2(1-\varepsilon)t + \varepsilon)} = \frac{t}{(1+t^2)(\varepsilon^2 + 2(1-\varepsilon)t + \varepsilon)}.$$

Действительно, мы вернулись к выражению (17), интеграл (16) теперь запишем в виде:

$$\begin{aligned} C &= 2l\varepsilon\varepsilon_0 \left(\int_0^1 \frac{dt}{(1+t^2)2(1-\varepsilon)} - \int_0^1 \frac{\varepsilon dt}{(1-\varepsilon)(\varepsilon^2 + 2(1-\varepsilon)t + \varepsilon)} \right) = \\ &= \frac{l\varepsilon\varepsilon_0}{(\varepsilon-1)} \left(-\operatorname{arctg}(t) \Big|_0^1 + \int_0^1 \frac{dt}{\left(t^2 + 2\left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)t + \left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)^2 - \left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)^2 + 1\right)} \right) = \\ &= \frac{l\varepsilon\varepsilon_0}{(\varepsilon-1)} \left(\frac{-\pi}{4} + \int_0^1 \frac{d\left(t + \left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)\right)}{\left(t + \left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)\right)^2 - \left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)^2 - \frac{1}{\varepsilon^2} + \frac{2}{\varepsilon}} \right) = \\ &= \frac{l\varepsilon\varepsilon_0}{(\varepsilon-1)} \left(\frac{-\pi}{4} + \int_0^1 \frac{d\left(t + \left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)\right)}{\left(t + \left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2\varepsilon-1}}{\varepsilon}\right)^2} \right) = \\ &= \frac{l\varepsilon\varepsilon_0}{(\varepsilon-1)} \left(\frac{-\pi}{4} + \frac{\varepsilon}{\sqrt{2\varepsilon-1}} \operatorname{arctg} \left(\frac{\left(t + \left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)\right)\varepsilon}{\sqrt{2\varepsilon-1}} \right) \Big|_0^1 \right) = \\ &= \frac{l\varepsilon\varepsilon_0}{(\varepsilon-1)} \left(\frac{-\pi}{4} + \frac{\varepsilon}{\sqrt{2\varepsilon-1}} \left(\operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2\varepsilon-1}} - \operatorname{arctg} \frac{1-\varepsilon}{\sqrt{2\varepsilon-1}} \right) \right) = \\ &= \frac{l\varepsilon\varepsilon_0}{(\varepsilon-1)} \left(\frac{-\pi}{4} + \frac{\varepsilon}{\sqrt{2\varepsilon-1}} \left(\operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2\varepsilon-1}} + \operatorname{arctg} \frac{\varepsilon-1}{\sqrt{2\varepsilon-1}} \right) \right). \end{aligned}$$

Емкость 0,5 рассматриваемой системы, следовательно, выражается формулой

$$C = \frac{l\varepsilon\varepsilon_0}{(\varepsilon-1)} \left(\frac{-\pi}{4} + \frac{\varepsilon}{\sqrt{2\varepsilon-1}} \left(\operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2\varepsilon-1}} + \operatorname{arctg} \frac{\varepsilon-1}{\sqrt{2\varepsilon-1}} \right) \right). \quad (19)$$

Емкость всей системы волокно-воздух, где волокно имеет округлую форму, функционально зависит от диэлектрической проницаемости материала, длины волокна и выражается следующим образом:

$$C = \frac{l\epsilon\epsilon_0}{(\epsilon-1)} \left(\frac{\epsilon}{\sqrt{2\epsilon-1}} \left(\operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2\epsilon-1}} + \operatorname{arctg} \frac{\epsilon-1}{\sqrt{2\epsilon-1}} - \frac{\pi}{4} \right) \right). \quad (20)$$

Выражение (20) можно записать в виде:

$$C = lkC^*. \quad (21)$$

где:

l — длина волокна;

$k = 2\epsilon_0$;

$$C^* = \left(\frac{\epsilon}{\epsilon-1} \right) \left(\frac{\epsilon}{\sqrt{2\epsilon-1}} \left(\operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{2\epsilon-1}} + \operatorname{arctg} \frac{\epsilon-1}{\sqrt{2\epsilon-1}} - \frac{\pi}{4} \right) \right). \quad (22)$$

Расчет физической размерности электроемкости волокна из полученных формул (20) или (21) показал, что физические размерности совпадают:

$$\left[\frac{\Phi}{m} = \Phi \right].$$

из (22) следует, что $C^*(\epsilon)$ так же, как ϵ , — величина безразмерная, что не противоречит (20) и (22).

Значения функции C^* можно найти по формуле (22) с любым шагом, зная значения C^* при соответствующем коэффициенте диэлектрической проницаемости, длины волокна, по формуле (21) вычисляется значение электроемкости волокна. Значения функции C^* с шагом $h = 0,1$ для значений диэлектрической проницаемости представлены в таблице 1.

Таблица 1

Расчетная электроемкость $C^*(\Phi)$ волокна округлой формы при различной диэлектрической проницаемости ϵ

ϵ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$C^*(\Phi)$	0,54	0,85	1,14	1,39	1,62	1,83	2,03	2,22	2,39	2,56	2,72	2,87	3,02	3,16	3,31
ϵ	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$C^*(\Phi)$	3,43	3,56	3,69	3,82	3,93	4,05	4,17	4,28	4,39	4,51	4,61	4,71	4,81	5,01	5,11

Составлено автором

Из источника⁴ следует, что текстильные материалы имеют значения коэффициента диэлектрической проницаемости $\epsilon > 1$.

Значениям коэффициента диэлектрической проницаемости при различной частоте тока и различной влажности приведены в таблице 2 и могут быть использованы при расчете электроемкости.

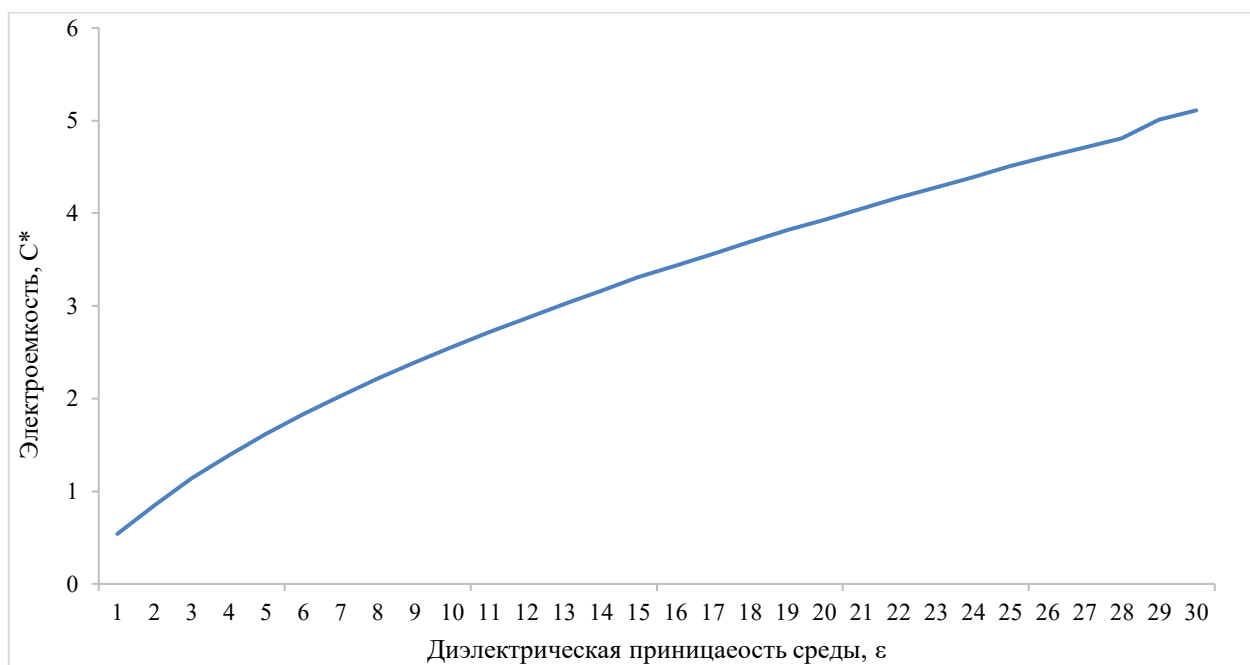
Полученная в результате аналитического исследования функция легко аппроксимируется, на рисунке 3 можно заметить, что поведение функции на участках, определенных по параметру ϵ как зона текстильных материалов, подобно поведению радикальной функции, но если подвергнуть функцию более грубой аппроксимации на выделенных участках по ϵ , то функциональную зависимость $C(\epsilon)$ представить в виде линейной функциональной зависимости, которая приближается по значениям к функции $C(\epsilon)$.

Таблица 2

**Расчетная относительная диэлектрическая проницаемость
 ε при различной относительной влажности воздуха и частоте тока**

Нить, пряжа	Влажность воздуха, %	Коэффициент диэлектрической проницаемости при частоте тока, кГц			
		0,1	1	10	100
Хлопок, пряжа	0	3,3	3,2	3,1	3,0
	45	11,7	7,1	5,3	4,4
	65	51	18	9,4	6,0
Вискоза, пряжа	0	3,8	3,6	3,5	3,5
	45	6,9	5,4	5,0	4,7
	65	17	8,4	6,0	5,3
Вискоза, нить	65	27	15	8,9	7,1
Ацетат, пряжа	0	2,6	2,6	2,5	2,5
	45	3,1	3,0	3,0	2,9
	65	3,7	3,5	3,4	3,3
Нейлон, пряжа	0	2,6	2,5	2,5	2,4
	45	3,5	3,0	2,8	2,6
	65	4,3	3,7	3,3	2,9
Нейлон, нить	65	4,5	4,0	3,6	3,2
Шерсть, пряжа	0	2,8	2,7	2,7	2,6
	45	3,8	3,5	3,4	3,3
	65	7,4	5,5	4,9	4,6
Орлон, пряжа	0	3,4	2,8	2,5	2,3
	45	4	3,3	2,8	2,5
	65	5,7	4,2	3,3	2,8
Стекло, нить	0	2,8	2,7	2,7	2,5

Составлено автором



**Рисунок 3. Функциональная зависимость электроемкости
волокна, диэлектрической проницаемости (авторский рисунок)**

Такая аппроксимация нужна при менее детальном подходе к изучению электростатических свойств исследуемого текстильного материала, когда есть необходимость в приблизительных данных по значению электроемкости, вычисления в данном случае примитивны в арифметическом смысле, но несут приблизительный характер значений.

Заключение

Разработана математическая модель электростатического состояния волокон округлой формы с учетом воздушной прослойки, окружающей волокна.

Решена задача нахождения электрической емкости волокон, имеющих в поперечном сечении круг, с учетом воздушной прослойки, получена функциональная зависимость электроемкости данного вида волокон от диэлектрической проницаемости волокон.

По разработанной математической методике определения электростатического состояния волокон предложена схема исследования и прогнозирования электростатических свойств волокон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черунова, И. В. Специализированное программное обеспечение для расчета параметров конструкции теплозащитной одежды / И. В. Черунова // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Информационные системы и технологии. — 2006. — № 1-2. — С. 235–238. — EDN KATXVL.
2. Ballou, J.W. Static Electricity in Textiles // Textile Research Journal. — 1954. — Vol. 24, No. 2. — P. 146–155.
3. Lobel, W. Elektrostatische Prüfverfahren. Faserforschung und Textiltechnik [Методы электростатических испытаний. Исследования волокон и текстильная техника]. — 1962. — Bd. 13. — S. 214.
4. Winogradoff, N. (1957). On the Electrostatic Properties of Textiles. Journal of the Textile Institute [Об электростатических свойствах текстиля. Журнал текстильного института], 48, p. 153.
5. Mah, T., Investigation of the Contribution of Garment Design to Thermal Protection. Part 1: Characterizing Air Gaps using Three-dimensional Body Scanning for Women's Protective Clothing / T. Mah, G. Son // Textile Research Journal. — 2010. — Vol. 80. — pp. 1317–1329. DOI: 10.1177/0040517509358795.
6. Абрамов, А. В. Численные методы в оценке и прогнозировании качества теплозащитной одежды: монография / А. В. Абрамов, М. В. Родичева, Ю. С. Шустов; М.: ИНФРА-М. — 2023. — 217 с. eLIBRARY ID: 49703802 EDN: KKGSDK.
7. Гришина Т. Ф., Вигдорчик Н. Е., Козьминская А. И. Влияние влажности воздуха на электрические свойства тканей // Сб. Защита от вредного воздействия статического электричества в народном хозяйстве. Тез.докл. IV научн. техн. конф. (Северодонецк — 1989) — Черкасы: НИИТБХП, 1989 — с. 31–32.
8. Чкалова О. В., Гефтер П. Л. Оценка электростатических свойств электропроводящих нитей // Текстильная промышленность. — 1990, № 5, с. 68–69. eLIBRARY ID: 30120357 EDN: ZJDFKR.
9. Дроздов Н. Г. Статическое электричество в промышленности / Н. Г. Дроздов, д-р техн. наук. — Москва; Ленинград: Госэнергоиздат, 1949. — 176 с.: 87 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005791045?ysclid=mshqoely1d620818414>.
10. Мхитарян В. С. Статистические методы в управлении качеством продукции / В. С. Мхитарян. — Москва: Финансы и статистика, 1982. — 119 с.: ил. —

- (Математическая статистика для экономистов). — 119 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_001111806/?ysclid=mshqqokl1i568962062.
11. Hearle, J.S. The Behaviour of an Air-Fibre Mixture / J.S. Hearle // Journal of the Textile Institute. — 1963. — Vol. 44. — P. T117.
 12. Усенбеков, Ж. Расчет теплозащитных параметров пакетов одежды методом имитационного моделирования (методом Монте-Карло) / Ж. Усенбеков, С.К. Нурбай, Б. Х. Сеитов // Вестник Алматинского технологического университета. — 2024. — № 2. — С. 197–206. — DOI 10.48184/2304-568X-2024-2-197-206. — EDN RZLZNZ.
 13. Абрамов, А. В. Новый метод зонального расчета для оценки качества теплозащитной одежды / А. В. Абрамов, К. М. Смолянинов, М. В. Родичева // Костюмология. — 2024. — Т. 9, № 1. — С. 14. — EDN GVQSQO.
 14. Добровольская, Т. А. Автоматизация расчета теплозащитной одежды при формировании структуры пакета материалов / Т. А. Добровольская // Костюмология. — 2019. — Т. 4, № 2. — С. 7. — EDN AXBJFJ.
 15. Оценка среднего времени прохождения теплового потока через многослойные текстильные и швейные изделия / А. С. Горшков, А. Г. Макаров, А. А. Романова, П. П. Рымкевич // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. — 2011. — Т. 14, № 4. — С. 44–45. — EDN OZAVGX.

Doriomedov Aleksandr Sergeevich

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5092-4648>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1227748

Mathematical modeling of the electrostatic state of a rounded fiber

Abstract. To assess the electrical parameters of textile materials, it is necessary to know the electrical capacitance at the design stage of the material. The task of finding an analytical expression for the electrical capacitance based on its defining factor, the dielectric constant, is highly relevant. The analysis of the structural features of textile materials led to the consideration of a single fiber model with an adjacent air shell. The author has developed a mathematical model of the electrostatic state of rounded fibers, taking into account the air layer surrounding the fibers. Based on this mathematical model, a scheme for studying and predicting the electrostatic properties of fibers has been proposed. In the article, using mathematical methods, the functional dependence of the electrocapacity on the dielectric permeability of round-shaped fibers, taking into account the air, is investigated, and it is noted that the ratio of the semi-axes of the fibers (the stretching of the fibers vertically or horizontally) plays an important role in the value of the function under study. A graph of the dependence of the electrocapacity of a round-shaped fiber on the dielectric permeability is constructed. The article discusses methods for approximating the electrocapacity function to determine the value of the function with lower accuracy compared to the exact value obtained from the analytical functional dependence. An example of approximation is presented, obtained as a result of covering the functional dependence on the interval sections of the argument with linear functions, the inverse dependence, which makes it possible to determine the dielectric constant by the known value of the electrocapacity. Based on the data obtained, the author's mathematical technique for developing a model of the electrostatic state of the fiber is proposed, which made it possible to develop a model of the electrostatic state of the fiber of a rounded shape, taking into account the air layer for the functional dependence between the electrocapacity of the fiber and the coefficient of the dielectric constant.

Keywords: fiber; electric capacity; layer; permeability; dependence; integration; model; materials