

# ТЕХНОЛОГИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И СОВРЕМЕННЫЙ МАТЕРИАЛЫ

Научная статья

УДК 677.054.847.82

EDN VJUMGC

doi 10.34216/2587-6147-2023-4-62-5-9

**Павел Николаевич Рудовский**<sup>1</sup>

**Сергей Владимирович Палочкин**<sup>2</sup>

**Светлана Геннадьевна Смирнова**<sup>3</sup>

**Татьяна Леонидовна Фефелова**<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup> Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Россия

<sup>4</sup> Камышинский технологический институт (филиал Волгоградского государственного технического университета), г. Камышин, Россия

<sup>1</sup> pavel\_rudovsky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8675-2910>

<sup>2</sup> palnigs@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6192-0243>

<sup>3</sup> SW\_Smirnova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0029-497X>

<sup>4</sup> fefelova@kti.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3466-0010>

## ОБОСНОВАНИЕ ШАГА ОБВИВКИ НИТИ МИКРОПРОВОДОМ ДЛЯ ИСКЛЮЧЕНИЯ ЕГО РАЗРЫВА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ КОМПЛЕКСНОЙ НИТИ

**Аннотация.** Установлено, что оборванные концы микропровода, входящего в состав ткани для защиты от электромагнитных излучений, вызывают раздражение на коже и не позволяют применять ткань для одежного ассортимента. Проведен теоретический анализ поведения обвивочного компонента при растяжении комплексной нити для двух предельных случаев. В первом случае рассмотрен стержневой компонент абсолютно гибкий, а во втором – стержневой компонент абсолютно жесткий. Получены значения критического угла обвивки, при котором относительные деформации стержневого компонента и обвивки равны. При углах обвивки, больших критического, обвивочный компонент будет разрываться позже стержневого, т. е. в ткани, полученной из пряжи с обвивкой, уложенной под углом больше критического, разрыв микропровода происходить не будет. Это позволит исключить выход оборванных концов микропровода на поверхность ткани и связанные с этим дефекты. Значение шага обвивки для практического применения лежит в диапазоне между рассчитанными для двух указанных предельных случаев и должно определяться экспериментально.

**Ключевые слова:** комплексная нить, стержневой компонент, обвивочный компонент, угол обвивки, деформация обвивки, деформация компонентов, растяжение

**Для цитирования:** Обоснование шага обвивки нити микропроводом для исключения его разрыва, при растяжении комплексной нити / П. Н. Рудовский, С. В. Палочкин, С. Г. Смирнова, Т. Л. Фефелова // Технологии и качество. 2023. № 4(62). С. 5–9. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-4-62-5-9>.

Original article

**Pavel N. Rudovsky**<sup>1</sup>

**Sergey V. Palochkin**<sup>2</sup>

**Svetlana G. Smirnova**<sup>3</sup>

**Tatyana L. Fefelova**<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup> Kostroma State University, Kostroma, Russia

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Kamyshin Technological Institute (branch of Volgograd State Technical University), Kamyshin, Russia

---

© Рудовский П. Н., Палочкин С. В., Смирнова С. Г., Фефелова Т. Л., 2023

## JUSTIFICATION OF THE STEP OF WRAPPING THE THREAD WITH A MICROWIRE TO AVOID ITS BREAKING WHEN THE COMPLEX THREAD IS STRETCHED.

**Abstract.** It has been established that the broken ends of the microwire included in the fabric for protection against electromagnetic radiation cause irritation on the skin and do not allow the fabric to be used for clothing. A theoretical analysis of the behaviour of the upholstery component when stretching a filament thread is carried out for two limiting cases. The first – the rod component is absolutely flexible, the second – the rod component is absolutely rigid. The values of the critical angle of the wrapping, at which the relative deformations of the rod component and the wrapping are equal, are obtained. At wrapping angles greater than the critical value, the wrapping component will break later than the rod component. Those, in fabric made from yarn with a wrap laid at an angle greater than the critical one, microwire rupture will not occur. This will prevent the broken ends of the microwire from reaching the surface of the fabric and the associated defects. The value of the wrapping pitch for practical use lies in the range between those calculated for the two specified limiting cases and must be determined experimentally.

**Keywords:** complex thread, core component, wrapping component, wrapping angle, wrapping deformation, component deformation, expansion

**For citation:** Rudovsky P. N., Palochkin S. V., Smirnova S. G., Fefelova T. L. Justification of the step of wrapping the thread with a microwire to avoid its breaking when the complex thread is stretched. *Technologies & Quality*. 2023. No 4(62). P. 5–9. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-4-62-5-9>.

Для снижения негативного влияния на организм человека электромагнитного излучения предложена ткань [1], формируемая из комплексных нитей, одним из компонентов которой служит микропровод [2]. Основным компонентом таких нитей является хлопчатобумажная пряжа с линейной плотностью 50 текс. Для обеспечения надежного соединения таких разнородных компонентов, как х/б пряжа и микропровод, они обвиваются полиэфирной нитью 7,6 текс [3]. Микропровод представляет собой сердечник из ферромагнитного материала в стеклянной изоляции. Нить из такого материала имеет существенно меньшее разрывное удлинение по сравнению с хлопчатобумажной и тем более химическими нитями [4]. Это приводит к тому, что при растяжении комплексной нити в процессе ткачества или других технологических операций разрыв микропровода происходит при небольших деформациях, вполне допустимых для других ее компонентов. Концы оборванного микропровода выходят на поверхность ткани, делая ее непригодной для одежного ассортимента, так как жесткие острые концы микропровода вызывают раздражение на коже. Устранить это негативное явление можно за счет размещения микропровода на поверхности комплексной нити в виде обвивки, если выбрать шаг обвивки таким образом, чтобы при достижении основным компонентом разрывного удлинения обвивочный компонент полностью не распрямлялся и его разрыв наступал позже разрыва основного компонента.

Оценим шаг обвивки, при котором обвивочный компонент разрывается после разрыва стержневого компонента. Здесь возможны два предельных случая.

1. Основной (стержневой) компонент не имеет жесткости на изгиб, т. е. абсолютно гибкий. Схема деформации комплексной нити в этом случае показана на рис. 1.

Длина обвивочной нити на одном шаге обвивки

$$L = \sqrt{\pi^2 d^2 + t^2}, \quad (1)$$

где  $t$  – шаг обвивки;  
 $d$  – диаметр нити.

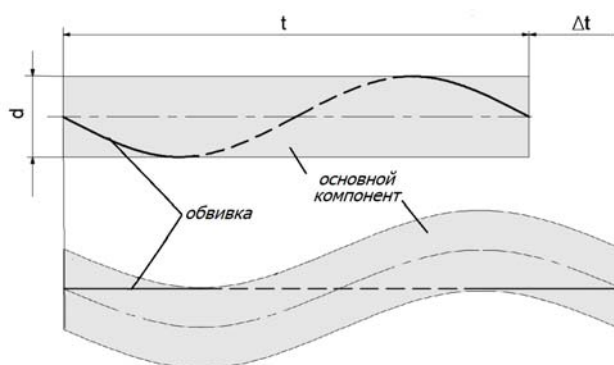


Рис. 1. Схема деформации комплексной нити с абсолютно гибким сердечником

Относительное удлинение нити до распрямления обвивочного компонента

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{нит}} &= \frac{\sqrt{\pi^2 d^2 + t^2} - t}{t} = \\ &= \sqrt{\frac{\pi^2 d^2}{t^2} + 1} - 1.\end{aligned}\quad (2)$$

Если это относительное удлинение будет меньше разрывного относительного удлинения нити, то при дальнейшей деформации нити будет натягиваться сердечник вместе с обвивкой. Поскольку жесткость обвивки многократно превосходит жесткость сердечника, это приведет к обрыву обвивки. То есть для предотвращения преждевременного разрыва обвивки эта величина должна быть меньше относительного разрывного удлинения  $\varepsilon_{\text{нит.разр}}$ :

$$\varepsilon_{\text{нит}} \leq \varepsilon_{\text{нит.разр}}.\quad (3)$$

После подстановки (2) в (3) получим

$$\sqrt{\frac{\pi^2 d^2}{t^2} + 1} - 1 \leq \varepsilon_{\text{нит.разр}}.\quad (4)$$

Отсюда можно найти максимальный шаг обвивки, при котором обвивочный компонент будет разрываться первым:

$$t = \frac{\pi d}{\sqrt{(\varepsilon_{\text{нит.разр}} + 1)^2 - 1}}.\quad (5)$$

Разрывное удлинение хлопкового волокна составляет  $\varepsilon_{\text{нит.разр}} = 7 \dots 8 \%$ . Условный диаметр пряжи  $d$ , мм можно рассчитать [5] по формуле

$$d = 0,0357 \sqrt{\frac{T}{\delta}},\quad (6)$$

где  $T$  – линейная плотность пряжи, текс;  
 $\delta$  – удельная плотность материала пряжи,  
 $\delta = 0,4 \text{ мг/мм}^3$ .

На основании формулы (6) условный диаметр хлопчатобумажной пряжи линейной плотностью 50 текс равен  $d = 0,4$  мм. Тогда максимальный шаг обвивки, при котором обвивочный компонент разорвется первым, будет  $t = 7,548$  мм, т. е. при обвивке, составляющей 133 кр./м.

2. Основной (стержневой) компонент абсолютно жесткий на изгиб. Схема деформации комплексной нити в этом случае показана на рис. 2.

Развертка витка показана на рис. 3.

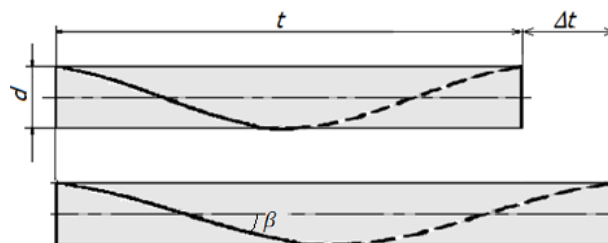


Рис. 2. Схема деформации комплексной нити с абсолютно жестким сердечником

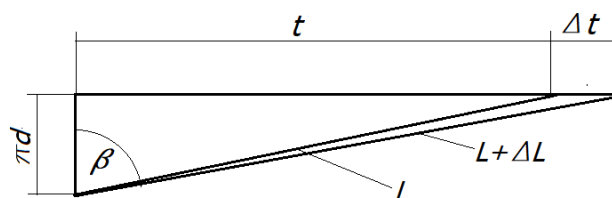


Рис. 3. Развертка витка обвивки

Из рис. 3 видно, что длина обвивки до деформации нити, приходящаяся на один шаг, определяется по формуле (1). После деформации эта длина будет

$$L + \Delta L = \sqrt{\pi^2 d^2 + (t + \Delta t)^2}.\quad (7)$$

Возведем обе части равенства в квадрат и после преобразований получим

$$L \Delta L = t \Delta t.\quad (8)$$

Или, учитывая, что  $\frac{t}{L} = \cos \beta$ ,

$$\Delta L = \Delta t \cos \beta.\quad (9)$$

Перейдем к относительным деформациям, учитывая, что

$$\Delta L = L \varepsilon_{\text{обв}}, \text{ а } \Delta t = t \varepsilon_{\text{серд}},\quad (10)$$

где  $\varepsilon_{\text{обв}}$ ,  $\varepsilon_{\text{серд}}$  – относительные деформации, соответственно, обвивки и сердечника.

Подставляя (10) в (9), получим

$$\varepsilon_{\text{обв}} = \frac{t}{L} \varepsilon_{\text{серд}} \cos \beta$$

или

$$\varepsilon_{\text{обв}} = \varepsilon_{\text{серд}} \cos^2 \beta. \quad (11)$$

Отсюда можно определить угол обвивки

$$\beta = \arccos \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{обв}}}{\varepsilon_{\text{серд}}}}. \quad (12)$$

Если вместо соответствующих относительных деформаций подставить их значения в момент разрыва, то мы получим критические значения угла обвивки, при котором разрыв обвивки и сердечника будут происходить одновременно:

$$\beta_k = \arccos \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{обв.разр}}}{\varepsilon_{\text{серд.разр}}}}. \quad (13)$$

Принимая разрывное удлинение хлопкового волокна  $\varepsilon_{\text{нит.разр}} = 7 \dots 8 \%$ , а микропровода  $\varepsilon_{\text{обв.разр}} = 2 \%$ , получим критическое значение угла  $\beta_k = 57,6^\circ$ . При углах обвивки больше критического обвивочный компонент будет разрываться позже стержневого.

Зная угол обвивки и диаметр пряжи, можно рассчитать шаг обвивки и крутку обвивочного компонента. Для хлопчатобумажной пряжи они составляют  $t = 1,99$  мм и  $K = 500$  кр./м.

В ткани, полученной из пряжи с обвивкой, которая уложена под углом  $\beta > \beta_k$ , разрыв мик-

ропровода происходить не будет. Это позволит исключить выход оборванных концов микропровода на поверхность ткани и связанные с этим дефекты.

Значения крутки, полученные в предположении абсолютной гибкости и абсолютной жесткости сердечника, являются предельными случаями. Очевидно, что реальное значение критического угла  $\beta_k$  расположено между двумя этими значениями. Для расчета критического угла в реальных условиях необходимо знать жесткость стержневого компонента на изгиб [6], которая зависит от целого ряда трудно учитываемых параметров: жесткости на изгиб волокна, линейной плотности волокна, штапельной диаграммы, крутки стержневого компонента и др. Поэтому определение критического значения угла обвивки целесообразно проводить экспериментально.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что оборванные концы микропровода, входящего в состав ткани для защиты от электромагнитных излучений, вызывают раздражение на коже и не позволяют применять ткань для одежного ассортимента.

2. Получены значения максимального шага обвивки, при котором разрыв обвивочного компонента наступает позже разрыва стержневой нити, для двух предельных случаев жесткости стержневой нити на изгиб: для абсолютно гибкой и абсолютно жесткой нити.

3. Значение шага обвивки для практического применения лежит в указанном диапазоне и должно определяться экспериментально.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Патент РФ № 2411315. Ткань для защиты от электромагнитных излучений : D03D 15/00, B82B 1/0  
Опубликовано: 10.02.2011 Бюл. № 4 / Грищенко В. А., Владимиров Д. Н., Фукина В. А., Хандогина Е. Н., Шаповалова Е. И.
2. Фукина О. В., Хейло С. В. Разработка нитей для производства защитных тканей от электромагнитных излучений // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3. С. 75–79.
3. Анализ текстильных материалов, используемых для защиты от электромагнитного излучения / Т. Л. Фефелова, Л. Б. Трифонова, Г. Г. Сокова, С. Ю. Бойко // Технологии и качество. 2022. № 3(57). С. 30–33.
4. Комбинированные нити с ферромагнитным стержнем, их структура и перспективы использования / С. Ю. Бойко, Т. Л. Фефелова, Л. Б. Трифонова, Г. Г. Сокова, П. Н. Рудовский // Технологии и качество. 2023. № 2(60). С. 30–35.
5. Кукин Г. Н., Соловьев А. Н. Текстильное материаловедение. Ч. 2. М. : Легкая индустрия, 1964. 380 с.
6. Палочкин С. В. Технология формирования и переработки некрученной обвитой льняной ровницы. М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2002. 212 с.

## REFERENCES

1. Grishchenkova V. A., Vladimirov D. N., Fukina V. A., Khandogina E. N., Shapovalova E. I. Fabric for protection against electromagnetic radiation. Pat. RU 2411315, D03D 15/00, B82B 1/0 Published: 02/10/2011 Bulletin No. 4 (In Russ.)
2. Fukina O. V., Kheylo S. V. Development of thread for the electromagnetic radiation protection fabrics. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2019;53:75–79. (In Russ.)
3. Fefelova T. L., Trifonova L. B., Sokova G. G., Boyko S. Yu. Analysis of textile materials used for protection against electromagnetic radiation. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies and Quality]. 2022;3(57):30–33. (In Russ.)
4. Boyko S. Yu., Fefelova T. L., Trifonova L. B., Sokova G. G., Rudovsky P. N. Combined filaments with a ferromagnetic rod, their structure and prospects for use. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies and Quality]. 2023;2(60):30–35. (In Russ.)
5. Kukin G. N., Solov'ev A. N. Textile materials science. Part 2. Moscow, Legkaya industriya Publ., 1964. 380 p. (In Russ.)
6. Palochkin S. V. Technology of formation and processing of untwisted wrapped linen roving. Moscow, Kosygin Rus. St. Univ. Publ., 2002. 212 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 20.10.2023  
Принята к публикации 22.11.2023