

УДК 677.017:621.3

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ПРЯЖИ БОЛЬШОЙ ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ ДЛЯ КОВРОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Е.Г. Замостоцкий, П.А. Костин, А.Г. Коган

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

Кафедрой прядения натуральных и химических волокон (ПНХВ) ВГТУ в условиях ОАО «Витебские ковры» разработана новая технология получения комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности на модернизированной тростильно-крутильной машине ТК-176-2. Данная пряжа состоит из четырех компонентов (одиночная трехкомпонентная пряжа состава шерсть + капрон + нитрон линейной плотностью  $T = 160$  текс и медная микропроволока  $T = 18$  текс), скрученных между собой на тростильно-крутильной машине.

Специфика разработанного процесса формирования комбинированной электропроводящей пряжи на тростильно-крутильных машинах ТК-176-2 вызвала необходимость теоретического изучения ее свойств.

Одной из особенностей комбинированной электропроводящей пряжи (КЭПП), получаемой на тростильно-крутильных машинах ТК-176-2, является ее структура, которая определяет ее физико-механические, электрофизические и эксплуатационные свойства. Состав (в %) комбинированной электропроводящей пряжи линейной плотностью 500 текс (160.3 + 18 текс) представлен ниже:

Шерстяное волокно	53.4
Полиакрилонитрильное волокно	37
Полиамидное волокно	6
Медная микропроволока	3.6

Диаметр комбинированной электропроводящей пряжи определяется по формуле [2]

$$D_{\text{комб.пр}} = 0.04 \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{комп.1}}}{\gamma_{\text{комп.1}}} + \frac{T_{\text{микропр}}}{\gamma_{\text{микропр}}} + \frac{T_{\text{комп.2}}}{\gamma_{\text{комп.2}}} + \frac{T_{\text{комп.3}}}{\gamma_{\text{комп.3}}}} \quad (1)$$

где  $D_{\text{комб.пр}}$  – диаметр комбинированной электропроводящей пряжи, мм;  $T_{\text{комп.1}}$ ,  $T_{\text{комп.2}}$ ,  $T_{\text{комп.3}}$  – линейная плотность трех компонентов, текс;  $T_{\text{микропр}}$  – линейная плотность медной микропроволоки, текс;  $\gamma_{\text{комп.1}}$ ,  $\gamma_{\text{комп.2}}$ ,  $\gamma_{\text{комп.3}}$  – средняя плотность трех компонентов, г/см<sup>3</sup>;  $\gamma_{\text{микропр}}$  – средняя плотность медной микропроволоки, г/см<sup>3</sup>.

На основании экспериментов по вычислению разрывной нагрузки получена новая теоретическая зависимость для определения разрывной нагрузки комбинированной электропроводящей пряжи.

Схема расположения осевых линий и их углов всех компонентов по отношению к оси КЭПП представлена на рис. 1, где используются следующие обозначения:  $Q_{\text{к.п.}}$  – сила нагружения КЭПП;  $Q_{\text{комп.1}}$ ,  $Q_{\text{комп.2}}$ ,  $Q_{\text{комп.3}}$  – осевые линии трех компонентов;  $Q_{\text{микропр}}$  – осевая линия медной микропроволоки КЭПП;  $\beta$  – угол осевой линии медной микропроволоки по отношению к оси КЭПП, рад;  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\gamma$  – углы осевых линий соответствующих компонентов по отношению к оси КЭПП, рад;  $A$  – точка скручивания всех компонентов КЭПП. При этом  $\angle \alpha = \angle \gamma = 39^\circ$ ,  $\angle \beta = \angle \omega = 28.7^\circ$ .

Комбинированная электропроводящая пряжа линейной плотностью 500 текс используется в ковровых покрытиях с антистатическим эффектом. Одним из требований к таким покрытиям является отсутствие обрыва металлической составляющей, поэтому предельное состояние (абсолютная разрывная нагрузка) комбинированной электропроводящей пряжи определяется формулой

$$Q_{\text{к.п.}} = Q_{\text{микропр}} \left( q_{\text{комп.1}} \cdot \frac{\cos^2 \beta \cdot \cos \alpha}{\cos^2 \gamma} + q_{\text{комп.2}} \times \frac{\cos^2 \beta \cdot \cos \gamma}{\cos^2 \alpha} + q_{\text{комп.3}} \cdot \frac{\cos^2 \beta \cdot \cos \omega}{\cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \gamma} + \cos \beta \right) \quad (2)$$

где  $q_{\text{комп.1}}$ ,  $q_{\text{комп.2}}$ ,  $q_{\text{комп.3}}$  – отношение жесткости трех компонентов к жесткости медной микропроволоки;  $Q_{\text{микропр}}$  – разрывная нагрузка медной микропроволоки, сН.

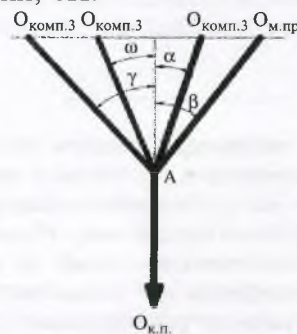


Рис. 1. Схема расположения осевых линий и их углов всех компонентов КЭПП.



Таблица 1. Зависимость усилий нитей от постоянной скорости деформации

Пряжа	Напряжение, сН, при различном разрывном удлинении, %								
	9.4	10.1	10.3	10.4	10.7	11.0	12.0	12.1	12.6
Шерстохимическая крученая 480 текс	2140	2305	2225	2000	2026	2078	2145	2662	2204.3
одиночная 160 текс	43.1	43.5	44.3	45	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3
Медная микропроволока	43.1	43.5	44.3	45	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3
КЭПП 500 текс	2190	2306	2256	2100	2030	2081	2160	2669	2204.3

Таблица 2. Сравнение теоретически рассчитанных и фактических показателей комбинированной электропроводящей пряжи 500 текс

Параметр	Значение		Отклонение, %
	рассчитанное	измеренное	
Диаметр, мм	1.289	1.337	3.6
Абсолютная разрывная нагрузка, сН	2257.4	2204.3	2.4

Компоненты  $q_{\text{комп1}} = q_{\text{комп2}} = q_{\text{комп3}} = q_{\text{о.п.}}$ , поэтому формула (2) примет следующий вид:

$$Q_{\text{к.п.}} = Q_{\text{микропр}} \left[ q_{\text{о.п.}} \left( \frac{\cos^2 \beta \cdot \cos \alpha}{\cos^2 \gamma} + \frac{\cos^2 \beta \cdot \cos \gamma}{\cos^2 \alpha} + \frac{\cos^2 \beta \cdot \cos \omega}{\cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \gamma} \right) + \cos \beta \right], \quad (3)$$

где  $q_{\text{о.п.}}$  — отношение жесткости одиночной трехкомпонентной пряжи к жесткости медной микропроволоки.

Жесткость нитей находим, руководствуясь табл. 1, в которой приведены экспериментальные значения усилий, возникающих в нити при деформировании на разрывной машине в режиме постоянной скорости деформации. Эксперимент проводился на кафедре ПНХВ с использованием автоматизированного комплекса РМ-3.

Вычисляем жесткость нитей [1]:

$$E_{\text{о.п.}} F_{\text{о.п.}} = \frac{P_{\text{о.п.}}}{\epsilon_{\text{о.п.}}}, \quad (4)$$

$$E_{\text{микропр}} F_{\text{микропр}} = \frac{P_{\text{микропр}}}{\epsilon_{\text{микропр}}}. \quad (5)$$

Тогда отношение жесткостей

$$q_{\text{о.п.}} = \frac{E_{\text{о.п.}} F_{\text{о.п.}}}{E_{\text{микропр}} F_{\text{микропр}}}, \quad (6)$$

где  $E_{\text{микропр}}$  — модуль упругости медной микропроволоки, МПа;  $F_{\text{о.п.}}$  — площадь поперечного сечения одиночной пряжи, мм<sup>2</sup>;  $F_{\text{микропр}}$  — площадь поперечного сечения медной микропроволоки, мм<sup>2</sup>;  $P_{\text{о.п.}}$  — натяжение одиночной пряжи, сН;  $P_{\text{микропр}}$  — натяжение медной микропроволоки, сН;  $A_{\text{о.п.}}$  — модуль упругости одиночной пряжи, МПа;  $E_{\text{с,(н)}} F_{\text{с,(н)}}$  — жесткость при растяжении,

МПа·мм<sup>2</sup>;  $\epsilon_{\text{микропр}}$  — деформация осевой линии медной микропроволоки, %.

Расчетная прочность комбинированной электропроводящей пряжи 500 текс, определяемая по формуле (3), равна

$$Q = 45.3 \left[ 13.542 \left( \frac{\cos^2 0.5 \cdot \cos 0.68}{\cos^2 0.68} + \frac{\cos^2 0.5 \cdot \cos 0.68}{\cos^2 0.68} + \frac{\cos^2 0.5 \cdot \cos 0.68}{\cos^2 0.68 \cdot \cos^2 0.68} \right) + \cos 0.5 \right] = 2257.4 \quad (7)$$

Тогда угол подъема микропроволоки определится экспериментально (рис. 2), угол  $\beta = 28.7^\circ = 0.5$  рад.

Опытное значение разрывной нагрузки комбинированной электропроводящей пряжи, равное 2204.5 сН (см. табл. 1), практически совпадает с расчетным значением — относительное отклонение составляет 2.4%.



Рис. 2. Экспериментальное определение угла  $\beta$  под микроскопом.



Исходные данные | Результат | Схема расположения компонентов | Печать

Показатели КЭПП

Компоненты

Комплексная ворсовая пряжа №2

Ткомп 2 = 160 текс  
Линейная плотность

Укомп 2 = 1,205 г/см<sup>3</sup>  
Средняя плотность вещества

Ккомп 2 = 100 кр/мм  
Крутка

Коэффициент нагона

L0 = 1 м  
L1 = 1,002 м  
L0 - первоначальная длина до округления  
L1 - длина после округления

Qкомп 2 = 165 сН  
Разрывная нагрузка

Ркомп 2 = 3,9 %  
Разрывное удлинение

Медная нить

Тм пр = 18 текс  
Линейная плотность

Ум пр = 8,92 г/см<sup>3</sup>  
Средняя плотность вещества

Км пр = 100 кр/мм  
Крутка

Коэффициент нагона

L0 = 1 м  
L1 = 1,1 м

угл β = 28,7 град.  
Угол по отношению к оси КЭПП

Qм пр = 45,3 сН  
Разрывная нагрузка

Рм пр = 14,5 %  
Разрывное удлинение

Комплексная ворсовая пряжа №3

Ткомп 3 = 160 текс  
Линейная плотность

Укомп 3 = 1,205 г/см<sup>3</sup>  
Средняя плотность вещества

Ккомп 3 = 100 кр/мм  
Крутка

Коэффициент нагона

L0 = 1 м  
L1 = 1,002 м  
L0 - первоначальная длина до округления  
L1 - длина после округления

Qкомп 3 = 165 сН  
Разрывная нагрузка

Ркомп 3 = 3,9 %  
Разрывное удлинение

Комплексная ворсовая пряжа №1

Ткомп 1 = 160 текс  
Линейная плотность

Укомп 1 = 1,205 г/см<sup>3</sup>  
Средняя плотность вещества

Ккомп 1 = 100 кр/мм  
Крутка

Коэффициент нагона

L0 = 1 м  
L1 = 1,002 м  
L0 - первоначальная длина до округления  
L1 - длина после округления

Qкомп 1 = 165 сН  
Разрывная нагрузка

Ркомп 1 = 3,9 %  
Разрывное удлинение

Рис. 3. Внешний вид страницы с вводом исходных данных программного обеспечения для расчета некоторых физико-механических показателей КЭПП.

Исходные данные | Результат | Схема расположения компонентов | Печать

Параметр	Значение	Единица измерения	Пояснение
Тм.пр.	18	текс	линейная плотность электропроводящей проволоки
Ум.пр.	8,92	г/см <sup>3</sup>	средняя линейная плотность вещества электропроводящей проволоки
Км.пр.	0,1	кр/мм	первичная крутка электропроводящей проволоки
Qм.пр.	45,3	сН	разрывная нагрузка электропроводящей проволоки
Ем.пр.	0,145		разрывное удлинение электропроводящей проволоки
Ем.пр. * Fм.пр.	312,414	сН	жесткость электропроводящей проволоки
Кн.м.пр.	1,1	коэфф.	коэффициент нагона электропроводящей проволоки
β	28,7	град.	угл подъема медной микропроволоки по отношению к оси пряжи
β	0,501	рад.	угл подъема медной микропроволоки по отношению к оси пряжи
Ткомп.3	160	текс	линейная плотность третьего компонента
Укомп.3	1,205	г/см <sup>3</sup>	средняя плотность вещества третьего компонента
Ккомп.3	0,1	кр/мм	крутка третьего компонента
Qкомп.3	165	сН	разрывная нагрузка третьего компонента
Екомп.3	0,039		разрывное удлинение третьего компонента
Екомп.3 * Fкомп.3	4230,769	сН	жесткость третьего компонента
Ккомп.3	1,002	коэфф.	коэффициент нагона третьего компонента
Дк.н.	1,289	мм	диаметр КЭПП
Р к.н.	0,644	мм	радиус КЭПП
α	0,68	рад.	угол подъема первого компонента по отношению к вертикали КЭПП
α	38,961	град.	угол подъема первого компонента по отношению к вертикали КЭПП
γ	0,68	рад.	угол подъема оси второго компонента по отношению к вертикали КЭПП
γ	38,961	град.	угол подъема оси второго компонента по отношению к вертикали КЭПП
ω	0,68	рад.	угол подъема оси третьего компонента по отношению к вертикали КЭПП
ω	38,961	град.	угол подъема оси третьего компонента по отношению к вертикали КЭПП
qкомп.1	13,542		отношение жесткости первого компонента к электропроводящей проволоке
qкомп.2	13,542		отношение жесткости второго компонента к электропроводящей проволоке
qкомп.3	13,542		отношение жесткости третьего компонента к электропроводящей проволоке
Qк.н.	2257,426	сН	теоретическая разрывная нагрузка КЭПП

Рис. 4. Внешний вид страницы с результатами расчета некоторых физико-механических показателей КЭПП.

Теоретически рассчитанные и фактические показатели КЭПП 500 текс сравниваются в табл.2.

Отклонение между расчетными и экспериментальными показателями не превышает 5%, следовательно, разработанные теоретические зависимости можно использовать для расчета линейной плотности и абсолютной разрывной нагрузки комбинированной (шерсть + капрон + нитрон) электропроводящей пряжи.

Было разработано также программное обеспечение для теоретического расчета некоторых физико-механических характеристик КЭПП. Внешний вид страницы с вводом исходных данных программного обеспечения для расчета некоторых физико-механических показателей КЭПП представлен на рис.3.

Расчеты абсолютной разрывной нагрузки, жесткости, отношения жесткости каждого компонента к жесткости медной микропроволоки, диаметра КЭПП и другие ее характеристики были проверены и подтверждены посредством программного обеспечения (рис.4).

Поскольку разность между рассчитанными и фактическими характеристиками не превышает

5%, данную программу и теоретические зависимости можно рекомендовать для определения прочности комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности.

— Теоретически определена прочность комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности для ковровых изделий.

— Приведено программное обеспечение для определения основных физико-механических характеристик комбинированной электропроводящей пряжи.

— Разность между рассчитанными и фактическими характеристиками не превышает 5%, поэтому данный расчет можно рекомендовать для определения прочности комбинированных электропроводящих нитей.

#### *Библиографический список*

1. Шербаков В. П. Прикладная механика нити. — М.: МГТУ, 2001. — 301 с.
2. Коган А.Г. Производство комбинированной пряжи и нити. — М.: Легкая и пищевая про-сть, 1981. — С.143.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ПРЯЖИ БОЛЬШОЙ ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ ДЛЯ КОВРОВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

*Е.Г. Замостоцкий, П.А. Костин, А.Г. Коган*

*(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)*

Статья посвящена теоретическому определению прочности комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности для ковровых изделий. Разработано программное обеспечение для определения основных физико-механических характеристик комбинированной электропроводящей пряжи. Разность между рассчитанными и фактическими характеристиками не превышает 5%. Следовательно, данный расчет можно рекомендовать для определения прочности комбинированных электропроводящих нитей.