

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

*Замостоцкий Е.Г., к.т.н., старший преподаватель, Костин П.А.,  
аспирант, Коган А.Г., д.т.н., профессор.*

*УО «Витебский государственный технологический университет»,  
г.Витебск, Республика Беларусь*

### The theoretical predicting of tenacity of combined conductive yarn of high linear density for carpets.

*Y.G. Zamastotsky, P.A. Kostin, A.G. Kogan*

*«Vitebsk State Technological University» Vitebsk, r. Belarus*

Кафедрой ПНХВ УО «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 (три одиночные шерстокапрононитроновые пряжи 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 комбинированной электропроводящей пряжи представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Процентное содержание компонентов комбинированной электропроводящей пряжи линейной плотности 500 текс (160\*3 +18 текс)

	Шерстяное волокно	Полиакрилонит- рильное волокно	Полиамидное волокно	Медная микропроволока
	%	%	%	%
Процентное содержание	53,4	37	6	3,6

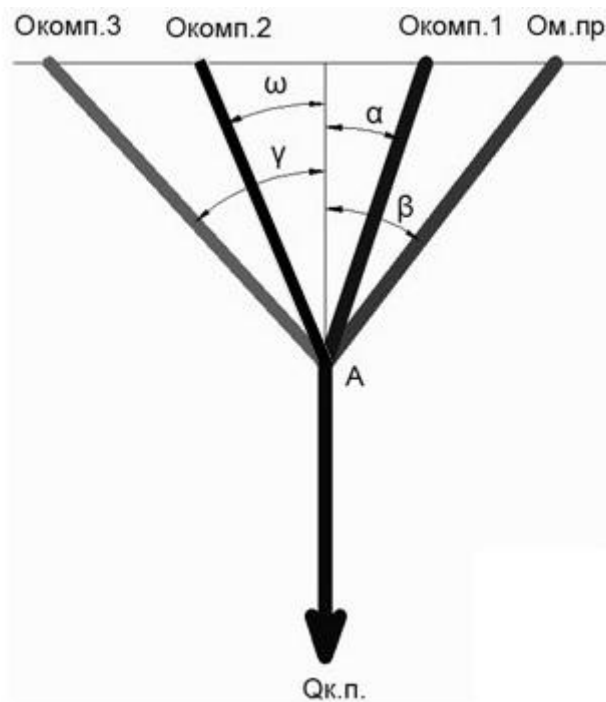
Диаметр комбинированной электропроводящей пряжи определяется по формуле [2]:

$$D_{\text{комб.пряжи}} = 0,04 \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{комп.1}}}{\gamma_{\text{комп.1}}} + \frac{T_{\text{микропр}}}{\gamma_{\text{микропр}}} + \frac{T_{\text{комп.2}}}{\gamma_{\text{комп.2}}} + \frac{T_{\text{комп.3}}}{\gamma_{\text{комп.3}}}}, \quad (1)$$

где  $D_{\text{комб.пряжи}}$  - диаметр комбинированной электропроводящей пряжи (мм);  
 $T_{\text{комп.1}}, T_{\text{комп.2}}, T_{\text{комп.3}}$  - линейная плотность трех компонентов (текс);  
 $T_{\text{микропров}}$  - линейная плотность медной микропроволоки (текс);  
 $\gamma_{\text{комп.1}}, \gamma_{\text{комп.2}}, \gamma_{\text{комп.3}}$  - средняя плотность трех компонентов ( $\text{г/см}^3$ );  
 $\gamma_{\text{микропр}}$  - средняя плотность медной микропроволоки ( $\text{г/см}^3$ ).

На основании проведенных экспериментов по вычислению разрывной нагрузки получена новая теоретическая зависимость по определению разрывной нагрузки комбинированной электропроводящей пряжи.

Схема расположения осевых линий и их углов всех компонентов по отношению к оси КЭПП представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема расположения осевых линий и их углов всех компонентов КЭПП**

На вышеуказанном рисунке:

$Q_{\text{к.п.}}$  - сила нагружения КЭПП;

$O_{\text{комп.1}}, O_{\text{комп.2}}, O_{\text{комп.3}}$  - осевые линии трех компонентов;

$O_{\text{м.пр.}}$  - 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.

$\angle \alpha = \angle \gamma = 39^\circ, \angle \beta = \angle \omega = 28,7^\circ$ ;

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

$$Q_{к.л.} = Q_{м.пр.} \cdot \left( q_{комп.1} \cdot \frac{\cos^2 \beta \cdot \cos \alpha}{\cos^2 \gamma} + q_{комп.2} \cdot \frac{\cos^2 \beta \cdot \cos \gamma}{\cos^2 \alpha} + q_{комп.3} \cdot \frac{\cos^2 \beta \cdot \cos \omega}{\cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \gamma} + \cos \beta \right), \quad (2)$$

где  $q_{комп.1}$ ,  $q_{комп.2}$ ,  $q_{комп.3}$  – отношение жесткости трех компонентов к жесткости медной микропроволоки;

$Q_{м.пр.}$  – разрывная нагрузка медной микропроволоки, сН.

Компоненты  $q_{комп.1}=q_{комп.2}=q_{комп.3}=q_{о.п.}$ ; тогда формула 2 примет следующий вид:

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

где  $q_{о.п.}$  – отношение жесткости одиночной шерстокапрононитроновой пряжи к жесткости медной микропроволоки;

Жесткость нитей находим, руководствуясь таблицей 2, в которой приведены экспериментальные значения усилий, возникающей в нити при деформировании на разрывной машине в режиме постоянной скорости деформации. Эксперимент проводился в условиях УО «ВГТУ» на кафедре ПНХВ с использованием автоматизированного комплекса РМ-3.

Таблица 1 - Зависимости усилий нитей от постоянной скорости деформации

Пряжа	Натяжение, сН, при различном разрывном удлинении %									
	0	9,4	10,1	10,3	10,4	10,7	11,0	12,0	12,1	12,6
шерстохимическая крученая пряжа 480 текс	0	2140	2305	2225	2000	2026	2078	2145	2662	2204,3
Одиночная шерстохимическая пряжа, T=160 Текс	0	43,1	43,5	44,3	45	45,3	45,3	45,3	45,3	45,3
Медная микропроволока	0	43,1	43,5	44,3	45	45,3	45,3	45,3	45,3	45,3
КЭПП 500 текс	0	2190	2306	2256	2100	2030	2081	2160	2669	2204,3

Вычисляем жесткость нитей [1]:

$$E_{о.п.} \cdot F_{о.п.} = \frac{P_{о.п.}}{\varepsilon_{о.п.}}; \quad (4)$$

$$E_{м.пр.} \cdot F_{м.пр.} = \frac{P_{м.пр.}}{\varepsilon_{м.пр.}}; \quad (5)$$

Тогда отношение жесткостей:

$$q_{o.n.} = \frac{E_{o.n.} \cdot F_{o.n.}}{E_{\text{микропров.}} \cdot F_{\text{микропров.}}} \quad (6)$$

Где  $E_{\text{микропров}}$  - модуль упругости медной микропроволоки, МПа  
 $F_{o.n.}$  - площадь поперечного сечения одиночной пряжи, мм<sup>2</sup>;  
 $F_{\text{микропров.}}$  - площадь поперечного сечения медной микропроволоки, мм<sup>2</sup>;  
 $P_{o.n.}$  - натяжение одиночной пряжи, сН;  
 $P_{\text{микропров.}}$  - натяжение медной микропроволоки, сН;  
 $E_{o.n.}$  - модуль упругости одиночной пряжи, МПа ;  
 $E_{c,(n)} \cdot F_{c,(n)}$  - жесткость при растяжении, МПа·мм<sup>2</sup> ;

$\varepsilon_{\text{микропров.}}$  - деформация осевой линии медной микропроволоки, %.

Расчетная прочность комбинированной электропроводящей пряжи  $T=500$  текс, определяемая по формуле (3), равна:

$$Q_{к.п.} = 45,3 \cdot \left( 13,542 \cdot \left( \frac{\cos^2 0,5 \cdot \cos 0,68}{\cos^2 0,68} + \frac{\cos^2 0,5 \cdot \cos 0,68}{\cos^2 0,68} + \frac{\cos^2 0,5 \cdot \cos 0,68}{\cos^2 0,68 \cdot \cos^2 0,68} \right) + \cos 0,5 \right) = 2257,400 \text{ сН}, \quad (7)$$

Тогда угол подъема микропроволоки определится экспериментально (на рисунке 2), угол  $\beta = 28,7^\circ = 0,5$  рад.

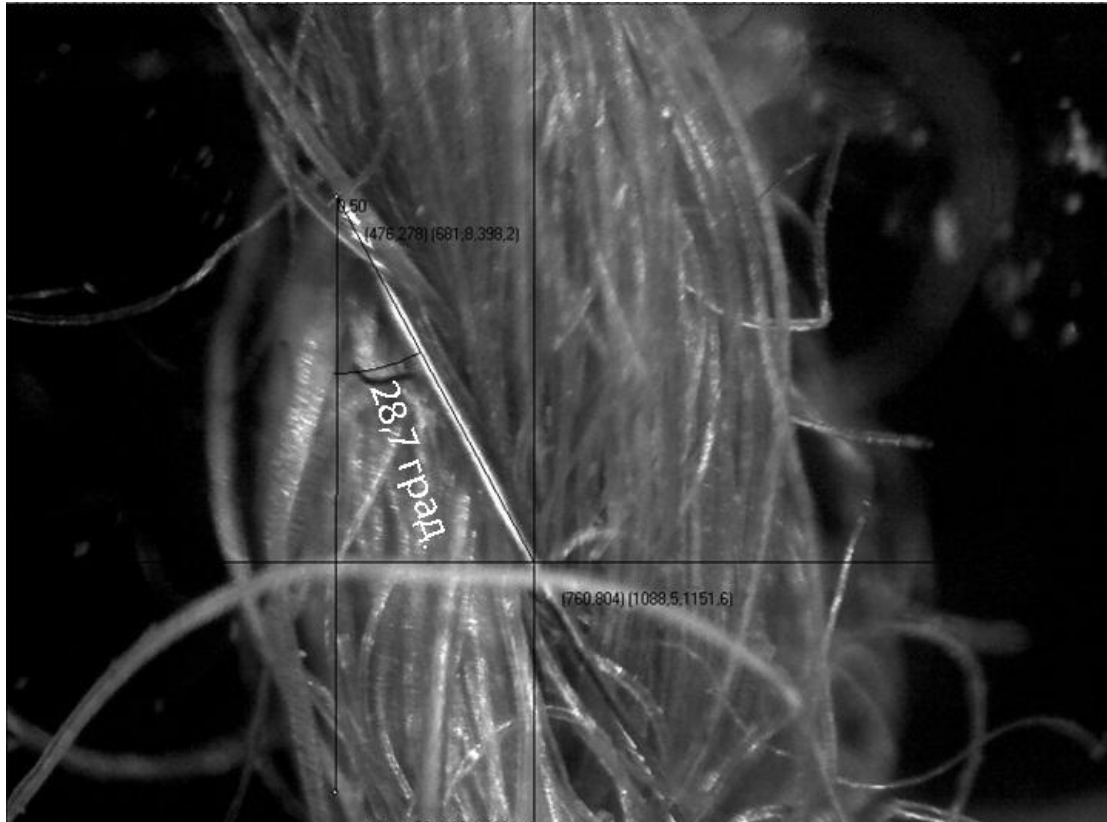


Рисунок 2 – Экспериментальное определение угла  $\beta$  под микроскопом

В таблице 1 приведено опытное значение разрывной нагрузки комбинированной электропроводящей пряжи, равное 2204,5 сН, практически совпадающее с расчетным значением (относительное отклонение  $\Delta=2,4\%$ ).

Сравнение теоретически рассчитанных и фактических показателей комбинированной электропроводящей пряжи 500 текс приведены в таблице 2.

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

Диаметр, мм		Отклонение $\Delta$ , %	Абсолютная разрывная нагрузка, сН		Отклонение $\Delta$ , %
Рассчитано	Измерено		Рассчитано	Измерено	
1,289	1,337	3,600	2257,400	2204,300	2,400

Так как отклонение  $\Delta$  между расчетными и экспериментальными показателями не превышает 5%, следовательно, разработанные теоретические зависимости можно использовать для расчета линейной плотности и абсолютной разрывной нагрузки комбинированной (шерстокапрононитроновой) электропроводящей пряжи.

Так же было разработано программное обеспечение для теоретического расчета некоторых физико-механических характеристик КЭПП.

Все проведенные выше расчеты: абсолютной разрывной нагрузки, жесткости, отношения жесткости каждого компонента к жесткости медной микропроволоки, диаметра КЭПП и другие характеристики комбинированной электропроводящей пряжи были проверены и подтверждены посредством разработанного программного обеспечения.

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что разность между рассчитанными и фактическими характеристиками не превышает 5%. Следовательно, данную программу и теоретические зависимости можно рекомендовать для определения прочности комбинированной электропроводящей пряжи большой линейной плотности.

### **Библиографический список**

1. Щербаков В. П. Прикладная механика нити: Учебное пособие. - Москва: РИО МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2001– 301 с.
2. Коган А.Г. Производство комбинированной пряжи и нити - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.-с. 143