

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ  
КОМБИНИРОВАННЫХ ЛЬНОСОДЕРЖАЩИХ  
ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ НИТЕЙ НА  
ТРОСТИЛЬНО-КРУТИЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ**

*А.Р. Семёнов, Е.Г. Замостоцкий, А.Г. Козан, С.Б. Байжанова*

С целью создания защитных текстильных материалов на кафедре ПНХВ УО «ВГТУ» разработан способ получения комбинированных электропроводящих нитей на тростильно-крутильной машине ТК2-160М [1]. Одной из разновидностей нитей, которые возможно получать по разработанной технологии, является комбинированная льносодержащая электропроводящая нить.

Комбинированные льносодержащие электропроводящие нити, можно использовать в трикотажных изделиях и тканях специального назначения для защиты от СВЧ- и УВЧ-излучения, для создания тканей специального назначения с антистатическими свойствами, для изготовления специальной одежды работников буровых, нефте- и газодобывающих и перерабатывающих компаний, а также других производств [2].

Для получения комбинированной льносодержащей электропроводящей нити была использована машина ТК2-160М. Технологическая цепочка для получения комбинированных льносодержащих электропроводящих нитей представлена на рисунке 1.

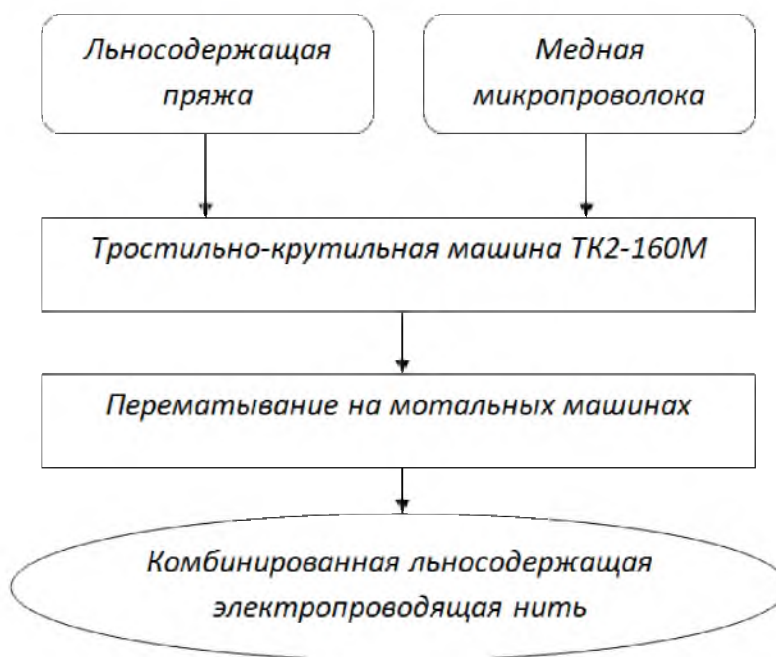


Рисунок 1 – Схема технологической цепочки для получения комбинированных льносодержащих электропроводящих нитей

Комплексная нить заданной линейной плотности и медная микропроволока (рис. 2) поступают на тростильно-крутильную машину ТК–2–160М, где подвергаются процессам трощения и кручения. Затем катушки с нитью поступают на мотальную машину, где комбинированная льносодержащая электропроводящая нить перематывается в паковки большей массы. Технологическая схема получения комбинированной льносодержащей электропроводящей нити на машине ТК2-160М представлена на рисунке 2.

Технология получения комбинированных льносодержащих электропроводящих нитей заключается в следующем.

Медная микропроволока (прикручиваемый компонент) с питающей паковки 3 и льносодержащая пряжа (нить) с питающей паковки 1 проходят через тарельчатые нитенатяжители 2 и 4, соответственно, огибая заправочный пруток 5. Далее компоненты проходят через глазки 6 крючка контроля одиночной нити. В соединительном крючке 8 собираются все страчиваемые компоненты, при этом трощеная нить несколько раз огибает питающие цилиндры 10. Затем нить огибает ролик контроля обрыва трощеной нити 7, подвижный баллоноограничительный крючок 11, проходит под бегунком 13 и наматывается на выходную паковку 12, посаженную на веретено 14.

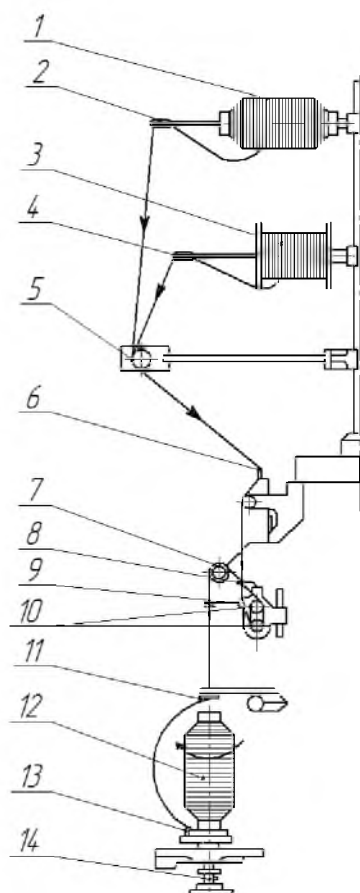


Рисунок 2 – Технологическая схема получения комбинированных льносодержащих электропроводящих нитей на машине ТК2–160М

На участке от баллоноограничительного крючка до бегунка осуществляется кручение комбинированной нити в левом направлении. Наматывание нити на выходную паковку происходит за счет отставания бегунка от веретена. Возвратно-поступательное движение кольца с бегунком вдоль оси веретена обеспечивает укладку комбинированных льносодержащих электропроводящих нитей по высоте выходной паковки.

Преимущества данного способа заключаются в следующем: наличие на машине механизмов самоостанова в случае обрыва одного из компонентов, высокая производительность, возможность получения большой массы нити на выходной паковке.

В результате проведенных экспериментов получены зависимости для расчета физико-механических свойств комбинированной льносодержащей электропроводящей нити.

Линейная плотность комбинированной электропроводящей нити определяется по формуле:

$$T_{\text{комб.нити}} = T_{\text{сер.}} \cdot K_{\text{наг.сер.}} + T_{\text{микропров.}} \cdot K_{\text{наг.микропров.}}, \quad (1)$$

где  $T_{сер.}$  – линейная плотность сердечника (текс);  $T_{микро.пров.}$  – линейная плотность микропроволоки (текс);  $K_{наг.сер.}$  – коэффициент нагона сердечника;  $K_{наг.микро.пров.}$  – коэффициент нагона микропроволоки.

На основании проведенных экспериментов и формулы профессора А.Г. Когана получена новая теоретическая зависимость по определению относительной разрывной нагрузки комбинированной льносодержащей электропроводящей нити.

Относительная разрывная нагрузка комбинированной льносодержащей электропроводящей нити вычисляется по формуле

$$P_{комб.нити} = P_{сер.} \cdot x_1 \cdot k_1 + P_{микро.пров.} \cdot x_2 \cdot k_2, \quad (2)$$

где  $P_{комб.нити}$  – разрывная нагрузка комбинированной нити, сН/текс;  $P_{сер.}$  – разрывная нагрузка сердечника (льносодержащей нити), сН/текс;  $x_1$  – долевое вложение сердечника (льносодержащей нити);  $k_1$  – понижающий коэффициент сердечника (льносодержащей нити);  $P_{микро.пров.}$  – разрывная нагрузка микропроволки;  $x_2$  – долевое вложение прикручивающего компонента (микропроволоки);  $k_2$  – понижающий коэффициент прикручивающего компонента (микропроволоки).

На основании проведенных экспериментальных измерений диаметра комбинированной льносодержащей электропроводящей нити получена теоретическая зависимость по определению диаметра комбинированной льносодержащей электропроводящей нити:

$$D_{комб.нити} = 0,0357 \left( \sqrt{\frac{T_{сер.}}{\gamma_{сер.}}} K_{наг.сер.} + \sqrt{\frac{T_{микро.пров.}}{\gamma_{микро.пров.}}} \cdot K_{наг.микро.пров.} \right), \quad (3)$$

где  $D_{комб.нити}$  – диаметр комбинированной льносодержащей электропроводящей нити, мм;  $T_{сер.}$  – линейная плотность сердечника, текс;  $T_{микро.пров.}$  – линейная плотность микропроволоки, текс;  $\gamma_{сер.}$  – средняя плотность сердечника, г/см<sup>3</sup>;  $\gamma_{микро.пров.}$  – средняя плотность микропроволоки, г/см<sup>3</sup>;

Физико-механические показатели комбинированной льносодержащей электропроводящей нити линейной плотности 47 текс представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические показатели комбинированной льносодержащей электропроводящей нити линейной плотности 47 текс

Линейная плотность, текс		Разница, %	Относительная разрывная нагрузка, сН/текс		Разница, %	Диаметр, мм		Разница, %
Рассчитано	Измерено		Рассчитано	Измерено		Рассчитано	Измерено	
48,84	49,5	1,3	21,53	20,85	3,15	0,228	0,25	0,97

Отклонения представленных теоретических зависимостей для определения линейной плотности и разрывной нагрузки комбинированной льносодержащей электропроводящей нити и фактических показателей не превышает 5 %.

На рисунке 3 представлено изображение комбинированной льносодержащей электропроводящей нити линейной плотности 47 текс.



Рисунок 3 – Комбинированная льносодержащая электропроводящая нить линейной плотности 47 текс под микроскопом:

1 – медная микропроволока 18 текс; 2 – льносодержащая пряжа (нить) 29 текс

Комбинированная льносодержащая электропроводящая нить линейной плотности 47 текс состоит из пряжи 29 текс (полиэфирного волокна 62 %, хлопкового – 25 % и льняного – 13 %) и медной микропроволоки 18 текс.

Так как процесс получения комбинированной льносодержащей электропроводящей нити мало изучен, то для определения степени влияния технологических параметров работы тростильно-крутильной машины ТК2–160М на качественные характеристики нити был проведен эксперимент, факторы которого и интервалы их варьирования представлены в таблице 2. Интервалы варьирования факторов были выбраны в соответствии с техническими характеристиками оборудования и результатами предварительных экспериментов.

Таблица 2 – Таблица интервалов варьирования факторов

Параметры	Уровни варьирования			Интервал варьирования
	-1	0	1	
Крутка, кр/м, $x_1$	270	380	490	110
Натяжение, сН, $x_2$	270	320	370	50

В качестве критериев оптимизации были выбраны: разрывная нагрузка  $P$ , сН; разрывное удлинение  $L$ , %; линейная плотность  $T$ , текс; удельное электрическое поверхностное сопротивление  $R$ , Ом. При вложении в комбинированные льносодержащие нити медной микропроволоки удельное электрическое поверхностное сопротивление нити снижается на 8 порядков по сравнению с нитями, не содержащими медной микропроволоки.

Полученные в ходе эксперимента образцы были исследованы в лаборатории кафедры ПНХВ УО «ВГТУ» по показателям, исследуемым в качестве критериев оптимизации. В результате обработки результатов эксперимента математические модели были представлены в виде регрессионной модели 2-го порядка:

$$F = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_{12} \cdot x_1 x_2 + a_{11} \cdot x_1^2 + a_{22} \cdot x_2^2, \quad (4)$$

где  $a_0, a_1, \dots, a_{22}$  – коэффициенты регрессии.

Значимость коэффициентов регрессии определялась с использованием критерия Стьюдента:

$$t_r = \frac{[A_i]}{S(A)}, \quad (5)$$

где  $S(A)$  – среднее квадратическое отклонение коэффициента регрессии.

Расчетное значение сравнивалось с табличным ( $t_m$ ). Если  $t_r > t_m$ , то коэффициент регрессии считался значимым. Иначе коэффициент регрессии приравнивался к нулю и соответствующий ему фактор исключался из уравнения.

В результате удаления незначимых коэффициентов регрессии получены следующие математические модели зависимости критериев оптимизации от входных факторов:

– уравнение разрывной нагрузки для комбинированной льносодержащей электропроводящей нити линейной плотности 47 текс:

$$P = 958,55 + 22,83 \cdot x_1 + 21 \cdot x_2 - 14,65 \cdot x_1 \cdot x_2; \quad (6)$$

– уравнение разрывного удлинения комбинированной льносодержащей электропроводящей нити линейной плотности 47 текс:

$$L = 19,2 + 0,6 \cdot x_1 + 0,85 \cdot x_2 + 0,75 \cdot x_1 \cdot x_2; \quad (7)$$

– уравнение линейной плотности комбинированной льносодержащей электропроводящей нити линейной плотности 47 текс:

$$T = 48,94 - 1,21 \cdot x_1 - 1,78 \cdot x_2 - 0,3 \cdot x_1 \cdot x_2; \quad (8)$$

– уравнение поверхностного сопротивления комбинированной льносодержащей электропроводящей нити линейной плотности 47 текс:

$$R = 190 - 44,16 \cdot x_1 - 149,17 \cdot x_2 + 34,16 \cdot x_2 \cdot x_2; \quad (9)$$

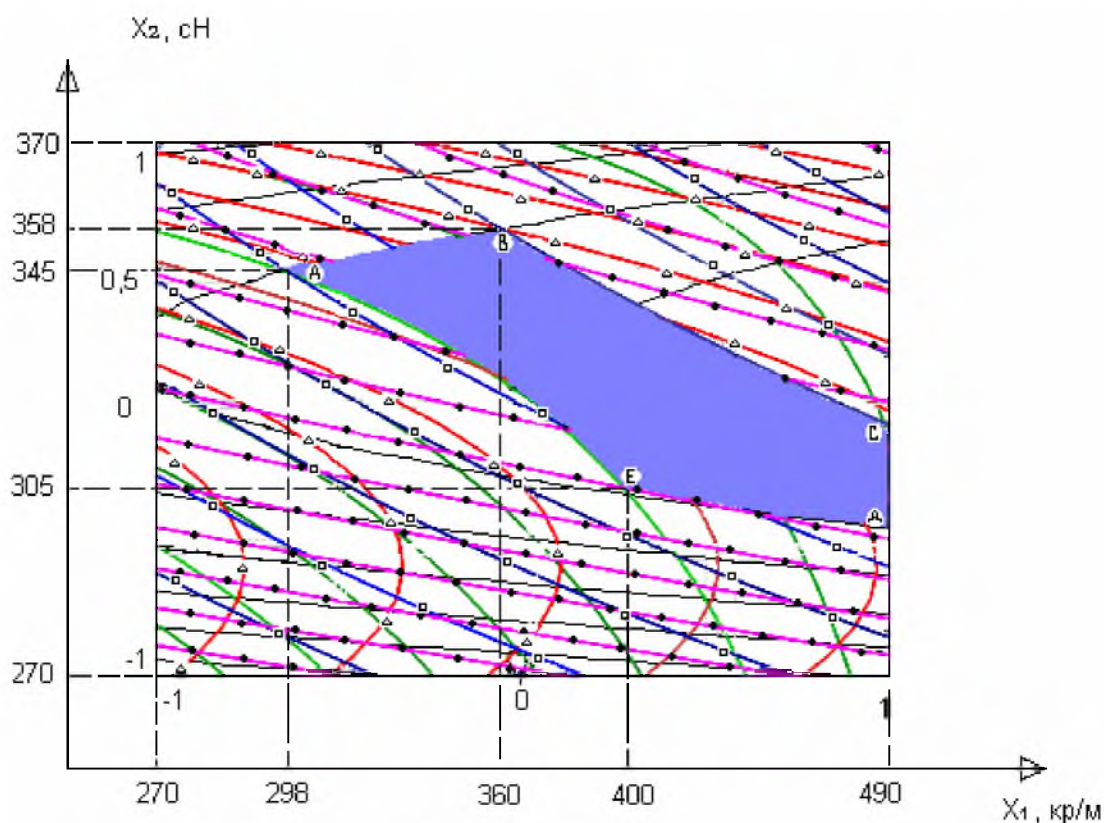


Рисунок 4 – Совмещенные линии равных уровней для принятых показателей качества комбинированной льносодержащей электропроводящей нити линейной плотности 47 текс

Для определения области оптимальных значений были наложены ограничения на выходные параметры:

- – разрывная нагрузка  $P$ : не менее 950 сН;
- - - - -  $\triangle$  - - - - - – разрывное удлинение  $L$ : не более 19 %;
- - - - -  $\square$  - - - - - – линейная плотность  $T$ : от 48 до 50 текс;
- - - - -  $\bullet$  - - - - - – сопротивление  $R$ : не более 300 Ом.

По регрессионным моделям построены графические интерпретации влияния крутки и натяжения на свойства нити. Используя метод наложения линий равного

уровня поверхностей отклика полученных зависимостей, определена область компромиссных решений – АВСДЕ (рисунок 4), характеризующая наиболее оптимальные соотношения крутки и натяжения для выработки комбинированных нитей заданного качества

При анализе области рациональных значений можно отметить, что для получения комбинированной льносодержащей электропроводящей нити 47 текс заданного качества из области ограничений необходимо использовать  $X_1$  (крутка) от 300 кр/м до 490 кр/м и  $X_2$  (натяжение) от 300 сН до 360 сН.

Физико-механические свойства комбинированной электропроводящей льносодержащей нити линейной плотности 47 текс представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства комбинированной льносодержащей электропроводящей нити линейной плотности 47 текс

Наименование показателя	Значение показателя
Линейная плотность $T$ , текс	47
Абсолютная разрывная нагрузка $P$ , сН	980
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке $C_v$ , %	2,64
Разрывное удлинение $L$ , %	10,7
Коэффициент вариации по разрывному удлинению, %	5,8
Коэффициент вариации по крутке, %	3,026
Удельное поверхностное электрическое сопротивление нити, Ом/см	$1,8 \cdot 10^2$

Проанализировав полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. В результате проведения исследований установлены оптимальные параметры работы тростильно-крутильного оборудования для производства нового ассортимента комбинированных льносодержащих электропроводящих нитей линейной плотностью 47 текс.

2. Получены теоретические зависимости, позволяющие с точностью до 5 % рассчитывать разрывную нагрузку, диаметр и линейную плотность полученной нити.

3. Установлено, что при вложении в комбинированные льносодержащие нити медной микропроволоки удельное электрическое поверхностное сопротивление нити снижается на 8 порядков по сравнению с обычными нитями, не содержащими медной микропроволоки.

#### Список использованных источников

1. Замостоцкий, Е. Г. Исследование технологического процесса получения комбинированных электропроводящих нитей на тростильно-крутильных машинах / Е. Г. Замостоцкий, Н. В. Скобова, В. Н. Ковалев // Международная научно-техническая конференция «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (ПРОГРЕСС-2007), 29 – 31 мая 2007 г. : сборник материалов : в 2 ч. / ИГТА. – Иваново, 2007. – Ч. 2. – С. 29 – 30.
2. Замостоцкий, Е. Г. Технологический процесс получения на крутильном оборудовании комбинированных электропроводящих нитей и анализ их свойств / Е. Г. Замостоцкий, П. А. Костин, А. Г. Коган // Тезисы докладов 40 научно-технической конференции преподавателей и сотрудников университета / УО «ВГТУ» ; гл. ред. С. М. Литовский. – Витебск, 2007. – С. 76.

*Статья поступила в редакцию 19.03.2013.*

*Выходные данные*

---

Семёнов, А. Р. Технологический процесс получения комбинированных льносодержащих электропроводящих нитей на тростильно-крутильном оборудовании / А. Р. Семёнов, Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган, С. Б. Байжанова // Вестник Витебского государственного технологического университета . — 2013. — № 24. — С. 16.