

Научная статья

УДК 677.075

EDN TMSOHK

doi 10.34216/2587-6147-2022-3-57-20-23

Ирина Владимировна Землякова<sup>1</sup>

Татьяна Алексеевна Чебункина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия

<sup>1</sup> izeml@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3448-7307>

<sup>2</sup> bunkinata@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0527-6351>

## СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ОПИСЫВАЮЩАЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИН НИТЕЙ В ПЕТЛЕ ПЕТЕЛЬНОГО РЯДА ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА

**Аннотация.** В данной статье актуализируется проблема проектирования петельной структуры трикотажных полотен технического назначения. Особое внимание уделено важнейшему параметру – длине нити в петле, которая определяет расход материала, обеспечивает точность расчета и снижение отходов производства. Существующие инструментальные методы трудоемки и неточны, поскольку не учитывают отклонений геометрических параметров нитей в петле от их номинальных значений. В статье предлагается стохастическая модель, описывающая распределение длин нитей в петле петельного ряда и описывается методика проверки случайной последовательности длины нити в петле на стационарность.

**Ключевые слова:** трикотаж, проектирование, длина нити в петле, стохастическая модель, стационарность, случайная последовательность, петельный ряд

**Для цитирования:** Землякова И. В., Чебункина Т. А. Стохастическая модель, описывающая распределение длин нитей в петле петельного ряда трикотажного полотна // Технологии и качество. 2022. № 3(57). С. 20–23. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2022-3-57-20-23>.

Original article

Irina V. Zemlyakova<sup>1</sup>

Tatiana A. Chebunkina<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Kostroma State University, Kostroma, Russia

## DISTRIBUTION OF THE LENGTHS OF THE THREADS IN THE LOOP OF THE LOOP ROW OF THE KNITTED FABRIC

**Abstract.** This article updates the problem of designing the loop structure of knitted fabrics for technical purposes. Special attention is paid to the most important parameter – length of thread in the loop, which determines material consumption, ensures accuracy of calculation and reduction of production wastes. Existing instrumental methods of labour consumption are complicated and at that inaccurate, since they do not take into account deviations of geometric parameters of threads in the loop from their nominal values. The paper proposes a stochastic model describing the distribution of thread lengths in a loop of the loop row and describes a technique for checking the random sequence of thread length in a loop for stationary.

**Keywords:** knitwear, design, thread length in loop, stochastic model, stationary, random sequence, loop row

**For citation:** Zemlyakova I. V., Chebunkina T. A. Distribution of the lengths of the threads in the loop of the loop row of the knitted fabric. Technologies & Quality. 2022. Nr 3(57). P. 20–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2022-3-57-20-23>.

Применение инновационных композитных материалов имеет высокую значимость для технологического прорыва во многих отраслях. Успешность работы композита как системы зависит от совокупности свойств матрицы и на-

полнителя, а также адгезионных качеств конгломерата. Использование трикотажных (вязаных) полотен в качестве наполнителя, имеющих неограниченные возможности структурообразования и хорошее формообразование, позволяет получать детали и изделия даже с малыми радиусами кривизны, а повышенные адгезионные

© Землякова И. В., Чебункина Т. А., 2022

свойства обеспечивают стабильность и качество композита. При этом снижаются отходы армирующего материала, что особенно актуально при использовании дорогостоящего сырья – стеклянных, углеродных, арамидных или базальтовых волокон.

Важная роль в формировании высокого уровня качества трикотажных полотен технического назначения принадлежит этапу проектирования изделия, а именно проектированию его петельной структуры, исходя из технических требований, предъявляемых к продукции, и необходимых потребительских свойств. Важнейшим параметром петельной структуры является длина нити в петле. Длина нити в петле определяет расход материала и ее стабильность, обеспечивает точность расчета и снижение отходов производства. Стабильность длины нити в петле определяет равномерную структуру трикотажа, а следовательно, и его пористость и равномерность пропитки связующим составом. Качество пропитки во многом определяет прочностные и эксплуатационные показатели готового композита.

Инструментальные методы определения длины нити в петле, числа петельных рядов и петельных столбиков трикотажных полотен и изделий (ГОСТ 8846–87) трудоемки и неточны, поскольку не учитывают отклонений геометрических параметров нитей в петле от их номинальных значений.

В настоящей работе представлена стохастическая модель распределения длин нитей в петле по трикотажному полотну и описана методика проверки случайной последовательности длин нити в петле на стационарность. Математическое описание длин нитей в петле петельного ряда трикотажного полотна с учетом случайных отклонений расширяет и уточняет предложенный ранее неразрушающий метод определения длины нити в петле трикотажа, основанный на детерминированных математических моделях [1–3].

Фактическая длина нити в петле трикотажного полотна, высота петельного ряда и петельный шаг в трикотажном полотне имеют отклонения от их расчетных значений, вызванные влиянием ряда случайных и закономерных факторов: различная глубина кулирования по направлениям вязания, колебания натяжения в системе нитеподачи, колебание величины оттягивающего усилия, колебание крутки нити, состояние поверхности нити и, как следствие, изменение коэффициентов трения нити по нити, нити о рабочие органы машины и др. Прежде всего это касается современных материалов,

обладающих высокой изгибной жесткостью, используемых для изготовления технического трикотажа, а также техническими возможностями плоскофанговых машин. На всех современных вязальных машинах процесс петлеобразования автоматизирован и находится под контролем соответствующих устройств, обеспечивающих получение стабильной структуры. К сожалению, возможности современных машин ограничиваются вязанием гибких нитей, в нашем случае мы используем жесткие нити. Они обладают повышенной плотностью и хрупкостью.

Существующие детерминированные математические модели длины нити в петле, не учитывающие отклонений, вызванных случайными факторами, позволяют лишь приближенно рассчитать геометрические параметры трикотажного полотна. Для изготовления трикотажных полотен и изделий с геометрическими параметрами, удовлетворяющими требованиям заказчика, безусловно, необходимо учитывать отклонения геометрических характеристик трикотажного полотна от их номинальных значений.

До производственной выработки трикотажного полотна с заданными геометрическими параметрами, удовлетворяющими требованиям заказчика, необходимо удостовериться в том, что ни средняя длина нити в петле, ни характер колебаний около средней длины не обнаруживают существенных изменений на всем полотне, проверив случайную последовательность на стационарность.

Теоретическая длина нити в петле является постоянной величиной для рассматриваемого трикотажного полотна, а фактическая длина нити в петле – это случайная последовательность, аргументом которой является номер петли в петельном ряду. Основными характеристиками случайных последовательностей являются математическое ожидание и дисперсия [4].

Теория случайных функций давно находит свое применение при моделировании различных технологических процессов, например в работах авторов [4, 5]. Процесс изготовления образца трикотажного полотна можно рассматривать как опыт, а фактические длины нити в каждой петле петельного ряда опытного образца как реализацию случайной последовательности. Обозначим случайную последовательность длин нити в петле для одного петельного ряда трикотажного полотна через  $L_j = L[j]$ , где  $j$  – номер петли в петельном ряду, реализацию случайной последовательности через  $l_j = l[j]$ , а в случае нескольких реализаций будем отмечать и номер опыта:  $l_1[j], l_2[j], \dots, l_n[j]$ .

Математическим ожиданием в этом случае будет последовательность чисел, представляющих собой математические ожидания соответствующих членов случайной последовательности:  $m_j = M[L_j]$ , где  $j = 1, 2, 3, \dots$

Корреляционная функция представляет собой корреляционный момент двух произвольно выбранных членов случайной последовательности, рассматриваемый как функция номеров этих членов, то есть номеров петель в петельном ряду:

$$K(j; j') = M((L[j] - m_j)(L[j'] - m_{j'})) = \\ = M(L_j L_{j'}), j, j' = 1, 2, 3, \dots$$

Если  $j = j'$ , то корреляционная функция обращается в дисперсию случайной последовательности [6]:  $K(j, j') = M(L_j^2) = D_j$ .

Определение стационарной случайной последовательности в терминах этих характеристик означает, что

$$m_j = M(L_j) = \text{const},$$

$$D_j = D(L_j) = \text{const},$$

$$K(j; j') = K(j - j').$$

В лаборатории Костромского государственного университета на плоскофанговом полуавтомате ПВПМ-80 5 класса было наработано 90 образцов трех различных структур трикотажных полотен переплетения гладь из углеродной нити линейной плотности  $T = 205$  текс размером  $5 \times 5$  см<sup>2</sup> (рис.).



Рис. Образец трикотажного полотна

На каждом из опытных образцов были найдены длины нити во всех петлях трикотаж-

ных полотен по их цифровому изображению [3]. Определение длин нитей в петле осуществлялось автоматизировано с помощью программного комплекса, реализующего методику неразрушающего способа определения длины нити в любой конкретной петле [2]. Таким образом, были получены реализации случайной последовательности длин нити в петле для петельных рядов трикотажных полотен. На каждом из опытных образцов было выделено 14 петельных столбиков и 22 петельных ряда. Применяв критерий серий и вычисляя среднее значение длины нити в петле каждого петельного ряда, получаем последовательность из  $N = 22$  наблюдений случайной величины (количество наблюдений равно числу петельных рядов одного образца). Результаты вычислений на примере средних значений 30 образцов первой структуры занесены в таблицу.

Т а б л и ц а

Средняя длина нити в петле одного петельного ряда

Наблюдение	Среднее значение длины нити в петле	Наблюдение	Среднее значение длины нити в петле
1	15,33	12	14,65
2	14,67	13	14,7
3	14,8	14	14,92
4	14,87	15	14,65
5	14,67	16	14,7
6	14,73	17	14,97
7	14,87	18	14,78
8	14,67	19	14,85
9	15,01	20	14,97
10	14,97	21	14,84
11	14,82	22	14,76

Подсчитаем число серий в последовательности путем сравнения со средним значением  $\bar{x} = 14,83$ . Применим критерий с уровнем значимости  $\alpha = 0,05$ . Наблюдения, которые больше среднего значения, классифицируем со знаком «+», а меньшие со знаком «-».

± - - ± - - ± - ± + - - - ± - - ± - ± + ± -

Таким образом, в последовательности из 22 наблюдений имеется 14 серий. Предполагаем, что наблюдения независимы. Область принятия этой гипотезы имеет вид:

$$\left[ r_{N, 1-\frac{\alpha}{2}} < r < r_{N, \frac{\alpha}{2}} \right],$$

$$[r_{11; 0,975} < r < r_{11; 0,025}],$$

$$[7 < r < 16].$$

В нашем случае  $r = 14$ , гипотеза принимается и свидетельств в пользу тренда нет.

Таким образом, разработанная стохастическая модель, описывающая распределение длин нитей в петле петельного ряда трикотажного полотна с учетом случайных отклонений, повышает точность при определении неразрушающим методом длин нитей в петлях трикотажа и расчете расхода материала на этапе проектирования. Кроме того, проверка случайной последовательности длин нитей в петлях петельного ряда на стационарность позволяет оценить равномерность структуры трикотажа. Все это способствует проектированию трикотажных полотен высокого уровня качества и снижению отходов дорогостоящего сырья.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.

1. Землякова И. В., Каминская Л. А. Неразрушающий метод определения длины нити в петле трикотажного полотна // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. № 4. С. 113–116.
2. Каминская Л. А., Землякова И. В., Верняева И. Л. Оценка некоторых геометрических показателей трикотажного полотна кулирного переплетения // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2014. № 5. С. 78–82.
3. Определение длины нити в петле трикотажного полотна по его цифровому изображению на основе трехмерного сплайна / Л. А. Ширина, И. В. Землякова, И. Л. Верняева, И. А. Коржева // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 1. С. 87–90.
4. Землякова И. В. Теоретические и прикладные аспекты прогнозирования распределения фасонных эффектов и пороков внешнего вида нитей и ткани : дис. ... д-ра техн. наук. Кострома, 2006. 303 с.
5. Чебункина Т. А. Обоснование технологических параметров получения тканей с металлизированным покрытием : дис. ... канд. техн. наук. Кострома, 2010. 303 с.
6. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения : учеб. пособие. 5-е изд., стер. М. : КНОРУС, 2013. 448 с.

#### REFERENCES

1. Zemlyakova I. V., Kaminskaya L. A. Nondestructive method of determination of thread length in a stockinet loop. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2012;4:113–116. (In Russ.)
2. Kaminskaya L. A., Zemlyakova I. V., Vernyaeva I. L. The evaluation of some geometrical parameters of knitted fabric weave any plain stitch textures. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2014;5:78–82. (In Russ.)
3. Shirina L. A., Zemlyakova I. V., Vernyaeva I. L., Korzheva I. A. The method of determining the thread length in the loop knitted fabrics based on cubic spline. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2016;1:87–90. (In Russ.)
4. Zemlyakova I. V. Theoretical and applied aspects of predicting the spread of form-building effects and defects in the appearance of threads and fabrics. Dr. eng. sci. diss. Kostroma, 2006. 303 p. (In Russ.)
5. Chebunkina T.A. Substantiation of technological parameters for obtaining fabrics with a metallized coating. Dis. of a candidate of technical sciences. Kostroma, 2010. 303 p. (In Russ.)
6. Wentzel E. S., Ovcharov L. A. Theory of random processes and its engineering applications. 5th ed., revised. Moscow, KnoRus Publ., 2013. 448 p.

Статья поступила в редакцию 31.05.2022  
Принята к публикации 7.10.2022