

## Алгоритм моделирования поперечного сечения одномерного волокнистого продукта

П.А. Севостьянов<sup>а</sup>, Т.А. Самойлова  
Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Российская Федерация  
E-mail: <sup>а</sup>petrsev46@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается алгоритм геометрического моделирования поперечного сечения одномерного волокнистого продукта, имеющего многокомпонентный волокнистый состав и заданную структуру распределения компонентов в поперечном сечении. С помощью алгоритма получены модели для двух- и трехкомпонентных смесей сложной структуры.

**Ключевые слова:** геометрическое моделирование, имитационная модель, волокнистый продукт.

## Cross-Sectional Modeling Algorithm for One-Dimensional Fibrous Product

P. Sevostyanov<sup>a</sup>, T. Samoylova  
The Kosygin State University of Russia, Russian Federation  
E-mail: <sup>a</sup>petrsev46@yandex.ru

**Annotation.** The article discusses the algorithm for geometric modeling of the cross section of a one-dimensional fiber product having a multicomponent fiber composition and a given structure of the distribution of components in the cross section. Using the algorithm, we obtained models for two- and three-component mixtures of complex structure.

**Key words:** geometric modeling, simulation model, fiber product.

Одномерным считают волокнистый продукт, образованный волокнами и/или нитями, у которого размер (длина) вдоль одной оси на много порядков больше размеров по двум другим осям, то есть размеров в плоскостях поперечных сечений [1, 2]. Несмотря на «одномерность», эти волокнистые продукты могут иметь большое число волокон и нитей в своих поперечных сечениях: от нескольких десятков для тонкой пряжи до нескольких десятков тысяч в чесальной ленте. Особенности распределения поперечных сечений волокон и нитей в поперечном сечении продукта в некоторых случаях имеет решающее значение и оказывает влияние на свойства продукта. Поэтому важно располагать алгоритмом компьютерной имитации таких поперечных сечений продукта [3–5]. Основное упрощение, используемое в модели, – это замена реальной формы поперечного сечения нити кругом, равновеликим реальному сечению нити [6–9]. Радиус круга равен

$$r = \sqrt{(T / (\pi q))}, \quad (1)$$

где  $T$  – линейная плотность нити, текс,

$q$  – объёмная плотность материала нити.

Такое упрощение позволяет описывать сечение каждой нити всего тремя переменными:

координатами центра  $(x; y)$  в декартовых координатах или  $(R; \beta)$  в полярных координатах, и радиусом равновеликого круга  $r$ . Особенность задачи геометрического моделирования поперечного сечения продукта заключается в том, что получаемая модель должна удовлетворять требованиям, делающим ее адекватной моделируемому объекту. К числу требований относятся:

1) сечения нитей не должны пересекаться, но могут и должны для части нитей касаться друг друга;

2) распределение нитей по толщине должно отвечать заданному распределению;

3) расположение нитей в сечении должно быть частично упорядоченным. Это означает, что расположение должно соответствовать тому, которое возникает при формировании продукта, но и содержать случайную составляющую;

4) при наличии в сечении смеси разнородных типов нитей, например, натурального и искусственного происхождения, алгоритм должен обеспечивать заданное распределение компонентов по площади поперечного сечения;

5) форма и размеры смоделированного поперечного сечения продукта должны соответствовать заданным значениям и условиям [10–11].

Предлагаемый алгоритм моделирования основан на имитации процесса уплотнения нитей в сечении по мере формирования продукта и состоит из нескольких этапов. На первом этапе («начальная конфигурация») для каждой из N нитей сечения продукта генерируются значения  $\{r; f_i; RM\}$ . Радиус  $r$  и угол  $f_i$  генерируются в соответствии с заданными распределениями. Радиус  $RM$  в  $M$  раз больше возможного, в соответствии с его распределением, радиуса  $R$ . Множитель  $M$  выбирается настолько большим, чтобы гарантировать отсутствие пересечения нитей. Затем производится проверка условия отсутствия пересечения нитей

$$(x(i) - x(j))^2 + (y(i) - y(j))^2 >= (r(i) + r(j))^2$$

для всех пар нитей  $(i; j | i, j = 1, \dots, N)$ . При обнаружении хотя бы одного пересечения увеличиваем множитель  $M$ .

На втором этапе («сжатие и утряска») выполняется уменьшение всех  $R = RM$  («сжатие») и проверка условия отсутствия пересечений. При обнаружении пересечения какой-то пары нитей выполняется случайное варьирование значений  $R$  и  $f_i$  для этой пары нитей («утруска») до расстояний между их центрами не меньше суммы их радиусов  $r$ . Составляющие второго этапа повторяются многократно (несколько десятков раз), до тех пор, пока они перестают давать эффект исключения пересечения нитей в сечении продукта. На этом построение геометрической модели завершается.

На рисунке 1 приведен пример работы алгоритма при геометрическом моделировании поперечного сечения одномерного волокнистого продукта, образованного одним компонентом, например, волокнами шерсти, имеющими широкое распределение тонины волокон и случайное их распределение по площади поперечного сечения. Видно, что волокна разной тонины равномерно распределены в сечении продукта как вдоль радиуса, так и по угловой координате вокруг центра сечения. Волокна плотно прилегают друг к другу, при этом сохраняя случайность расположения.

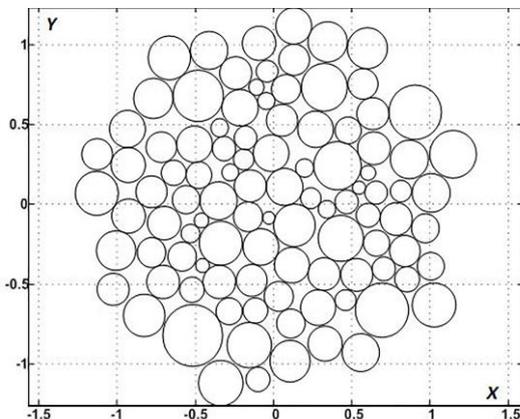


Рисунок 1 – Случайное плотное распределение нитей в поперечном сечении продукта, образованного одним компонентом

На рисунке 2 приведен пример работы алгоритма для случая моделирования поперечного сечения продукта, состоящего из двух компонентов. Первый компонент – натуральные волокна с сечениями, распределенными по закону гамма-распределения. Они расположены по периферии сечения продукта. Вторым компонентом – нити искусственного происхождения, одинакового круглого сечения и хаотично расположенные в сердцевине сечения нити. На рисунке 3 показан пример моделирования сечения, аналогичного сечению, изображенному на рисунке 2, но с регулярной упаковкой нитей большого сечения в центре сечения, которые образуют стержень продукта. Семь таких нитей расположены строго регулярно, с соблюдением круговой симметрии. Подобные сечения характерны для комбинированной и армированной пряжи.

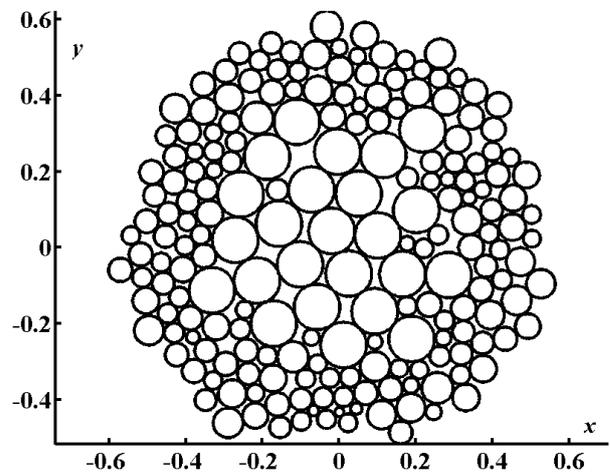


Рисунок 2 – Примеры моделей сечений продукта из двух компонентов: хаотичное расположение волокон обоих компонентов, одного – в центре продукта, другого – по периферии

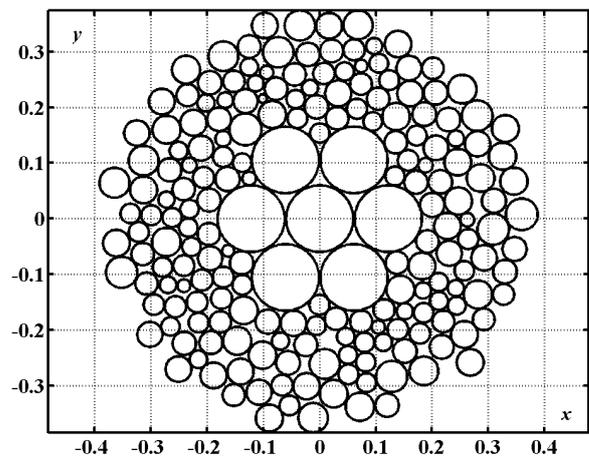
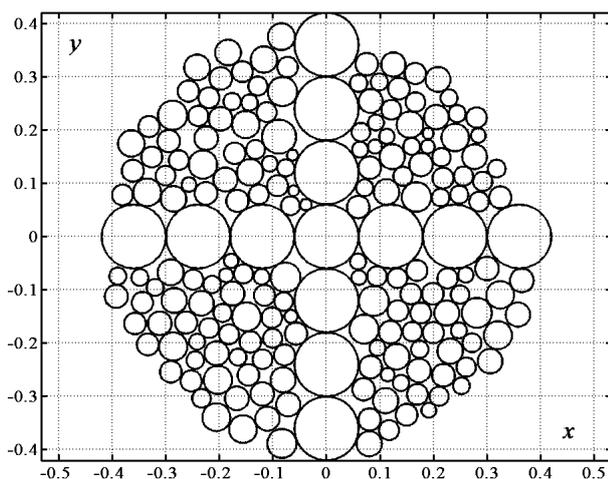


Рисунок 3 – Примеры моделей сечений продукта из двух компонентов: регулярное симметричное одного компонента в центре продукта, и хаотичное – другого компонента по периферии

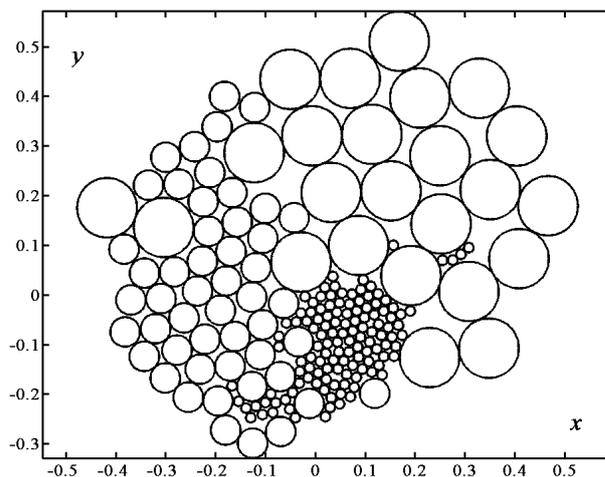
На рисунке 4 показана сгенерированная алгоритмом модель поперечного сечения продукта, образованного двумя компонентами. Один компонент, состоящий из нитей одинакового сечения, расположен регулярно и крестообразно, другой компонент, с широким распределением сечений своих нитей, хаотично заполняет свободные площади сечения продукта.

На рисунке 5 показан пример моделей сечения продукта, образованного тремя различными компонентами. Каждый из компонентов – нити постоянного сечения. Структура продукта такова, что каждый из компонентов расположен в своем секторе сечения. При этом расположение сечений нитей является хаотичным.

Приведенные примеры геометрических моделей поперечных сечений одномерного волокнистого продукта говорят о больших возможностях разработанного алгоритма. Отметим, что затраты компьютерного времени на моделирование возрастают пропорционально числу нитей в поперечном сечении и сложности структуры сечения. Это обстоятельство является важнейшим фактором, влияющим на возможности детализации модели и ее применения как составной части различных механических моделей волокнистых продуктов.



**Рисунок 4 – Примеры моделей сечений продукта из двух компонентов: регулярное симметричное крестообразное расположение нитей одного компонента в центре продукта, и хаотичное – другого компонента по незанятой части площади поперечного сечения**



**Рисунок 5 – Пример сечений продуктов из трех компонентов**

## ВЫВОДЫ

1. Предложен и программно реализован алгоритм геометрического моделирования поперечного сечения одномерного волокнистого продукта, имеющего многокомпонентный волокнистый состав и заданную структуру распределения компонентов в поперечном сечении.

2. Алгоритм учитывает особенности строения поперечного сечения волокнистого продукта: плотную упаковку нитей и регулярно-хаотический характер их расположения в пределах сечения вокруг центра сечения.

3. Приведены примеры работ алгоритма для двух- и трехкомпонентных смесей сложной структуры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рашкован, И. Г. Методы оценки распределения волокон по поперечным сечениям пряжи / И. Г. Рашкован. – Москва : Легкая индустрия, 1970. – 200 с.
2. Севостьянов, П. А. Компьютерные модели в механике волокнистых материалов : монография / П. А. Севостьянов. – Москва : «Тисо Принт», 2013. – 254 с.
3. Исследование структуры пор в компьютерных моделях плотных и рыхлых упаковок сферических частиц / В. П. Волошин [и др.] // Журнал структурной химии. –1999. – Т. 40 (4). – С. 681–692.

4. Левенштейн, В. И. О границах для упаковок в n-мерном евклидовом пространстве / В. И. Левенштейн // Доклады АН СССР. – 1979. – Т. 245, № 6. – С. 1299–1303.
5. Мухачева, А. С. Задачи двумерной упаковки в контейнеры: новые подходы к разработке методов локального поиска оптимума / А. С. Мухачева, А. Ф. Валеева, В. М. Картак. – Москва : МАИ, 2004. – 193 с.
6. Севостьянов, П. А. Статистическая имитация растяжения и разрыва пряжи / П. А. Севостьянов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1981. – № 3. – С. 9–13.
7. Севостьянов, П. А. Компьютерное моделирование статистической динамики удлинения и разрыва тканого полотна / П. А. Севостьянов, Т. А. Самойлов // Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности : сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности» Международного Косыгинского Форума «Современные задачи инженерных наук», 16 октября 2019 г. – Москва : ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2019. – 225 с. – С. 58–62.
8. Монахов, В. В. Особенности и методы моделирования деформации и разрыва тканых полотен / В. В. Монахов, Т. А. Самойлова, П. А. Севостьянов // Всероссийская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция "Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы" (Поиск – 2019) : сборник материалов, 24-26 апреля 2019 г. : в 2 ч. / ФГБОУ ВО "Ивановский государственный политехнический университет". – Иваново, 2019. – Ч. 1. – С. 32–35.
9. Робастность моделей разрыва тканых полотен / П. А. Севостьянов [и др.] // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы докладов международной научно-технической конференции, посвященной Году науки, Витебск, 21-22 ноября 2017 г. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2017. – С. 295–298.
10. Поперечные модели комбинированных нитей и пряжи / П. А. Севостьянов [и др.] // Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности ; специальный выпуск на английском языке. – 2011. – № 7. – С. 65–69.
11. Севостьянов, П.А. Имитационная статистическая модель рыхления и очистки волокнистого материала/ Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Монахов В.В., Ордов К.В. // Вестник Витебского государственного технологического университета . – 2016. – № 1(30). – С. 54.

## REFERENCES

1. Rashkovan, I. G. Methods for assessing the distribution of fibers along the cross sections of yarn. – M.: Light Industry, 1970. – 200 p.
2. Sevostyanov, P. A. Computer models in the mechanics of fibrous materials : monograph. – M.: "Tiso Print", 2013. – 254 p.
3. Investigation of pore structure in computer models of dense and loose packages of spherical particles / V. P. Voloshin [et al.] // Journal of structural chemistry. – 1999. – Vol. 40 (4). – P. 681–692.
4. Levenshtein, V. I. On boundaries for packages in n-dimensional Euclidean space / V. I. Levenshtein // Reports of the USSR Academy of Sciences. – 1979. – Vol. 245, No. 6. – P. 1299–1303.
5. Mukhacheva, A. S. Tasks of two-dimensional packaging in containers: new approaches to the development of methods for local optimum search / A. S. Mukhacheva, A. F. Valeeva, V. M. Kartak. – M. : MAI, 2004. – 193 p.
6. Sevostyanov, P. A. Statistical imitation of stretching and breaking of yarn / P. A. Sevostyanov // Izv. universities, Technology of the textile industry. – 1981. – №. 3. – P. 9–13.
7. Sevostyanov, P. A. Computer modeling of the statistical dynamics of elongation and rupture of the woven fabric / P. A. Sevostyanov, T. A. Samoilova // Modern engineering problems of key industries: a collection of scientific papers of the International scientific and technical symposium "Modern engineering problems of key industries" of the International Kosygin Forum "Modern problems of engineering sciences" (October 16, 2019). – M. : FSBEI HE "Russian State University named after A.N. Kosygin ", 2019. – P. 58–62.
8. Monakhov, V. V. Features and methods of modeling the deformation and rupture of woven fabrics / V. V. Monakhov, T. A. Samoilova, P. A. Sevostyanov // Young scientists – the development of the National Technological Initiative (SEARCH – 2019): Sat. materials of the All-Russian (with international participation) youth scientific and technical conference. – Ivanovo : IVGPU, 2019. – Part 1. – P. 32–35.
9. The robustness of the models of woven fabric rupture p. A. Sevostyanov [et al.] // Innovative technologies in the textile and light industry: materials of reports of the international scientific and technical conference dedicated to the Year of science, Vitebsk, November 21-22, 2017 / EI "VSTU". – Vitebsk, 2017. – P. 295–298.
10. Cross-sectional models of combined threads and yarns / P. A. Sevostyanov [it al.] // Izv. Universities. Technology of the textile industry ; Special Issue in English. – 2011. – No. 7. – P. 65–69.
11. Севостьянов, П.А. Имитационная статистическая модель рыхления и очистки волокнистого материала/ Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Монахов В.В., Ордов К.В. // Вестник Витебского государственного технологического университета . – 2016. – № 1(30). – С. 54.

## SPISOK LITERATURY

1. Rashkovan, I. G. Metody ocenki raspredelenija volokon po poperechnym sechenijam prjazhi / I. G. Rashkovan. – Moskva : Legkaja industrija, 1970. – 200 s.
2. Sevost'janov, P. A. Komp'juternye modeli v mehanike voloknistyh materialov : monografija / P. A. Sevost'janov. – Moskva : «Tiso Print», 2013. – 254 s.
3. Issledovanie struktury por v komp'juternyh modeljah plotnyh i ryhlyh upakovok sfericheskikh chastic / V. P. Voloshin [i dr.] // Zhurnal strukturnoj himii. – 1999. – T. 40 (4). – S. 681–692.
4. Levenshtejn, V. I. O granicah dlja upakovok v n-mernom evklidovom prostranstve / V. I. Levenshtejn // Doklady AN SSSR. – 1979. – T. 245, № 6. – S. 1299–1303.
5. Muhacheva, A. S. Zadachi dvumernoj upakovki v kontejnery: novye podhody k razrabotke metodov lokal'nogo poiska optimuma / A. S. Muhacheva, A. F. Valeeva, V. M. Kartak. – Moskva : MAI, 2004. – 193 s.
6. Sevost'janov, P. A. Statisticheskaja imitacija rastjazhenija i razryva prjazhi / P. A. Sevost'janov // Izvestija vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1981. – № 3. – S. 9–13.
7. Sevost'janov, P. A. Komp'juternoe modelirovanie statisticheskoi dinamiki udlinenija i razryva tkanogo polotna / P. A. Sevost'janov, T. A. Samojlov // Sovremennye inzhenernye problemy ključevyh otraslej promyshlennosti : sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo simpoziuma «Sovremennye inzhenernye problemy ključevyh otraslej promyshlennosti» Mezhdunarodnogo Kosygin'skogo Forumy «Sovremennye zadachi inzhenernyh nauk», 16 oktjabrja 2019 g. – Moskva : FGBOU VO «RGU im. A.N. Kosygina», 2019. – S. 58–62.
8. Monahov, V. V. Osobennosti i metody modelirovanija deformacii i razryva tkanyh poloten / V. V. Monahov, T. A. Samojlova, P. A. Sevost'janov // Vserossijskaja (s mezhdunarodnym uchastiem) molodjozhnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija "Molodye uchenye – razvitiju Nacional'noj tehnologicheskoi iniciativy" (Poisk – 2019) : sbornik materialov, 24-26 aprelja 2019 g. : v 2 ch. / FGBOU VO "Ivanovskij gosudarstvennyj politehnicheskij universitet". – Ivanovo, 2019. – Ch. 1. – S. 32–35.
9. Robastnost' modelej razryva tkanyh poloten / P. A. Sevost'janov [i dr.] // Innovacionnye tehnologii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti : materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii, posvjashhennoj Godu nauki, Vitebsk, 21-22 nojabrja 2017 g. / UO "VGTU". – Vitebsk, 2017. – S. 295–298.
10. Poperechnye modeli kombinirovannyh nitej i prjazhi / P. A. Sevost'janov [i dr.] // Izv. Vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti ; special'nyj vypusk na anglijskom jazyke. – 2011. – № 7. – S. 65–69.
11. Sevost'janov, P.A. Imitacionnaja statisticheskaja model' ryhleniya i ochistki voloknistogo materiala/ Sevost'janov P.A., Samojlova T.A., Monahov V.V., Ordov K.V. // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta . – 2016. – № 1(30). – S. 54.

Статья поступила в редакцию 11.03.2019