

УДК [677.022:677.027.653]:677.017.3

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ФЛОКИРОВАННОЙ НИТИ ПО ПЛОТНОСТИ ВОРСА**

**DEVELOPMENT OF THE METHOD OF DESIGNING
OF A FLOCK THREAD BY PILE DENSITY**

З.Р. СЦЕПУРЖИНСКАЯ, К.Э. РАЗУМЕЕВ
Z.R. STSTPURZHINSKAYA, K.E RAZUMEEV

(Московский государственный текстильный университет им. А. Н. Косыгина)
(Moscow State Textile University "A. N. Kosygin")
E-mail: office@msta. ac. ru

Разработан метод проектирования флокированной нити по плотности ворса, включающий: геометрические модели упаковок волокон и коэффициенты заполнения флокированной поверхности ворсом; концепцию оценки степени доступности поверхности стержневой нити для флота с учетом геометрии ворса на ее цилиндрической поверхности; математические модели для определения теоретически возможной плотности ворса, в том числе с учетом наклона волокна и угла наклона ворса для оценки эффективности флокирования; программу для ЭВМ "Оптимизация плотности ворса".

The method of designing of a flock thread by pile density has been developed, including: geometrical models of fiber packages and coefficients of filling the flock surface with pile; concept of estimation of the degree of rod thread surface availability for flock subject to pile geometry on its cylinder surface; mathematical models for determination theoretically possible pile density, particularly subject to fiber incline and angle of pile slope for estimation of flocking efficiency; the computer program "Optimization of pile density".

Ключевые слова: электрофлокирование, проектирование, флокированная нить, плотность ворса, геометрические модели.

Keywords: electric flocking, designing, a flocking thread, pile density, geometrical models.

Специфическая характеристика флокированных материалов – плотность ворса (количество волокон на 1 мм² поверхности, 1/мм²) – определяет их качество и опти-

мальность самого процесса электрофлокирования. Теория образования ворсового покрова [1], разработанная профессором Бершевым Е. Н., на которой базируется

технология флокирования, подразумевает знание максимальной и заданной (или действительной) плотности ворса еще до получения флокированной нити, поэтому актуально разработать метод расчета максимальной плотности ворса теоретически на стадии ее проектирования.

Относительная площадь $S_{от}$ (%) – доля общей площади флокируемой поверхности, закрытая закрепившимися волокнами, нанесенными на 1мм^2 поверхности флокированного материала с клеем, – рассчитывается по формуле, приведенной в [1]:

$$S_{от} = nS_0 \cdot 100 = \frac{\pi d^2}{4} n \cdot 100(\%), \quad (1)$$

где n – плотность ворса флокированного материала, $1/\text{мм}^2$; S_0 – площадь нормального сечения волокна флокатора, мм^2 ; d – диаметр флокатора, мм .

Величина $S_{от}$ характеризует густоту ворса и имеет практическое значение, позволяя сравнивать относительные площади, занятые ворсом для флокированных материалов с разными размерами волокон.

Для теоретического расчета максимальной плотности ворса вводим характеристику – коэффициент заполнения K_3 [2], измеряемый в долях единицы и отражающий теоретически возможную максималь-

ную долю общей площади, занятую волокнами флокатора (без учета их наклона, считаем волокно цилиндрическим), закрепившимися в клеевом слое флокированного материала. Таким образом, для расчета теоретически возможной максимальной плотности ворса по формуле (2) требуется знание коэффициента заполнения K_3 :

$$n_{max} = \frac{K_3}{S_0} (1/\text{мм}^2). \quad (2)$$

В литературе нет единого мнения, каким образом считать коэффициент заполнения, а от его величины зависит теоретический расчет максимальной плотности ворса, а также важных технологических параметров – расхода флокатора и производительности флокаторов. Коэффициент заполнения рассчитывается теоретически, например, исходя из принятого вида упаковки волокон, отражающей гипотетическое расположение ворсинок согласно принятой схеме без учета их наклона. Это может быть треугольная упаковка: верхняя оценка (рис. 1-а, б) [1] и нижняя оценка (рис. 1-в, где удаленными следует считать заштрихованные круги) [3],[4] или квадратная решетка (рис. 1-г) [1].

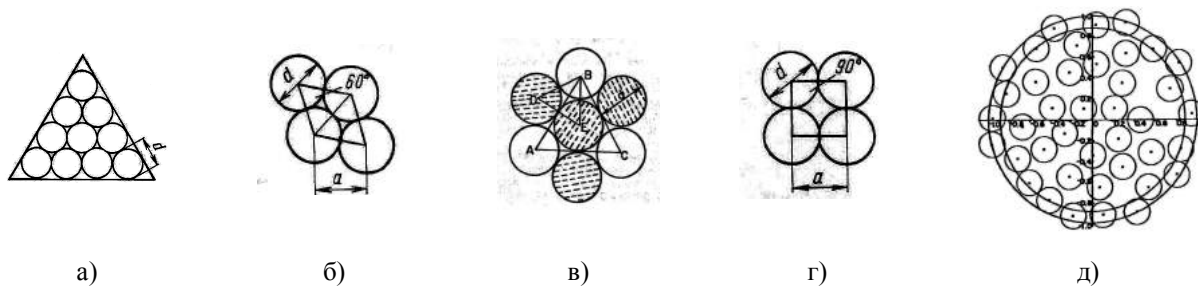


Рис. 1

В [5] максимальную плотность ворса n_{max} определяли в инвариантном виде методом Монте-Карло на ЭВМ – методом последовательных генераций в круге единичного радиуса случайных точек, представляющих центры ворсинок (рис. 1-д).

В табл. 1 приведены формулы расчета максимальной плотности ворса и соответ-

ствующие им коэффициенты заполнения K_3 для перечисленных выше гипотетических моделей (строки 1..4) и значения теоретически возможной максимальной плотности ворса n_{max} ($1/\text{мм}^2$), рассчитанные по формуле (2) для флокатора диаметром 0,019 мм.

№ п/п	Вид упаковок волокон	Формулы для расчета плотности ворса	K_3 , доли единицы	n_{\max} , 1/мм ²
1	Треугольная решетка (верхняя оценка)	$n''_{\max} = \frac{1}{2} \frac{\pi}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)^{-1}$ (3)	0,907	3130
2	Треугольная решетка (нижняя оценка)	$n'_{\max} = \frac{\pi}{6 \cdot \sqrt{3}} \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)^{-1}$ (4)	0,302	1046
3	Аналитическое вычисление S' по методу Монте-Карло на ЭВМ	$n_{\max} = S' \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)^{-1}$ (5)	0,585	2019
4	Квадратная решетка (плотная упаковка)	$n_{\max} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)^{-1}$ (6)	0,785	2709
5	Квадратная решетка не плотная (верхняя оценка)	$n''_{\max} = \frac{\pi}{8} \cdot \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)^{-1}$ (7)	0,392	1353
6	Квадратная решетка не плотная (нижняя оценка)	$n'_{\max} = \frac{\pi}{16} \cdot \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)^{-1}$ (8)	0,196	707

В работе [6] экспериментально обосновано, что для полиамидного флока длиной 1 мм и диаметром 0,019 мм фактическая плотность ворса флокированной нити при оптимальном флокировании составляет примерно 1000...1050 1/мм², что в два или три раза меньше теоретически рассчитанных значений (табл.1, строки 1,3,4). Фактически достижимая плотность ворса флокированной нити при оптимальном флокировании аналогичным флоком на разработанной экспериментальной установке составила в среднем 600...650 (1/мм²) [2]. Столь существенную разницу между теоретическими и фактическими плотностями объясняют действием различных факторов, снижающих плотность ворса и, в том числе, наклонным закреплением ворсинок [1]. Следовательно, коэффициенты запол-

нения, полученные на основе рассмотренных схем упаковок волокон и сами схемы, не могут рассматриваться как универсальные при расчете теоретической максимальной плотности ворса. Поэтому для верхней и нижней оценок возможного расположения волокон предложим упаковки, показанные на рис. 2-а, б, где удаленными следует считать заштрихованные круги, схематично представляющие сечения волокон флока. Такое удаление не оставит места для закрепления других волокон того же диаметра при бесконечно малом уменьшении сторон квадрата 1567 (рис. 2-а, б), в вершинах которого располагаются ворсинки. Назовем такую упаковку квадратной не плотной, в отличие от упаковки, показанной на рис. 1-г.



Рис. 2

Значения теоретической максимально-возможной плотности ворса для волокон с указанным выше диаметром, расположенных в квадратной не плотной решетке, показаны в табл. 1 (строки 5,6). Таким образом, предложенная геометрическая модель плотности ворса в виде квадратной не плотной решетки и определенные на ее основе коэффициенты заполнения K_3 позволяют рассчитать максимальную теоретическую плотность ворса в диапазоне реальных значений.

Исследования [1], [4] показывают, что в процессе полета до заданной плоскости (покрытой клеем стержневой нити или полотна) волокно совершает колебательные движения, поэтому его траектория не совсем совпадает с направлением силовых линий электрического поля, то есть волокно не полностью ориентировано вдоль силовых линий. Кроме того, возможны взаимные столкновения волокон при внедрении в клеевой слой и другие возмущающие явления. Все это приводит к тому, что волокно закрепляется в клеевом слое с некоторым средним не равным нулю углом $\bar{\varphi}$.

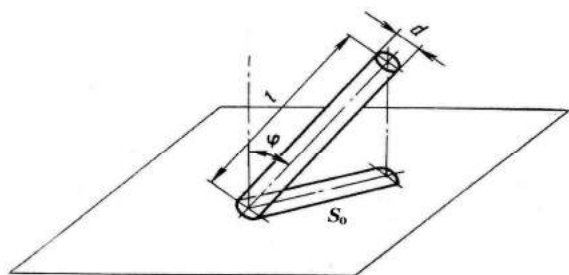


Рис. 3

Таким образом, особенность состоит в том, что их конечная ориентация фиксируется в клеевом слое и характеризуется средним углом закрепления волокон $\bar{\varphi}$ (рис. 3) – углом между вертикалью к поверхности нанесения ворса и осью волокна – и зависит от технологического режима флокирования. Средний угол наклона волокон $\bar{\varphi}$, отражающий их способность к ориентации в данном электрическом поле, зависит также от электропроводности волокон и может меняться посредством различных химических обработок. Чем он мень-

ше, тем волокна располагаются более радиально по отношению к боковой поверхности стержневой нити и соответственно больше плотность нанесения ворса.

Теория образования ворсового покрова [1], помимо вычисления коэффициента заполнения K_3 , требует вычисления площади проекции наклонно закрепленного волокна. Площадь S_0 (мм^2), занятая одним волокном, имеющим угол наклона φ , определяется как площадь проекции волокна (рис. 3) по формуле (9) [1]. Для плоских флокированных материалов такая концепция вычисления площади проекции, занятой наклонным волокном, вполне оправдана, хотя утверждение, что на проекции закрепленного волокна не может произойти закрепления новых волокон [1], не является строгим [7]. Тогда теоретически возможную максимальную плотность ворса n_{max} ($1/\text{мм}^2$) с учетом наклона волокна находим по формуле (10).

Из формулы (11) получено выражение для нахождения расчетного среднего угла наклона волокон $\bar{\varphi}_{\text{расч}}$ по имеющейся плотности ворса и геометрическим размерам волокон флока (d – диаметр волокна флока, мм; l – длина волокна флока, мм) [1].

В случае, если флокированный материал – нить, необходимо учитывать геометрию ворса на ее цилиндрической поверхности. Так как при флокировании нити волокна ворса располагаются радиально по отношению к поверхности стержневой нити и диаметр стержневой нити с клеем сравним или в разы и десятки раз меньше длины волокна флока, то концепция расчета проекции закрепленного волокна отличается от предыдущей для плоского флокированного материала. Радиальное расположение волокон на цилиндрической боковой поверхности при учете вышеизложенного допускает размещение других волокон на площади проекции наклонного волокна, как если бы оно было расположено на плоскости. Принимаем за максимально возможное не заполняемое расстояние между соседними ворсинками при флокировании нити расстояние, равное диаметру волокна флока d [2]. С учетом этого допущения для вычисления площади

проекции закрепленного волокна, характеризующей степень доступности поверхности флокируемой нити для волокон флока, вместо длины волокна берем его диаметр. Тогда формула (9) принимает вид (12), а формула (10) – вид (13), из которой можно получить выражение (14) для нахождения угла наклона φ волокна по имеющейся

плотности ворса n и диаметру d волокна флока. Имеющиеся и разработанные математические модели для определения площади проекции наклонного волокна S_0 , максимальной теоретической плотности ворса n_{\max} и угла наклона φ волокна ворса показаны в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Математические модели для плоского флокированного материала	Разработанные математические модели для флокированной нити
$S_0 = d\ell \sin\varphi + \cos \frac{\pi d^2}{4} \cos\varphi \quad (9)$	$S_0 = d^2 \sin\varphi + \frac{\pi d^2}{4} \cos\varphi \quad (12)$
$n_{\max} = \frac{K_3}{S_0} = \frac{K_3}{d\ell \sin\varphi + \frac{\pi d^2}{4} \cos\varphi} \quad (10)$	$n_{\max} = \frac{K_3}{S_0} = \frac{K_3}{d^2 \sin\varphi + \frac{\pi d^2}{4} \cos\varphi} \quad (13)$
$\varphi = \arcsin \frac{\frac{K_3}{n} \ell + \frac{\pi d}{4} \sqrt{\frac{\pi^2}{16} d^4 + \ell^2 d^2 - \frac{K_3^2}{n^2}}}{d\ell^2 + \frac{\pi^2 d^3}{16}} \quad (11)$	$\varphi = \arcsin \frac{K_3 - \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{\pi^2 d^4 n^2}{16} + d^4 n^2 - K_3^2}}{nd^2 + \frac{\pi^2 d^2 n}{16}} \quad (14)$

Разработанные на основе выдвинутой концепции оценки степени доступности поверхности флокируемой нити для волокон флока математические модели (12)...(14) проверим экспериментально. При оптимальных параметрах флокирования была наработана флокированная нить линейной плотности 270 текс, в которой в качестве ворса был использован полиамидный флок линейной плотности 0,33 текс со средней длиной $\ell = 1,0$ мм и диаметром $d = 0,019$ мм. Фактическая средняя плотность ворса флокированной нити составила $n = 570$ 1/мм². Рассчитанный по формуле (14) с коэффициентом заполнения, равным $K_3 = 0,196$, определенным по (8), угол $\bar{\varphi}$ наклона волокон ворса равен 10,6 град; угол $|\bar{\varphi}_3|$, найденный прямым измерением по фотографиям, составил 10,2 град [2], что практически соответствует расчетному углу.

На основе зависимостей (10) и (13) разработана программа "Оптимизация плотности ворса" на ЭВМ в вычислительной среде MathCAD, предназначенная для проектирования флокированных полотен и нитей по плотности ворса с учетом пред-

полагаемого среднего угла наклона флока, его геометрических размеров (длины с учетом заглубления в клеевом слое, диаметра), линейной плотности, плотности вещества флока и коэффициента заполнения [8].

В Ы В О Д Ы

1. Разработанные геометрические модели плотности ворса в виде квадратной не плотной решетки и определенные на ее основе коэффициенты заполнения (0,392 – верхняя оценка; 0,196 – нижняя оценка) флокированной поверхности волокнами ворса позволяют рассчитать теоретически возможную максимальную плотность ворса в диапазоне реальных значений на стадии проектирования флокированной нити.

2. Выдвинутая концепция оценки степени доступности поверхности нити для волокон флока и математические модели, полученные на ее основе, позволяют проектировать флокированную нить по показателю плотности ворса при предполагаемом угле наклона волокна флока, а также решать обратную задачу – по имеющейся плотности ворса и диаметру флока, при максимально возможном не заполняемом

волокнами пространстве между соседними волокнами, равным их диаметру, вычислять средний угол закрепления ворса и по его величине оценивать эффективность процесса флокирования нити.

3. Разработанная программа "Оптимизация плотности ворса" обеспечивает проектирование флокированных полотен и нитей по показателю плотности ворса с учетом среднего угла наклона волокон флюка, его геометрических размеров, плотности вещества и коэффициента заполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бершев Е.Н.* Электрофлокирование (нанесение ворса в электрических полях). – М.: Легкая индустрия, 1977.

2. *Сцепуржинская З.Р.* Разработка и исследование технологии флокированной нити: Дис...канд. техн. наук. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2011.

3. *Семенов В. А., Бершев Е. Н.* К определению максимальной плотности ворсового покрова с учетом геометрии и статистических характеристик

ансамбля волокон в производстве нетканых материалов методом электрофлокирования // Новые полимерные материалы и материаловедение в легкой промышленности. – М., 1978. С. 17...24.

4. *Бершев Е. Н.* Физические основы технологии электрофлокирования. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1984.

5. *Семенов В. А.* Максимальная плотность ворсового покрова, достижимая методом электрофлокирования // Текстильная промышленность. – 1981, № 12. С. 39...40.

6. *Грачева Л. С.* Исследование и разработка физико-технологических основ процесса нанесения ворса на поверхность нитеподобных материалов: Дис...канд. техн. наук. – Л.: ЛИТЛП им. С.М. Кирова, 1980.

7. *Семенов В. А.* Теория и практика электрофлокирования. – М.: Изд-во ВЗПИ, 1992.

8. *Сцепуржинская З. Р.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010616145 Оптимизация плотности ворса. 17 сентября 2010 г.

Рекомендована кафедрой прядения. Поступила 23.05.12.