

**РАСЧЕТ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ И ДИАМЕТРА
ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ПРЯЖИ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ КОЭФФИЦИЕНТА КРУТКИ**

**CALCULATION OF BULK DENSITY AND COTTON YARN
DIAMETER DEPENDENT ON
TWIST COEFFICIENT**

*И.В. ОЛЕНИНА¹, Ю.С. ШУСТОВ², В.П. ЗИНОВЬЕВ¹, В.И. РУБЦОВ¹, А.Н. ТИМОШЕНКО¹
О.В. ИСАЕВ¹, А.Г. СЕИТОВА¹*

*I.V. OLENINA, Yu.S. SHUSTOV, V.P. ZINOVYEV, V.I. RUBTSOV, A.N. TIMOSHENKO
O.V. ISAEV, A.G. SEITOVA*

*(Государственный научный центр Российской Федерации –
Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна,*

²Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

*(¹State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center
of Federal Medical Biological Agency,
²The Kosygin State University of Russia)*

E-mail: zvp.2013@yandex.ru; 6145293@mail.ru

В статье описывается метод расчета объемной плотности и диаметра хлопчатобумажной пряжи в зависимости от коэффициента крутки. Научная новизна и интерес настоящей работы заключается в определении степени влияния такого фактора, как коэффициент крутки, на объемную плотность волокон хлопка, имеющих существенное отличие от волокон шерсти по длине, линейной плотности и степени извитости, данные по которым приведены в работе. Сравнение двух принципиально разных видов волокон по степени их влияния на объемную плотность пряжи и ее диаметр имеет важное значение при проектировании продуктов текстильного производства.

Одной из главных задач настоящей работы являлась проверка работоспособности модели применительно к хлопчатобумажной пряже. С этой целью проведен однофакторный эксперимент, в котором исследовалось 4 образца хлопчатобумажной пряжи разных систем прядения, степени скрученности и волокнистого состава. Предложена научно обоснованная математическая модель зависимости объемной плотности хлопчатобумажной пряжи от коэффициента крутки. Представлены сравнительные графики зависимости диаметров хлопчатобумажной пряжи от коэффициента крутки, полученные по формулам различных авторов (Брашлера, Афончикова, Будникова).

The article describes a method for calculating the bulk density and diameter of cotton yarn depending on the twist coefficient. The scientific novelty and interest of this work lies in determining the degree of influence of such a factor as the twist coefficient on its bulk density for cotton fibers, which have a significant difference from wool fibers in length, linear density and degree of crimp, the data for which are given in the work. Comparison of two fundamentally different types of fibers in terms of the degree of their influence on the bulk density of the yarn and its diameter is important in the design of textile products.

One of the main objectives of this work was to test the performance of the model in relation to cotton yarn. For this purpose, a one-factor experiment was carried out, in which 4 samples of cotton yarn of different spinning systems, degree of twisting and fiber composition were studied. A scientifically substantiated mathematical model of the dependence of the bulk density of cotton yarn on the twist coefficient is proposed. Comparative graphs of the dependence of the diameters of cotton yarn on the twist coefficient are presented, obtained by the formulas of various authors (Brashler, Afonchikova, Budnikova).

Ключевые слова: хлопчатобумажная пряжа, поперечник (диаметр) пряжи, хлопковые волокна, объемная плотность пряжи, линейная плотность пряжи, гексагональное расположение волокон, сечение пряжи.

Keywords: cotton yarn, diameter (diameter) of yarn, cotton fibers, bulk density of yarn, linear density of yarn, hexagonal arrangement of fibers, yarn section.

Введение

Вопросы, связанные с прониканием аэрозольных частиц через материалы средств индивидуальной защиты, применительно к предприятиям, имеющим опасные химические или радиационно опасные производства, являются актуальными и неразрывно связаны с объемной плотностью используемых материалов для СИЗ. В частности, объемная плотность пряжи или нитей, из которых изготовлена ткань или фильтрующий материал, имеет принципиальное значение как фактор, непосредственно влияющий на защитные свойства материала в целом.

В настоящее время во всех расчетах, связанных с определением условного диаметра пряжи, используется следующая формула, полученная из предположения об округлости ее поперечного сечения:

$$d = 0,0357 \sqrt{\frac{T}{\gamma}}, \quad (1)$$

где d – диаметр пряжи, мм; T – линейная плотность пряжи, текс; γ – объемная плотность пряжи, мг/мм³.

Однако существуют и другие математические модели [1...9] для расчета диаметра хлопчатобумажной пряжи, которые связывают такие ее свойства, как линейная плотность и коэффициент крутки α , и лишь в одной модели, предложенной профессором Ф.А. Афончиковым, в формуле фигурирует объемная плотность пряжи в

виде усредненной константы, что не корректно, так как объемная плотность зависит в свою очередь и от степени скрученности (коэффициента крутки α), и от толщины самой пряжи, то есть от числа волокон в ее поперечном сечении.

В работе [4] содержатся результаты исследований, проведенных с целью определения объемной плотности и диаметра аппаратной шерстяной пряжи в зависимости от коэффициента крутки. Предложенная модель имеет вид:

$$\gamma(T_\phi, \alpha_\phi) = \gamma_0 + [\gamma(T_\phi, \alpha_t) - \gamma_0] K_1 \frac{J}{H} - \frac{K_2 \frac{H}{H_1}}{K_2 + \alpha_\phi \frac{H}{H_1}} \quad (2)$$

где T_ϕ – линейная плотность исследуемой пряжи; $\gamma(T_\phi, \alpha_\phi)$ – объемная плотность исследуемой пряжи линейной плотности T_ϕ с коэффициентом крутки α_ϕ ; γ_0 – объемная плотность ровницы, из которой была получена данная пряжа (принимается одинаковой для любого вида пряжи – гребенной или кардной, т.к. в ровнице преобладают воздушные промежутки и значение γ_0 существенно меньше, чем объемная плотность пряжи); $\gamma(T_\phi, \alpha_t)$ – объемная плотность исследуемой пряжи рассматриваемой линейной плотности и состава, но при степени скрученности, соответствующей табличному значению (т.е.

при $\alpha_t = 80$). Определяется этот показатель по формуле, предложенной в [4]:

$$\gamma(T_\phi, \alpha_t) = \gamma_t \frac{40^m}{T_\phi^m}, \quad (3)$$

где γ_t – табличное значение объемной плотности пряжи при $T_t = 40$ текс; m – параметр, характеризующий тонины, извитость волокон и упорядоченность структуры пряжи из табл. 1 (определен экспериментально для различных видов волокон и систем прядения).

Здесь нужно отметить, что формула (3) учитывает фактор, влияющий на величину объемной плотности пряжи, которым нельзя пренебрегать. Это зависимость плотности от толщины пряжи. Функция $\gamma(T_\phi, \alpha_t)$ отражает изменение объемной плотности исследуемой пряжи от ее толщины при фиксированном значении α_t и имеет убывающий характер.

Ранее определены значения параметра m и γ_t для гребенной и кардной хлопчатобумажной пряжи при степени скрученности $\alpha_t = 80$. Эти значения содержатся в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Наименование вида волокон	Одиночная пряжа			
		m	γ_t , мг/мм ³	T_t , текс	α_t
1	Хлопковое волокно I – III типа (для гребенной пряжи)	0.195	0.73	40	80
2	Хлопковое волокно IV – VII типа (для кардной пряжи)	0.235	0.68	40	80

Научные исследования

Одной из главных задач настоящей работы являлась проверка работоспособности модели (2) применительно к хлопчатобумажной пряже. С этой целью проведен однофакторный эксперимент, в котором исследовалось 4 образца хлопчатобумажной пряжи разных систем прядения, степени скрученности и волокнистого состава.

При проведении эксперимента и дальнейших расчетов в работе принята следующая модель строения хлопчатобумажной пряжи с определенными допущениями:

- пряжа имеет слоистую структуру;
- волокна в одном слое расположены по винтовым линиям примерно на одинаковом расстоянии от оси пряжи;
- волокна имеют круглое сечение;
- все волокна имеют одинаковый диаметр;
- волокна в поперечном сечении пряжи при максимальной степени скрученности пряжи имеют гипотетически максимально возможную плотность упаковки, обеспечиваемую их гексагональным расположением (как соты в улье).

Исходя из гексагональности структуры пряжи, изображенной на рис. 1 (гексаго-

нальная гипотетическая модель расположения волокон в пряже кольцевого способа прядения), легко получается максимально возможная объемная плотность пряжи, используемая при расчетах коэффициентов K_1 и K_2 в системе уравнений (4).

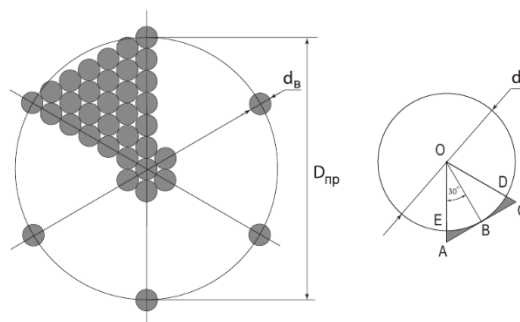


Рис. 1

Максимально возможная объемная плотность хлопчатобумажной пряжи рассчитывается из условия доли площади сечения, занятой волокнами. Легко вычислить, что $S_{\text{полезн}} = 0,907$ от общей площади сечения пряжи. В этом случае, имея в виду, что объемная плотность волокон хлопка равна объемной плотности целлюлозы 1,54 мг/мм³, получим $\gamma_{\text{пр}} = 1,54 \cdot 0,907 = 1,49$ мг/мм³. Однако этот случай носит гипотетический характер и реальные цифры

несколько отличаются от приведенных и тем больше, чем больше механические и геометрические свойства волокон отличаются от принятых в наших допущениях. В расчетах принято: коэффициент неидеальности расположения волокон для гребенной пряжи равен 0,9, а для кардной 0,83. В этом случае $\gamma_{\max} = 1,21$ для гребенной пряжи и $\gamma_{\max} = 1,11$ мг/мм³ для кардной. Зна-

чение γ_0 для гребенной и кардной пряжи принято одинаковым, равным 0,12 мг/мм³, что соответствует плотности ровницы.

После определения $\gamma(T_\phi, \alpha_t)$ по формуле (3) вычисляются значения параметров K_1 и K_2 из решения системы уравнений (4) с подстановкой в формулы значений γ_{\max} и γ_0 для хлопчатобумажной пряжи:

$$\begin{cases} \gamma(T_\phi, \alpha_\phi) = \gamma_0 + [\gamma(T_\phi, \alpha_t) - \gamma_0] \cdot K_1 \cdot \left(1 - \frac{K_2}{K_2 + \alpha_\phi^2}\right) \\ \gamma_{\max} = \gamma_0 + [\gamma(T_\phi, \alpha_t) - \gamma_0] \cdot K_1 \cdot \left(1 - \frac{K_2}{K_2 + \alpha_{\max}^2}\right) \end{cases} \quad (4)$$

где α_{\max} принято равным 300, что с лихвой перекрывает значения коэффициента крутки, применяемые для креповой пряжи, и, таким образом, охватывает весь диапа-

зон возможных значений коэффициента крутки, используемый на практике.

Параметры K_1 и K_2 определяются по следующим формулам:

$$K_2 = \alpha_{\max}^2 \frac{\gamma(T_\phi, \alpha_t) - \gamma_{\max}}{(\gamma_{\max} - \gamma_0) - [\gamma(T_\phi, \alpha_t) - \gamma_0] \frac{\alpha_{\max}^2}{\alpha_t^2}}, \quad (5)$$

$$K_1 = \frac{K_2 + \alpha_t^2}{\alpha_t^2}. \quad (6)$$

Результаты экспериментальных исследований и расчетов объемной плотности и диаметра хлопчатобумажной пряжи раз-

личной линейной плотности и системы прядения по предлагаемой математической модели представлены в табл. 2.

Таблица 2

Вид пряжи	Фактическая линейная плотность пряжи, текс	Фактический коэффициент крутки α_ϕ	Фактическая объемная плотность пряжи γ_ϕ , г/мм ³	Расчетная объемная плотность пряжи $\hat{\gamma}$, мг/мм ³	Фактический диаметр пряжи, мм	Расчетный диаметр пряжи, мм
Гребенная	14,4	90	0,830	0,855	0,147	0,146
Кардная	24,2	86	0,663	0,696	0,216	0,211
Гребенная	28,1	87	0,650	0,632	0,234	0,238
Кардная	36,6	96	0,688	0,734	0,259	0,252

ВЫВОДЫ

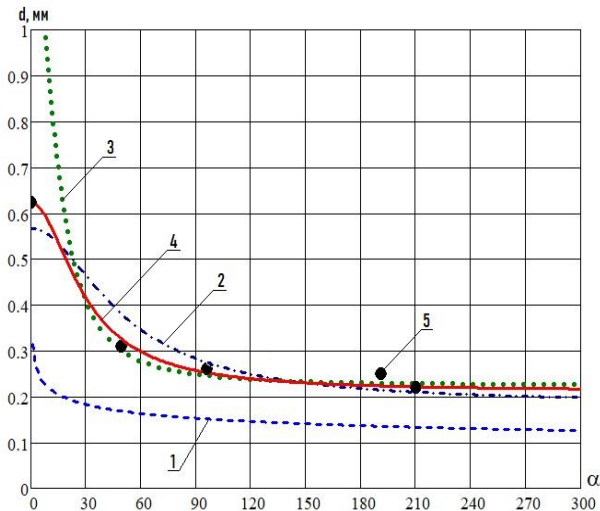


Рис. 2

На рис. 2 (сравнительные графики эмпирических зависимостей диаметра хлопчатобумажной пряжи от коэффициента крутки: 1 – по формуле Е. Брашлера; 2 – по формуле Ф.А. Афончикова; 3 – по формуле В.И. Будникова; 4 – по предлагаемой формуле; 5 – экспериментальные значения) приведен пример результата обработки экспериментальных данных и расчета диаметра пряжи по объемной плотности с использованием предлагаемой модели, а также расчетные значения диаметра по формулам, приведенным в [7...9]. В качестве примера приведены графики изменения диаметра для образца пряжи линейной плотности 36,6 текс, построенные с использованием прикладного математического пакета Mathcad.

Экспериментальное определение параметра m и табличного значения объемной плотности γ_t для хлопчатобумажной пряжи проводилось ранее по методу наименьших квадратов также с использованием пакета Mathcad.

Адекватность предложенной модели проверяли по известной методике, изложенной в [11]. Из рисунка видно, что график предлагаемой функции точнее описывает экспериментальные данные, так как визуально заметно, что отклонения графика предлагаемой функции от экспериментальных значений меньше, чем у графиков, построенных по формулам, приведенным в [7...9].

1. Предложена научно обоснованная математическая модель зависимости объемной плотности хлопчатобумажной пряжи от коэффициента крутки.

2. Графическое сравнение предложенной математической модели с ранее опубликованными формулами определения диаметров x/b пряжи разных авторов (Е. Брашлера, Ф.А. Афончикова, В.И. Будникова) показало, что предложенная модель в большей степени соответствует фактическим значениям, полученным в эксперименте.

3. Результаты могут быть использованы для расчета диаметра хлопчатобумажной пряжи при проектировании тканей и трикотажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Севостьянов А.Г., Осьмин Н.А., Щербаков В.П. и др. Механическая технология текстильных материалов. М.: Легпромиздат, 1989.
2. Щербаков В.П. Прикладная и структурная механика волокнистых материалов. М.: Тико Принт, 2013.
3. Мигушов И.И. Механика текстильной нити и ткани. М.: Легкая индустрия, 1980.
4. Осьмин Н.А., Зиновьев Т.В., Мельников В.В., Зиновьев В.П. Метод расчета объемной плотности и диаметра аппаратной шерстяной пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2001. № 2. С. 45...49.
5. Щербаков В.П., Цыганов И.Б., Полякова Т.И., Скуланова Н.С., Попова Е.Р. Теория и расчет силовых факторов, определяющих равновесную структуру крученой нити // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. №6. С.75...77
6. Корицкий К.И. Инженерное проектирование текстильных материалов. М.: Легкая индустрия, 1971.
7. Будников В.И., Будников И.В., Зотиков В.Е., Канарский Н.Я., Раков А.П. Основы прядения. Ч. 2. М.: Гизлегпром, 1945.
8. Афончиков Ф.А. Влияние крутки на продольный и поперечный размер одиночной хлопчатобумажной пряжи: дис. ... д-ра техн. наук. М.: МТИ, 1941.
9. Брашлер Е. Крепость хлопчатобумажной пряжи; перевод с нем. проф. В.В. Линде, инж. В.И. Будникова. М.: Гизлегпром, 1939.
10. Шустов Ю.С., Кирюхин С.М. Текстильное материаловедение и управление качеством. М.: ИНФРА-М, 2022.

11. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007.

REFERENCES

1. Mechanical technology of textile materials / Sevostyanov A.G., Osmin N.A., Shcherbakov V.P. and others. M.: Legpromizdat, 1989. 512 p.
2. Shcherbakov V.P. Applied and structural mechanics of fibrous materials. M.: Tiko Print, 2013. 304 p.
3. Migushov I.I. Mechanics of textile thread and fabric. M.: Light industry, 1980. 160 p.
4. Osmin N.A., Zinov'ev T.V., Mel'nikov V.V., Zinov'ev V.P. Fiz. Method for calculating bulk density and diameter of hardware wool yarn // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2001 (260). No. 2. P. 45...49.
5. Shcherbakov V.P., Tsyganov I.B., Polyakova T.I., Skulanova N.S., Popova E.R. Theory and calculation of force factors that determine the equilibrium structure of a twisted thread // Izvestiya Vysshikh

Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2012. No. 6. P. 75...77

6. Koritsky K.I. Engineering design of textile materials. M.: Light Industry, 1971. 352 p.
7. Budnikov V.I., Budnikov I.V., Zotikov V.E., Kanarsky N.Ya., Rakov A. P. Fundamentals of spinning. Part two. M.: Gizlegprom, 1945. 312 p.
8. Afonchikov F.A. Influence of twist on the longitudinal and transverse size of a single cotton yarn. Diss ... Doctor of Technical Sciences. M.: MTI, 1941. 173 p.
9. Brashler E. Fortress of cotton yarn: translated from German by prof. V.V. Linde, engineer V.I. Budnikova. M.: Gizlegprom. 1939. 152 p.
10. Shustov Yu.S., Kiryukhin S.M. Textile Materials Science and Managementquality. Textbook. M.: INFRA-M, 2022. 386 p.
11. Sevostyanov A.G. Methods and means of studying the mechanical and technological processes of the textile industry. M.: MGTU n. Kosygin, 2007.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 25.01.23.