

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БЕРДА
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТРЕХМЕРНЫХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ
С ПЕРЕВЯЗКОЙ ОДНОЙ СИСТЕМОЙ НИТЕЙ В ЗОНЕ ФОРМИРОВАНИЯ***

**CALCULATION OF THE REED PARAMETERS
IN TECHNOLOGY OF THREE-DIMENSIONAL ORTHOGONAL FABRICS
WITH CROSSLINK BY A SINGLE SYSTEM OF THREADS
IN THE FORMATION ZONE**

*А. ХАБИБУЛЛОЕВ, А.П. ГРЕЧУХИН, П.Н. РУДОВСКИЙ; И.В. СТАРИНЕЦ, А.В. КУЛИКОВ
A. KHABIBULLOEV, A.P. GRECHUKHIN, P.N. RUDOVSKY, I.V. STARINETS, A.V. KULIKOV*

(Костромской государственной университет)

(Kostroma State University)

E-mail: niskstu@yandex.ru

В статье рассматривается подход к расчету параметров зуба берда при формировании трехмерных ортогональных тканей с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования и многоуточным прокладыванием нитей горизонтального утка. Получены зависимости, которые связывают величины перемещения берда по вертикали и горизонтали с конструктивными размерами зуба берда. Получены формулы, позволяющие провести оценку максимально возможного размера вспомогательного зева, для прокладки кромочной нити, фиксирующей нити вертикального утка при формировании 3D-ортогональных тканей.

The article discusses the approach to calculating the parameters of the reed tooth in the formation of three-dimensional orthogonal tissues with ligation with one system of threads in the formation zone and multiple laying of horizontal weft threads. Relationships are obtained that relate the magnitude of the reed vertical and horizontal movement with the design dimensions of the reed tooth. Formulas have been obtained making it possible to estimate the maximum potential size of the auxiliary shed for laying the hem thread of the vertical weft fixing thread when forming 3D orthogonal fabrics.

Ключевые слова: трехмерная ортогональная ткань, зуб берда, бердо, зев, перевязка нитей, кромочные нити, многоуточная прокладка нитей.

Keywords: three-dimensional orthogonal fabric, reed tooth, reed, pharynx, thread binding, edge threads, multi-thread laying of threads.

Трехмерные тканые материалы получают широкое распространение. Их используют для изготовления различных изделий – лопаток в авиационных двигателях

[1], средствах защиты от пуль [2], [3], в качестве конструкционных материалов [4...8], для изготовления комбинированных антенн [9]. Из группы трехмерных тканых

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-20089, <https://rscf.ru/project/22-29-20089/>

материалов можно выделить трехмерные ортогональные ткани. Изделия на их основе из-за отсутствия изгиба нитей в слоях ткани имеют повышенную на 15...20% прочность к ударным воздействиям [4], [5].



Рис. 1

При этом существуют различные технологические подходы к формированию трехмерных ортогональных тканей [10...13], на основе которых разработана технология получения трехмерных ортогональных тканей с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования [14...16]. Методика построения трехмерной модели ткани, полученной по такой методике, приведена в [17]. В данной технологии перемещение вертикальных уточных нитей осуществляется бердом в зоне формирования. Для этого в зубе берда имеется полость [14]. Полость может быть выполнена как закрытой, так и с окошком для контроля состояния нити (рис. 1).

Ее расположение вместе с конфигурацией нитей основы в рабочей зоне будет определять вспомогательный зев – пространство, образованное нитями, через которое с помощью кромочного фиксатора (рапиры) вводится кромочная нить, обеспечивающая фиксацию утка. Расположение берда при прокладывании кромочной нити показано на рис.2.

На рис. 2 представлены: 1 – бердо; 2 – полость берда; 3 – нити вертикального утка; 4 – нити основы.

Целью настоящей работы является разработка метода расчета параметров зуба берда для определения конструктивно-заправочной линии ткацкого станка при выработке трехмерной ортогональной ткани с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования.

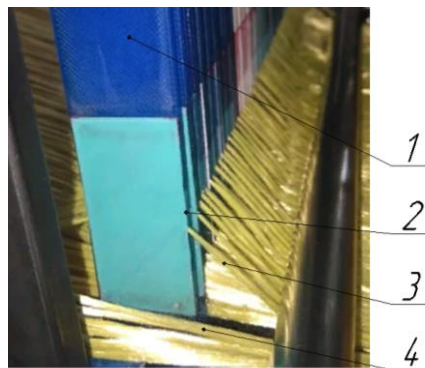


Рис. 2

Методы

Предлагаемый метод расчета не учитывает изгибную жесткость нитей и их трение об элементы оснастки [18]. Положение нитей основы и вертикального утка в зоне формирования представлено на рис. 3.

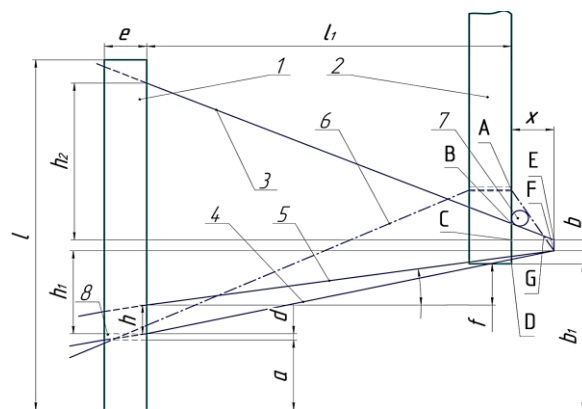


Рис. 3

На рис. 3: 1 – бердо в начальном положении; 2 – бердо в момент прокладывания вертикального утка; 3 – верхняя ветвь нитей основы; 4 – нити вертикального утка; 5 – нижняя ветвь нитей основы; 6 – нить вертикального утка в момент крайнего положения при прокладывании вертикального утка; 7 – кромочный фиксатор (рапира); 8 – полость берда для нитей вертикального утка; а – расстояние от нижней кромки зуба

берда до полости, куда продевается нить утка; ℓ_1 – величина горизонтального перемещения берда; ℓ – высота зуба берда; e – ширина зуба берда; h – расстояние между нитями вертикального утка (поз. 5) и нижней ветвью нитей основы (поз. 4); h_1 – высота нижней части зева (за вычетом толщины ткани); h_2 – высота верхней части зева (за вычетом толщины ткани); b – толщина ткани; b_1 – расстояние, на которое перемещается бердо при прокладывании вертикального утка (высота подъема берда); x – расстояние от опушки ткани, на котором прокладывается кромочная нить; α – угол нижней ветви основы к горизонтали; d – ширина полости в зубе берда (поз.8 на рис. 3); f – вспомогательный параметр; α – угол наклона нижней нити основы к горизонтали.

Длина участка АВ и расстояние x будут определять размер зева – свободного пространства для прокладывания кромочной нити, которая фиксирует вертикальные уточные нити. Очевидно, что подъем берда (b_1) будет определяться размерами зева и расстоянием a .

Можно записать следующее соотношение:

$$L_{AB} = L_{AD} - L_{DC} - L_{BC}. \quad (1)$$

При этом $L_{AD} = a$.

Длина отрезка DC будет определяться конфигурацией нижней части зева, толщиной ткани и высотой подъема берда:

$$L_{DC} = a + d + h_1 + b - b_1. \quad (2)$$

Высота подъема берда будет зависеть от параметров a , d , h и f :

$$b_1 = a + d + h + f. \quad (3)$$

Тогда длина отрезка DC:

$$L_{DC} = h_1 + b - h - f. \quad (4)$$

Величина f будет определяться углом наклона нижней ветви нитей основы к горизонтали и величиной горизонтального перемещения берда:

$$f = (\ell_1 - e)\text{tg}(\alpha). \quad (5)$$

При этом:

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{h_1 - h}{\ell_1 + x}. \quad (6)$$

Длина отрезка BC будет определяться углом наклона верхней ветви нитей основы:

$$L_{BC} = \frac{xh_2}{\ell_1 + x}. \quad (7)$$

Подставив (4)...(7) в (1), получим длину отрезка АВ:

$$L_{AB} = a - h_1 - b + h - \frac{xh_2}{\ell_1 + x} + (\ell_1 - e) \frac{h_1 - h}{\ell_1 + x}. \quad (8)$$

Результаты и обсуждение

На основе формулы (8) проводится подбор необходимых технологических параметров, например величина перемещения берда по вертикали (b_1) и горизонтали (ℓ_1), расположение полости для нитей вертикального утка (a). Важно обеспечить минимально возможные значения параметров b_1 и ℓ_1 , т.к. они будут влиять на производительность оборудования, но при этом обеспечить технологическую возможность прокладывания кромочной нити для вертикального утка. Допустим, что сечение прокладчика близко к кругу, тогда минимальный радиус этой окружности будет определяться радиусом окружности, вписанной в треугольник АВG (рис. 2). В этом случае необходимо определить длины сторон треугольника АВG и по известной формуле определить радиус вписанной в него окружности. Для определения длин сторон треугольника АВG необходимо найти координаты точки G. Они определяются путем расчета точки пересечения двух прямых – AF и BE. Допустим, начало координат расположено в точке D. При этом координаты точек для расчета следующие: A(0; a), B(0; a-L_{AB}), E(x; L_{DC}), F(x; L_{DC} -b). Тогда уравнение прямой AF ($y = f(m)$):

$$\frac{m}{x} = \frac{y-a}{h_1 - h - d - a}. \quad (9)$$

Уравнение прямой BE:

$$\frac{m}{x} = \frac{y-a+L_{AB}}{h_1 - h - f + b - a + L_{AB}}. \quad (10)$$

После преобразования (9) – (10) получим координаты точки G:

$$y = \frac{\delta L_{AB} + a L_{AB} + ab}{L_{AB} + b}, \quad (11)$$

$$m = \frac{(y-a)x}{\delta}, \quad (12)$$

$$\delta = h_1 - h - f - a. \quad (13)$$

Длину отрезка AG (L_{AG}) и BG (L_{BG}) определим через координаты точек ABG по известным из математики зависимостям:

$$L_{AG} = \sqrt{\left(\frac{(y-a)x}{\delta}\right)^2 + \left(\frac{\delta L_{AB} + a L_{AB} + ab}{L_{AB} + b} - a\right)^2}. \quad (14)$$

$$L_{BG} = \sqrt{\left(\frac{(y-a)x}{\delta}\right)^2 + \left(\frac{\delta L_{AB} + a L_{AB} + ab}{L_{AB} + b} - a + L_{AB}\right)^2}. \quad (15)$$

Тогда радиус вписанной в треугольник ABG окружности (r) будет определен также по известной формуле. Зная полупериметр (p) треугольника ABG:

$$r = \sqrt{\frac{(p-L_{AB})+(p-L_{BG})+(p-L_{AG})}{p}}. \quad (16)$$

Минимально возможное значение высоты зуба берда (1) определяется по формуле (17):

$$\ell = a + d + h_1 + h_2 + b. \quad (17)$$

Результаты расчета по предложенным формулам продемонстрируем на примере расчета зуба берда при выработке 3D-ортогональной ткани. Исходные данные и результаты расчета представлены в табл. 1

Т а б л и ц а 1

Исходные данные		Результат расчета	
параметр, мм	значение	параметр, мм	значение
a	45,3	b ₁	95,6
ℓ ₁	215	ℓ	210,5
e	25	f	26,2
b	7	L _{AB}	20,8
h	20,3	L _{AG}	34,3
h ₁	53,5	L _{BG}	20,3
h ₂	101	r	4,5
x	25		

На основе произведенных расчетов изготовлены зубья берда для опытной

установки, реализующей предложенную технологию получения 3D-ортогональных тканей из углеродных и арамидных нитей. На основе проведенных расчетов спроектирована конструктивно-заправочная линия и запрограммированы механизмы горизонтального и вертикального перемещения берда. В развитие этой работы для более точного моделирования в процессе формирования тканей необходимо учитывать жесткость нитей при изгибе и поперечном сжатии по методикам, изложенным в [19], [20].

ВЫВОДЫ

1. Получены зависимости, позволяющие конструировать бердо и механизм прибоа уточных нитей при выработке трехмерных ортогональных тканей.

2. Получены формулы, позволяющие провести оценку максимально возможного сечения прокладчика, прокладываемого кромку для фиксации вертикального утка при формировании 3D-ортогональных тканей с многоуточным прокладыванием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Донецкий К.И., Раскутин А.Е., Хилов П.А., Лукьяненко Ю.В., Белинис П.Г., Коротыгин А.А. Объемные текстильные преформы, используемые при изготовлении полимерных композиционных материалов (обзор) // Труды ВИАМ. – 2015, №9. С.75...83.
2. Yu Y.M., Wang X.J., Lim C.W. Ballistic impact of 3d orthogonal woven composite by a spherical bullet: experimental study and numerical simulation // International Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2009. Vol. 1. P. 1...18.
3. Shi W., Hu H., Sun B., Gu B. Energy absorption of 3D orthogonal woven fabric under ballistic penetration of hemispherical-cylindrical projectile // Journal of the Textile Institute. – 2011. Vol. 110.P. 875...889.
4. Kadir Bilisik, Mansour H. Mohamed. Multiaxis Three-Dimensional Flat Woven Preforms – Tube Carrier Weaving // Textile Research Journal. – Vol 80(8)/2010: 696–711 DOI: 10.1177/0040517509340602.
5. Huang G., Zhong Z.L. Tensile behavior of 3D woven composites by using different fabric structures // MaterDes. – 2002; 23(7): 671...674.
6. Xiwen Jia., Baozhong Sun, Bohong Gu. Ballistic penetration of conically cylindrical steel projectile into 3D orthogonal woven composite: a finite element study at microstructure level // Journal of Composite Materials. – 45(9) 965–987 (2010).

7. Bilisik K, Karaduman NS, Bilisik NE. 3D fabrics for technical textile applications. In: Jeon HY, editor. Non-woven Fabrics. Intec. – 2016. P. 81...141.

8. Xiwen Jia, Zihui Xia, Bohong Gu. Nonlinear numerical predictions of three-dimensional orthogonal woven composite under low-cycle tension using multiscale repeating unit cells // International Journal of Damage Mechanics. – 2015. Vol. 24. P. 338...362.

9. Xin Wang, Lan Yao, Fujun Xu, Dongchun Zhou, Yiping Qiu. Design and Characterization of Conformal Microstrip Antennas Integrated into 3D Orthogonal Woven Fabrics // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – Vol. 7, Issue 2, 2012.

10. US Patent № US3834424. Three-dimensional fabric, and method and loom construction for the production thereof/ Fukuta K; Miyashita R; Sekiguti J; Nagatsuka Y; Tsuburaya S; Aoki E; Sasahara M. – 10.09.1974.

11. US Patent № US4526026. Method and apparatus of producing continuous three-dimensional fabrics / Krauland Jr Konrad – 02.07.1985;

12. US Patent № US5085252. Method of forming variable cross-sectional shaped three-dimensional fabrics / Mohamed Mansour H [Us], Zhang Zhong-Huai [CN] – 04.02.1992.

13. Patent WO2013179037. Method and apparatus for weaving a three-dimensional fabric / Potluri [Gb]; Prasad [Gb]; Jetavat Dhavalinh [Gb] Sharma Sandeep – 2013-12-05.

14. Патент РФ № 2643659, 02.02.18. Гречухин А.П., Ушаков С.Н., Тихомиров Л.А., Зайцев Д.В., Старинец И.В., Селиверстов В.Ю. Способ формирования трехмерной ортогональной ткани.

15. Гречухин А.П., Ушаков С.Н., Рудовский П.Н., Палочкин С.В. Определение рациональных параметров системы заправки нитей при формировании трехмерного ортогонального тканого волокнистого материала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 5. С. 111...115.

16. Ушаков С.Н., Гречухин А.П., Рудовский П.Н., Палочкин С.В. Влияние величины смещения слоя горизонтального утка на плотность расположения вертикальных слоев нитей при формировании трехмерных ортогональных тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С.96...100.

17. Гречухин А.П., Зайцев Д.В., Ушаков С.Н., Рудовский П.Н. Методика построения трехмерной модели ткани из углеродных нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 3. С. 140...144.

18. Grechukhin A.P., Seliverstov V.Y., Rudovskiy P.N. The method of determination of yarn bending rigidity and friction factor during interaction of fibers // The Journal of the Textile Institute. – 2017. T. 108. №12. P. 2067...2072.

19. Гречухин А.П., Рудовский П.Н. Развитие теории строения и формирования однослойных тканей. – Кострома: Костромской государственный университет, 2017. ISBN: 978-5-8285-0917-1

20. Grechukhin A., Sokova G., Rudovskiy P., Korabelnikov A. Carbon fabric 3d modeling according to nonlinear bending theory // The Journal of the Textile Institute. – 2020. V. 111. № 10. P. 1511...1517.

REFERENCES

1. K. I. Donetskii, A. E. Raskutin, P. A. Khilov, Yu. V. Lukyanenko, P. G. Belinis, and A. A. Korotygin. Volumetric textile preforms used in the manufacture of polymer composite materials (review) // Proceedings of VIAM, no. 9, 2015, pp. 75-83.

2. Yu Y.M., Wang X.J., Lim C.W. Ballistic impact of 3d orthogonal woven composite by a spherical bullet: experimental study and numerical simulation // International Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2009. Vol. 1. P. 1...18.

3. Shi W., Hu H., Sun B., Gu B. Energy absorption of 3D orthogonal woven fabric under ballistic penetration of hemispherical-cylindrical projectile // Journal of the Textile Institute. – 2011. Vol. 110.P. 875...889.

4. Kadir Bilisik, Mansour H. Mohamed. Multiaxial Three-Dimensional Flat Woven Preforms – Tube Carrier Weaving // Textile Research Journal. – Vol 80(8)/ 2010: 696–711 DOI: 10.1177/ 0040517509340602.

5. Huang G., Zhong Z.L. Tensile behavior of 3Dwoven composites by using different fabric structures // MaterDes. – 2002; 23(7): 671–674.

6. Xiwen Jia., Baozhong Sun, Bohong Gu. Ballistic penetration of conically cylindrical steel projectile into 3D orthogonal woven composite: a finite element study at microstructure level // Journal of Composite Materials. – 45(9) 965–987 (2010).

7. Bilisik K, Karaduman NS, Bilisik NE. 3D fabrics for technical textile applications. In: Jeon HY, editor. Non-woven Fabrics. Intec. - 2016.-P. 81-141.

8. Xiwen Jia, Zihui Xia, Bohong Gu. Nonlinear numerical predictions of three-dimensional orthogonal woven composite under low-cycle tension using multiscale repeating unit cells // International Journal of Damage Mechanics. – 2015. Vol. 24. P. 338...362.

9. Xin Wang, Lan Yao, Fujun Xu, Dongchun Zhou, Yiping Qiu. Design and Characterization of Conformal Microstrip Antennas Integrated into 3D Orthogonal Woven Fabrics // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – Volume 7, Issue 2 – 2012.

10. US Patent № US3834424. Three-dimensional fabric, and method and loom construction for the production thereof/ Fukuta K; Miyashita R; Sekiguti J; Nagatsuka Y; Tsuburaya S; Aoki E; Sasahara M. – 10.09.1974.

11. US Patent № US4526026. Method and apparatus of producing continuous three-dimensional fabrics / Krauland Jr Konrad – 02.07.1985;

12. US Patent № US5085252. Method of forming variable cross-sectional shaped three-dimensional fabrics / Mohamed Mansour H [Us], Zhang Zhong-Huai [CN] – 04.02.1992.

13. Patent WO2013179037. Method and apparatus for weaving a three-dimensional fabric / Potluri [Gb];

Prasad [Gb]; Jetavat Dhavalsinh [Gb] Sharma Sandeep - 2013-12-05.

14. RF patent No. 2643659, 02.02.18. Grechukhin A.P., Ushakov S.N., Tikhomirov L.A., Zaitsev D.V., Starinets I.V., Seliverstov V.Yu. Method for forming a three-dimensional orthogonal fabric.

15. Grechukhin A.P., Ushakov S.N., Rudovsky P.N., Palochkin S.V. Determination of rational parameters of the threading system during the formation of a three-dimensional orthogonal woven fibrous material // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2018, No. 5. P. 111 ... 115.

16. Ushakov S.N., Grechukhin A.P., Rudovsky P.N., Palochkin S.V. Influence of the offset value of the horizontal weft layer on the density of vertical layers of threads in the formation of three-dimensional orthogonal fabrics Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2018, No. 6. P. 96 ... 100.

17. Grechukhin A.P., Zaitsev D.V., Ushakov S.N., Rudovsky P.N. A technique for constructing a three-

dimensional model of fabric from carbon threads // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2017, No. 3. S. 140 ... 144.

18. Grechukhin A.P., Seliverstov V.Y., Rudovskiy P.N. The method of determination of yarn bending rigidity and friction factor during interaction of fibers // The Journal of the Textile Institute. - 2017. V. 108. No. 12. S. 2067 ... 2072.

19. Grechukhin A.P., Rudovsky P.N. Development of the theory of the structure and formation of single-layer tissues. – Kostroma: Kostroma State University. 2017. ISBN: 978-5-8285-0917-1

20. Grechukhin A., Sokova G., Rudovskiy P., Korabelnikov A. Carbon fabric 3d modeling according to nonlinear bending theory. The Journal of the Textile Institute. 2020. V. 111. No. 10. P. 1511-1517.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования ткани и трикотажа. Поступила 02.11.22.