

УДК 677.024
DOI 10.47367/0021-3497_2024_6_186

**РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ВОЗВРАТА УТОЧНЫХ НИТЕЙ
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ 3D-ОРТОГОНАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ
МНОГОРАПИРНЫМ СПОСОБОМ***

**CALCULATION OF THE RETURN VALUE OF WEFT THREADS DURING THE
FORMATION OF 3D ORTHOGONAL FABRICS BY THE MULTI-RAPIER METHOD**

А.П. ГРЕЧУХИН, П.Н. РУДОВСКИЙ, А.В. КУЛИКОВ, И.В. СТАРИНЕЦ

A.P. GRECHUKHIN, P.N. RUDOVSKY, A.V. KULIKOV, I.V. STARINETS

(Костромской государственный университет)

(Kostroma State University)

E-mail: niskstu@yandex.ru

В статье представлены формулы, с помощью которых оценивается возможность обеспечения возврата длины проложенных уточных нитей с помощью устройств с пружинной кручения в зависимости от конструктивных размеров станка для формирования трехмерных ортогональных тканей многорапирным способом. Расчет величины возврата нитей необходим для

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-20162, <https://rscf.ru/project/24-29-20162/>

оценки динамических характеристик устройства для обеспечения проектируемого уровня производительности станка. Определены размеры зоны прокладывания уточных нитей, установлено, что при использовании конструктивных параметров опытного оборудования предельная величина выхода рапир из зева, когда величина возврата проложенных петлей уточных нитей начинает расти, составляет 225 мм. Угол возврата катушки с уточными нитями колеблется в пределах от 118° до 130° при изменении диаметра намотки по мере срабатывания нитей утка, что позволяет использовать устройства с пружинами кручения.

The article presents formulas for estimating the possibility of ensuring the return of the length of laid weft threads based on devices with a torsion spring depending on the design dimensions of the machine for forming three-dimensional orthogonal fabrics using the multi-ropier method. Calculation of the value of the return of threads is necessary to estimate the dynamic characteristics of the device to ensure the designed level of machine productivity. The dimensions of the weft thread laying zone were determined, it was found that when using the design parameters of experimental equipment, the maximum value of rapier output from the throat when the value of the return of weft threads laid by a loop begins to grow. The return angle of the spool with weft threads varies from 118 ° to 130 ° with a change in the winding diameter as the weft threads are triggered, which allows the use of devices with torsion springs.

Ключевые слова: трехмерная ортогональная ткань, уточная нить, многорапирный ткацкий станок.

Keywords: three-dimensional orthogonal fabric, weft thread, multi-ropier loom.

Трехмерные тканые изделия получили широкое распространение в первую очередь в технике [1...4]. Наибольшее применение они находят при изготовлении объемных преформ для композиционных материалов [5...10]. Перспективным представляется использование их в качестве компонентов средств индивидуальной бронезащиты [11...18].

Для получения трехмерных тканей разработан ряд технологических решений [19...25].

Оригинальный высокопроизводительный способ получения 3D ортогональных тканей предложен в [26...28]. Его особенностью является прокладка нитей двухуточных систем петлей в зоне формирования. Для этого способа в [29, 30] определены рациональные параметры системы заправки нитей, а в [31] установлены основные факторы, влияющие на плотность расположе-

ния нитей горизонтального и вертикального утков. Для их учета в последующем можно использовать методы, изложенные в [32].

При прокладывании уточных нитей петлей создаются их излишки в зоне формирования, которые требуется вернуть на питающую катушку (нитеноситель). Для этого после завершения цикла прокладки утка необходимо повернуть катушку на определенный угол. Это можно осуществить, например, используя пружины кручения, установленные на катушках шпулярика, или электродвигатели, обеспечивающие принудительный поворот катушек. В любом случае необходимо знать длину нити в петле и оценить, на какой угол требуется повернуть катушку, чтобы обеспечить выборку требуемой длины нити.

Общий вид зоны прокладывания рапир представлен на рис. 1.



Рис. 1

Схема прокладывания уточных нитей при начальном положении рапиры представлена на рис. 2.

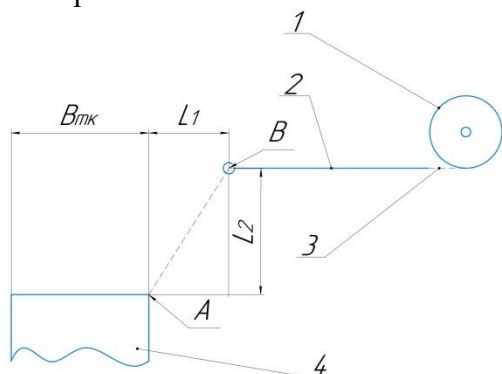


Рис. 2

На рис. 2 показаны: 1 – катушки с нитями утка; 2 – рапира; 3 – уточная нить; 4 – ткань; $B_{тк}$ – ширина ткани; L_1 – расстояние между рапирами и кромкой ткани по направлению движения рапир; L_2 – расстояние между рапирами и кромкой ткани перпендикулярно движению рапир; А – точка, определяющая кромку ткани; В – точка, определяющая положение нити в рапире перед прокладыванием утка.

Положение рапир в момент прокладывания утка представлено на рис. 3.

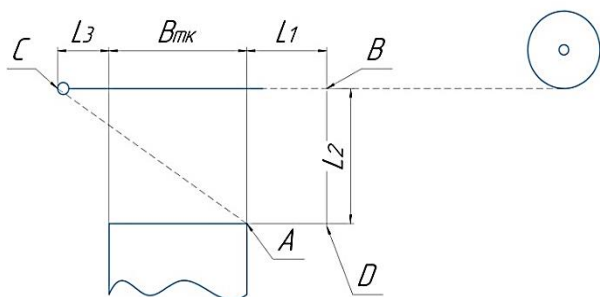


Рис. 3

На рис. 3 обозначено: L_3 – расстояние, на которое выходят рапиры из зева; С –

крайняя точка схода нити с рапиры; D – точка, определяющая положение прутка, контактирующего с уточными нитями при прибое.

Длина петли ($L_{п}$), проложенной в зев, будет определяться следующим образом:

$$L_{п} = L_{BC} + L_{AC}. \quad (1)$$

При этом

$$L_{BC} = L_1 + L_3 + B_{тк}, \quad (2)$$

$$L_{AC} = \sqrt{L_2^2 + (L_3 + B_{тк})^2}. \quad (3)$$

До начала прокидки в заправке станка уже имеется уточная нить длиной L_{AB} (см. рис. 2):

$$L_{AB} = \sqrt{L_1^2 + L_2^2}. \quad (4)$$

Тогда длина нити, которая сматывается с катушек ($L_{см}$), определится по следующей зависимости:

$$L_{см} = L_{п} - L_{AB}. \quad (5)$$

Расстояние L_1 обусловлено конструкцией берда и определяет выход рапиры из зева. Длина уже проложенной уточной нити в момент крайнего положения берда ($L_{пр}$) (прибой):

$$L_{пр} = 2B_{тк} + L_1 + L_2. \quad (6)$$

После отхода берда длина уточной нити будет составлять ($L_{пр1}$):

$$L_{пр1} = 2B_{тк} + L_{AB}. \quad (7)$$

Очевидно, что если $L_{пр} > L_{см}$, то длина возвращаемой нити будет определяться только параметрами L_1, L_2, L_3 и не будет зависеть от ширины ткани. При размещении дополнительных механизмов в зоне формирования кромки возможно увеличение расстояния L_3 .

Следовательно, когда $L_{пр} > L_{см}$, величина возврата нити ($L_{в}$) будет определяться по формуле:

$$L_B = L_{\text{пр}} - L_{\text{пр1}} \quad (8)$$

При значении $L_3 = 225$ мм $L_{\text{пр}} < L_{\text{см}}$.

В случае, когда $L_{\text{пр}} \leq L_{\text{см}}$, величина возврата нити (L_B) составит:

$$L_B = L_{\text{пр}} - L_{\text{пр1}} \quad (8)$$

График изменения длины возвращаемой нити в зависимости от расстояния, на которое выходят рапиры из зева, представлен на рис. 4.

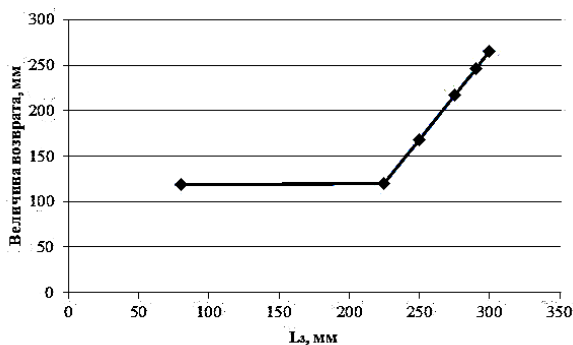


Рис. 4

При использовании исходных данных, представленных в табл. 1, угол возврата катушки с уточными нитями колеблется в пределах от 118° до 130° при изменении диаметра намотки по мере срабатывания нитей утка (всего на катушках 1500 м нити 110 текс). Возврат излишка проложенной нити осуществляется пружиной кручения.

Т а б л и ц а 1

Параметр	Значение
Входные параметры, мм	
Втк	220
L1	260
L2	170
L3	80
Выходные параметры, мм	
Lп	904,8
Lсм	594,2
Lпр	870
Lпр1	750,6
Lв	119,4

С помощью предложенных формул оценивается возможность обеспечения возврата длины проложенных уточных нитей с помощью устройств с пружиной кручения

в зависимости от конструктивных размеров станка для формирования трехмерных ортогональных тканей многорапирным способом. Также возможно провести оценку динамических характеристик устройства для обеспечения проектируемого уровня производительности станка.

В Ы В О Д Ы

1. Определены размеры зоны прокладывания уточных нитей и установлено, что при использовании конструктивных параметров опытного оборудования предельная величина выхода рапир из зева, когда величина возврата проложенных петель уточных нитей начинает расти, составляет 225 мм.

2. Угол возврата катушки с уточными нитями, измеренный экспериментально, колеблется в пределах от 118° до 130° при изменении диаметра намотки по мере срабатывания нитей утка, что позволяет использовать устройства с пружинами кручения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Xin Wang, Lan Yao, Fujun Xu etc. Design and Characterization of Conformal Microstrip Antennas Integrated into 3D Orthogonal Woven Fabrics // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2012. Vol. 7, Issue 2.
- Bilisik K., Karaduman N.S., Bilisik N.E. 3D fabrics for technical textile applications // Jeon HY, editor. Non-woven Fabrics. Intec. 2016. P. 81...141.
- 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.
- Pat. WO2015182923A1. Threedimensional orthogonal fabric for thermoelectricity.
- Донецкий К.И., Раскутин А.Е., Хилов П.А. и др. Объемные текстильные преформы, используемые при изготовлении полимерных композиционных материалов (обзор) // Труды ВИАМ. 2015. №9. С. 75...83.
- Bilisik K., Mohamed M.H. Multiaxis Three-Dimensional Flat Woven Preforms – Tube Carrier Weaving // Textile Research Journal. Vol 80(8)/ 2010: 696–711 – DOI: 10.1177/0040517509340602.
- Huang G., Zhong Z.L. Tensile behavior of 3Dwoven composites by using different fabric structures // MaterDes. 2002; 23(7): 671...674.
- Dolganina N., Ignatova A., Sapozhnikov B., Shabley A. Aramid fabric surface treatment and its impact on the mechanics of yarn's frictional interaction // PNRPU Mechanics Bulletin 4. 2017. P. 121...137.

9. Mishra R., Behera B.K., Militky J. Impact simulation of three-dimensional woven kevlar epoxy composites // Journal of industrial textiles. 2016. Vol. 45. P. 978...994.

10. Рудовский П.Н., Гречухин А.П., Палочкин С.В. Рациональное армирование деталей из композиционных материалов тканями с переменной плотностью по утку // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2015. № 2 (35). С. 21...23.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. Yang C., Tran P., Ngo T. etc. Effect of textile architecture on energy absorption of woven fabrics subjected to ballistic impact // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 553. P. 757...762.

15. Lee B., Kim C.-G. Computational analysis of shear thickening fluid impregnated fabrics subjected to ballistic impacts // Advanced composite materials. 2012. Vol. 21. P. 177...192.

16. A. Kumar Bandaru, V.V. Chavan, Suhail Ahmad etc. Ballistic impact response of Kevlar® reinforced thermoplastic composite armors // International Journal of Impact Engineering 89 (2016): 1-13.

17. Tran P., Ngo T., Yang E.C. etc. Effects of architecture on ballistic resistance of textile fabrics: Numerical study // International Journal of Damage Mechanics. 2014. Vol. 23. P. 359...376.

18. Kudryavtsev O.A., Sapozhnikov S.B. Yarn-level modelling of woven and unidirectional thermo-plastic composite materials under ballistic impact // PNRPU Mechanics Bulletin. 2016. 3. P. 108...119.

19. Pat. US3834424 US. Three-dimensional fabric and method and loom construction for the production thereof.

20. Pat. US4526026 US. Method and apparatus of producing continuous three-dimensional fabrics.

21. Pat. US5085252 US. Method of forming variable cross-sectional shaped three-dimensional fabrics.

22. Pat. WO2013179037. Method and apparatus for weaving a three-dimensional fabric.

23. Игнатова А.В., Долганина Н.Ю., Сапожников С.Б., Шаблей А.А. Поверхностная обработка арамидной ткани и ее влияние на механику фрикционного взаимодействия нитей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2017. № 4. С. 121...137. – DOI: 10.15593/perm.mech/2017.4.09.

24. Gasser A., Boisse P., Hanklar, S. Mechanical behaviour of dry fabric reinforcements. 3D simulations

versus biaxial tests // Computational Materials Science. January 2000. 17(1):7-20.

25. Tan V.B.C., Zeng X.S., Shim V.P.W. Characterization and constitutive modeling of aramid fibers at high strain rates // International Journal of Impact Engineering. 2008. Vol. 35. P. 1303...1313. – DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2007.07.010.

26. Пат. 2643659 РФ. Способ формирования трехмерной ортогональной ткани.

27. Гречухин А.П., Рудовский П.Н., Хабибуллоев А. и др. Разработка новых пространственно-армированных материалов на базе технологии многоугольного 3D-ортогонального ткачества // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2 (404). С. 243...247.

28. 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 // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 5 (377). С. 111...115.

29. Зайцев Д.В., Гречухин А.П., Рудовский П.Н. Система заправки при формировании 3D-ортогонального тканого материала // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 3 (369). С. 153...156.

30. 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 // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 6 (378). С. 96...100.

31. Grechukhin A.P., Seliverstov V.Y., Rudovskiy P.N. The method of determination of yarn bending rigidity and friction factor during interaction of fibers // Journal of the Textile Institute, 2017, 108(12), pp. 2067...2072.

32. Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N., Sokova G.G., Korabelnikov A.R. Carbon fabric 3D modeling according to nonlinear bending theory // Journal of the Textile Institute, 2020, 111(10), pp. 1511...1517.

REFERENCES

1. Xin Wang, Lan Yao, Fujun Xu etc. Design and Characterization of Confor-mal Microstrip Antennas Integrated into 3D Orthogonal Woven Fabrics // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2012. Vol. 7, Issue 2.

2. Bilisik K., Karaduman N.S., Bilisik N.E. 3D fabrics for technical textile applications // Jeon HY, editor. Non-woven Fabrics. Intec. 2016. P. 81...141.

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

4. Pat. WO2015182923A1. Three-dimensional orthogonal fabric for thermoelectricity.

5. *Donetskiy K.I., Raskutin A.E., Khilov P.A. etc.* Volumetric textile preforms used in the manufacture of polymer composite materials (review) // Proceedings of VIAM. 2015. No. 9. P. 75...83.
6. *Bilisik K., Mohamed M.H.* Multiaxis Three-Dimensional Flat Woven Preforms – Tube Carrier Weaving // Textile Research Journal. Vol 80(8)/ 2010: 696–711 – DOI: 10.1177/0040517509340602.
7. *Huang G., Zhong Z.L.* Tensile behavior of 3Dwoven composites by using different fabric structures // MaterDes. 2002; 23(7): 671...674.
8. *Dolganina N., Ignatova A., Sapozhnikov B., Shabley A.* Aramid fabric surface treatment and its impact on the mechanics of yarn's frictional interaction // PNRPU Mechanics Bulletin 4. 2017. P. 121 ...137.
9. *Mishra R., Behera B.K., Militky J.* Impact simulation of three-dimensional woven kevlar epoxy composites // Journal of industrial textiles. 2016. Vol. 45. P.978...994.
10. *Rudovsky P.N., Grechukhin A.P., Palochkin S.V.* Rational reinforcement of parts made of composite materials with fabrics with variable density by weft // Bulletin of Kostroma State Technological University. 2015. No. 2 (35). P. 21...23.
11. *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.
12. *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.
13. *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.
14. *Yang C., Tran P., Ngo T. etc.* Effect of textile architecture on energy absorption of woven fabrics subject to ballistic impact // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 553. P. 757...762.
15. *Lee B., Kim C.-G.* Computational analysis of shear thickening fluid impregnated fabrics subject to ballistic impacts // Advanced composite materials. 2012. Vol. 21. P. 177...192.
16. *Bandaru Aswani Kumar, Vikrant V. Chavan, Suhail Ahmad etc.* Ballistic impact response of Kevlar® reinforced thermoplastic composite armors // International Journal of Impact Engineering 89 (2016): 1-13.
17. Effects of architecture on ballistic resistance of textile fabrics: Numerical study // International Journal of Damage Mechanics. 2014. Vol. 23. P. 359...376.
18. *Kudryavtsev O.A., Sapozhnikov S.B.* Yarn-level modeling of woven and unidirectional thermo-plastic composite materials under ballistic impact // PNRPU Mechanics Bulletin. 2016. 3. P. 108...119.
19. Pat. US3834424 US. Three-dimensional fabric and method and loom construction for the production thereof.
20. Pat. US4526026 US. Method and apparatus of producing continuous three-dimensional fabrics.
21. Pat. US5085252 US. Method of forming variable cross-sectional shaped three-dimensional fabrics.
22. Pat. WO2013179037. Method and apparatus for weaving a three-dimensional fabric.
23. *Ignatova A.V., Dolganina N.Yu., Sapozhnikov S.B., Shabley A.A.* Surface treatment of aramid fabric and its influence on the mechanics of frictional interaction of threads // Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Mechanics. 2017. No. 4. P. 121...137. – DOI: 10.15593/perm.mech/2017.4.09.
24. *Gasser A., Boisse P., Hanklar, S.* Mechanical behavior of dry fabric reinforcements. 3D simulations versus biaxial tests // Computational Materials Science. January 2000. 17(1):7-20.
25. *Tan V.B.C., Zeng X.S., Shim V.P.W.* Characterization and constitutive modeling of aramid fibers at high strain rates // International Journal of Impact Engineering. 2008. Vol. 35. P. 1303...1313. – DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2007.07.010.
26. Pat. 2643659 Russian Federation. Method for forming three-dimensional orthogonal fabric.
27. *Grechukhin A.P., Rudovsky P.N., Khabibullov A. etc.* Development of new spatially reinforced materials based on 3d orthogonal fabric technology // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 2 (404). P. 243...247.
28. *Grechukhin A.P., Ushakov S.N., Rudovsky P.N., Palochkin S.V.* Determination of rational parameters of the system of filling yarns in the formation of three-dimensional orthogonal woven fibrous material // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. No. 5 (377). P. 111...115.
29. *Zaitsev D.V., Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N.* Filling system in the formation of 3D-orthogonal woven fabric // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2017. No. 3 (369). P. 153...156.
30. *Ushakov S.N., Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N., Palochkin S.V.* Influence of the value of displacement of the layer of the horizontal duck on the density of the orientation of vertical layers of threads during formation of 3-d orthogonal tissues // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. No. 6 (378). P. 96...100.
31. *Grechukhin A.P., Seliverstov V.Y., Rudovskiy P.N.* The method of determination of yarn bending rigidity and friction factor during interaction of fibers. Journal of the Textile Institute, 2017, 108(12), pp. 2067...2072.
32. *Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N., Sokova G.G., Korabelnikov A.R.* Carbon fabric 3D modeling according to nonlinear bending theory // Journal of the Textile Institute, 2020, 111(10), pp. 1511...1517.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования ткани и трикотажа КГУ. Поступила 14.10.24.