

## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ХОЛСТОВ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. М. Святский, К. Б. Сентяков, Б. А. Сентяков, М. А. Святский

*Кафедра «Технология машиностроения и приборостроения»,  
Воткинский филиал ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»,  
г. Воткинск, Удмуртская Республика, Россия; svlad-2000@yandex.ru*

**Ключевые слова:** конвейер; контермоскрепленный волокнистый материал; ПЭТ-волокно; раздувочный механизм; экструдер.

**Аннотация:** Исследован процесс формирования холстов с равномерным сечением по толщине из вторичного полиэтилентерефталата, расплываемого в виде волокнистого материала при использовании экструзионно-дутьевого способа. Проведено моделирование возвратно-поступательного движения струи сжатого воздуха, поступающего из раздувочного сопла щелевого дросселя, по отношению к движению потока расплавленного материала. Реализована кинематическая модель качения щелевого сопла с дуговой траекторией движения, что позволило получить близкую к постоянной скорость движения раздувочного сопла и обеспечить равномерное сечение получаемого холста заданной толщины при продольном и поперечном направлениях укладки холста на горизонтально движущуюся ленту транспортера.

Изделия из синтетических и минеральных волокнистых материалов используются в машиностроении и строительстве в качестве средств теплоизоляции, фильтров и сорбентов [1 – 3]. Одной из задач при производстве таких холстов является обеспечение требований формы, в частности, заданной толщины холста в различных его сечениях. В соответствии с принятыми техническими требованиями толщина холста в поперечном направлении не должна изменяться более чем на 10 %.

Технологическая схема (рис. 1) получения холстов из ПЭТ-волокна экструзионно-дутьевым способом [4, 5] предполагает расположение раздувочного щелевого сопла 1 на подвижной плите 2, имеющей возможность качаться вокруг оси 3 на угол  $\alpha$ . В качестве привода используется мотор-редуктор, который качает подвижную плиту через эксцентрик 4.

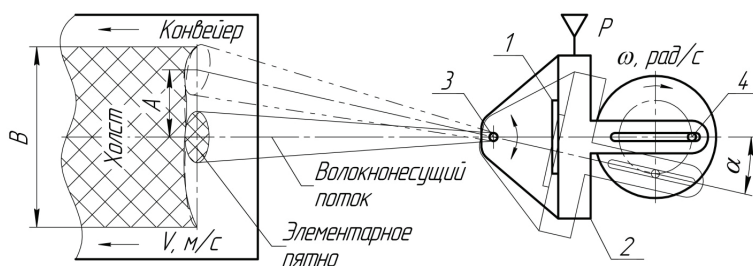


Рис. 1. Схема установки для производства волокнистых материалов экструзионно-дутьевым способом

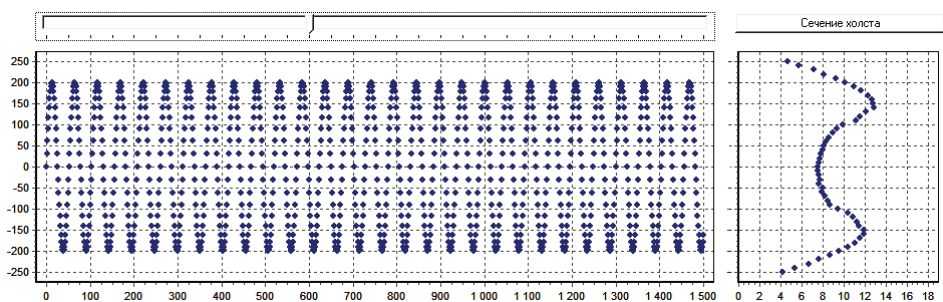


Рис. 2. Программа моделирования формы холста

В работе [4] представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований неравномерности толщины холста в поперечном направлении. Экспериментально установлено, что при такой технологии толщина холста по его ширине изменяется регулярно: вблизи краев средняя по сечениям толщина холста составляет 18...14 мм; в середине холста его толщина оказывается на 4...6 мм меньше, что больше допустимого отклонения.

В рамках предложенной теоретической модели формирования слоя холста [4] такая неравномерность объясняется неравномерностью скорости относительного движения зоны распределения волокнистого материала (элементарного пятна) волоконнесущего потока по поверхности приемного конвейера (см. рис. 1).

Для моделирования формы холста разработан программный продукт (рис. 2), рассчитывающий траекторию (след) и скорость центра зоны распределения волокна по поверхности движущегося приемного конвейера в зависимости от скорости конвейера и закона качающего движения волоконнесущего потока. Данные траектория и скорость определяют форму поперечного сечения холста и ее вариации по длине холста. Программный продукт позволяет получать близкие к экспериментальным данным изображения профиля холста в различных поперечных сечениях по его длине.

Данные, рассчитанные программой при различных кинематических параметрах транспортера и раздувочного сопла, могут сохраняться в файл и использоваться для построения пространственных моделей холста (рис. 3) уже в специализированных программных инженерных или математических пакетах.

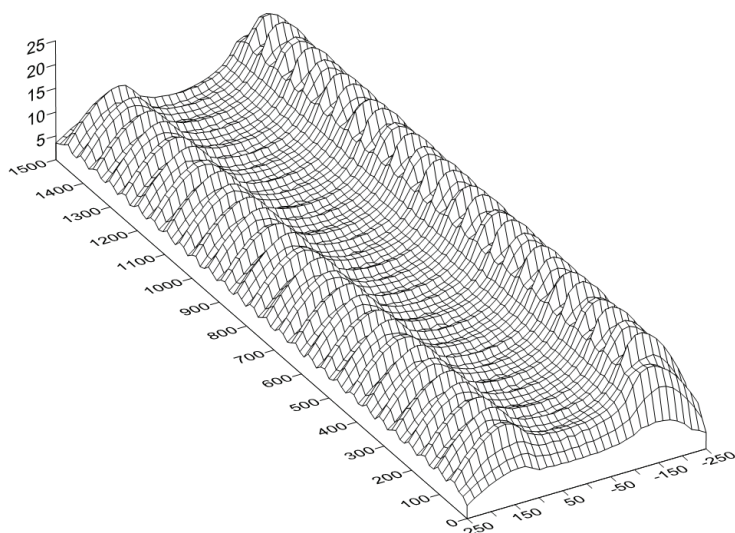


Рис. 3. Пространственная модель холста

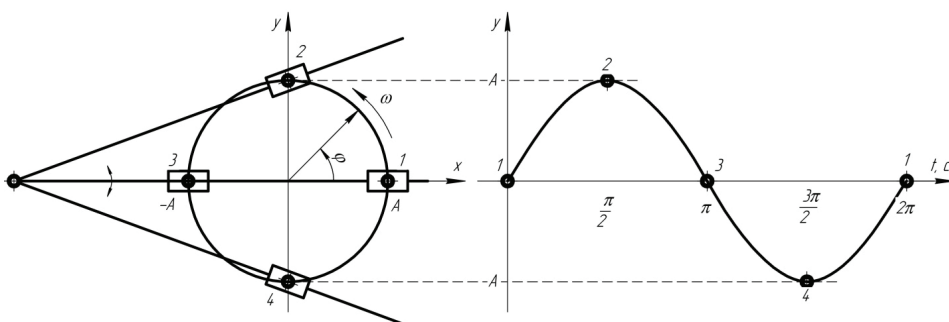


Рис. 4. Кинематическая модель кругового движения

На рисунке 4 представлена кинематическая модель механизма качания раздувочного сопла при движении ползуна по окружности, что соответствует круговому вращению эксцентрика 4 на рис. 1. При этом рычаг качается на своей оси с амплитудой  $A$  вдоль оси  $y$ , что соответствует качанию плиты 2 на оси 3 (см. рис. 1). Изменение координаты  $y$  ползуна развернуто во времени  $t$  и представляет собой функцию синуса угла  $\varphi$  поворота ползуна

$$y = A \sin \varphi. \quad (1)$$

При равномерном вращении эксцентрика 4 с постоянной угловой скоростью  $\omega$

$$\varphi = \omega t, \quad (2)$$

то есть

$$y = A \sin \omega t. \quad (3)$$

По сути, эта синусоидальная кривая и есть «след» элементарного пятна волоконнесущего потока на равномерно движущемся транспортере с постоянной единичной скоростью  $V$  (см. рис. 1)

Тогда скорость изменения положения ползуна с рычагом (и элементарного пятна на транспортере) вдоль оси  $y$

$$V_y = A\omega \cos \omega t. \quad (4)$$

Очевидно, что функция скорости имеет максимум в точках 1 и 3 (см. рис. 4) и уменьшается при движении к точкам 2 и 4. Неравномерность скорости и является причиной неравномерности толщины базальтового холста, получаемого по такой технологии.

Решение данной проблемы заключается в синтезе траектории движения ползуна, при которой его скорость  $V_y$  была бы постоянной во всех точках.

Параметрическое уравнение траектории ползуна, в виде окружности радиусом  $A$ , имеет известный вид

$$\begin{cases} x = A \cos \varphi; \\ y = A \sin \varphi; \\ 0 \leq \varphi \leq 2\pi. \end{cases} \quad (5)$$

Постоянство скорости  $V_y$  можно обеспечить лишь линейным законом изменения координаты  $y$  со сменой направления в точках 2 и 4 (рис. 5)

$$y = \frac{2A}{\pi} \omega t. \quad (6)$$

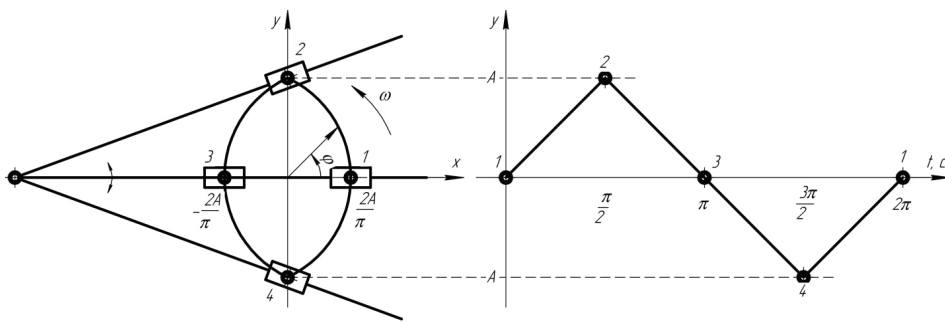


Рис. 5. Кинематическая модель качания с постоянной скоростью

Тогда скорость  $V_y$  будет величиной постоянной при постоянной угловой скорости:

$$V_y = \frac{2A}{\pi} \omega. \quad (7)$$

Координаты  $x$  и  $y$  любой точки траектории ползуна связаны формулой

$$\frac{y}{x} = \operatorname{tg} \varphi. \quad (8)$$

Получаем с учетом (6), (2) и (8) параметрическое уравнение траектории движения ползуна (см. рис. 5) в виде

$$\begin{cases} x = \pm \frac{2A\varphi}{\pi \operatorname{tg} \varphi}; \\ y = \frac{2A}{\pi} \varphi; \\ -\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}; \\ \varphi \neq 0. \end{cases} \quad (9)$$

На рисунке 6 представлено расчетное сечение холста при таком движении ползуна с рычагом качания, смоделированное в разработанной программе.

Очевидно, что неравномерность толщины холста в средней части практически отсутствует в сравнении с рис. 2. Краевые эффекты при этом остаются неизбежными, а их причина связана с пространственной формой элементарного пятна волоконнесущего потока.

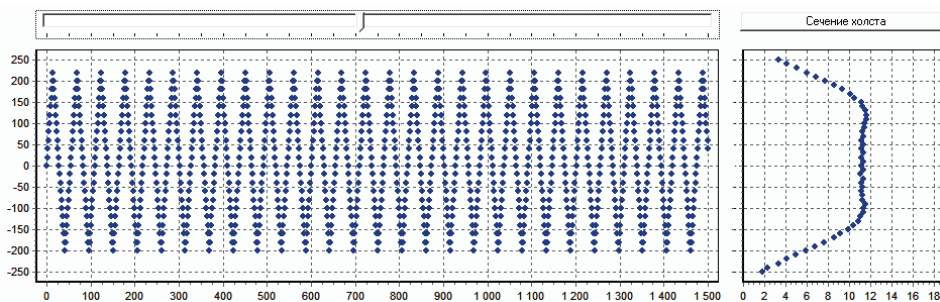


Рис. 6. Расчетное сечение холста при траектории ползуна (9)

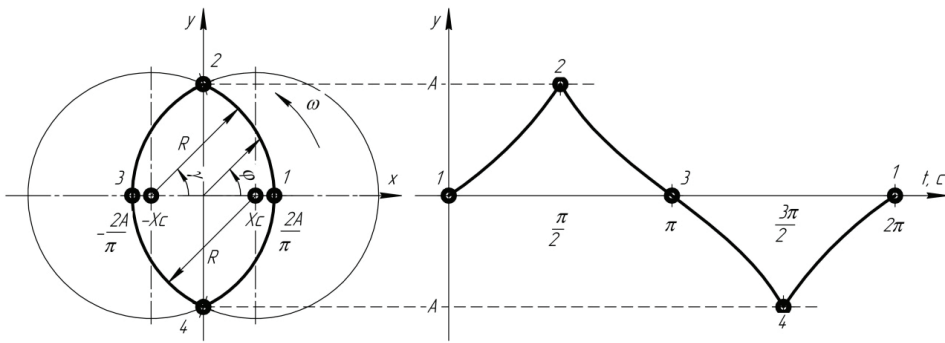


Рис. 7. Кинематическая модель качания с дуговой траекторией

Практическая реализация такой траектории (9) движения эксцентрика 4 (см. рис. 1) вероятно вызовет некоторые технологические трудности. При этом замечено, что половинки траектории движения ползуна (см. рис. 5) весьма близки по форме к двум дугам окружностей с центрами, смещенными вдоль оси  $x$  на величину  $\pm X_c$ . Такая кинематическая модель представлена на рис. 7.

Доказано, что радиусы  $R$  и центры  $X_c$  этих дуг при амплитуде ползуна  $A$  определяются соотношениями:

$$\begin{cases} X_c = \frac{\pi}{4} \left( 1 - \frac{4}{\pi^2} \right) A; \\ R = \sqrt{X_c^2 + A^2}. \end{cases} \quad (10)$$

Параметрическое уравнение траектории ползуна принимает следующий вид:

$$\begin{cases} x = R \times \cos \gamma \pm X_c; \\ y = R \times \sin \gamma; \\ -\arcsin \frac{1}{R} \leq \gamma \leq \arcsin \frac{1}{R}. \end{cases} \quad (11)$$

В этом случае закон изменения координаты  $y$  во времени, конечно, отличается от линейного (см. рис. 7), но вблизи точек 2 и 4 не существенно, в отличие от синусоидального закона (см. рис. 4).

Результат моделирования толщины холста для такого дугового движения ползуна, практически такой же, как и для идеального (9), что видно при сравнении рис. 6 и 8.

Таким образом, задача обеспечения требований постоянства толщины холстов при производстве их экструзионно-дутьевым способом решается относительно просто применением кинематической схемы качания раздувочного щелевого сопла с движением эксцентрика по дуговым траекториям (11). Конструиро-

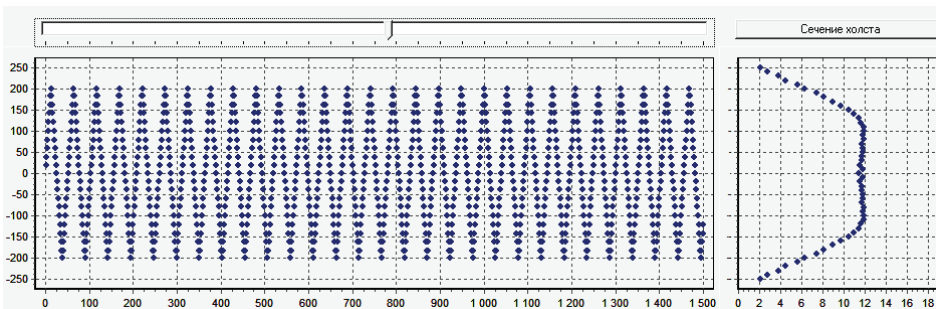


Рис. 8. Расчетное сечение холста при траектории ползуна (11)

вание такого механизма качания требует отдельного инженерного решения с исследованием силового воздействия на эксцентрик при прохождении им критических точек смены знака скорости.

#### *Список литературы*

1. Сентяков, Б. А. Процессы получения и практического использования полиэтилентерефталатного волокна из вторичного сырья : монография / Б. А. Сентяков, К. П. Ширококов, В. М. Святский, М. А. Святский, К. А. Фонарева. – Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2014. – 152 с.
2. Sentyakov, B. Simulation of Oil Products Separation from Fibrous Sorbent Material Centrifugally / B. Sentyakov, A. Repko, V. Sviatskii, M. Soldan, Y. Nikitin // *Acta Montanistica Slovaca*. – 2016. – Vol. 21, No. 3. – P. 238 – 246.
3. Святский, В. М. Структурная схема процесса производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного синтетического сырья / В. М. Святский, Б. А. Сентяков // *Автоматизация. Современ. технологии*. – 2015. – № 11. – С. 3 – 7.
4. Святский, В. М. Моделирование процесса формообразования холстов из волокнистых материалов / В. М. Святский, М. А. Святский, Б. А. Сентяков, К. Б. Сентяков, С. А. Гараев // *Вестн. ИжГТУ им. М. Т. Калашникова*. – 2015. – № 2. – С. 17 – 20.
5. Басов, Н. И. Расчет и конструирование оборудования для переработки полимерных материалов / Н. И. Басов, Ю. В. Казаков, В. А. Любертович. – М. : Химия, 1986. – 488 с.

---

## Shaping Canvases from Synthetic Fiber Materials

V. M. Svyatsky, K. B. Sentyakov, B. A. Sentyakov, M. A. Svyatsky

*Department “Technology of mechanical engineering and instrument making”,  
Votkinsk Branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University,  
Votkinsk, Udmurt Republic, Russia; svlad-2000@yandex.ru*

**Keywords:** conveyor; extruder; PET fiber; blowing mechanism; sorbent; thermobonded fibrous material.

**Abstract:** The paper explores the process of shaping canvases with a uniform thickness cross-section, made from secondary polyethylene terephthalate sprayed as synthetic fibrous materials using an extrusion-blowing process. The solution of the problem required the use of mathematical and experimental modeling, followed by the writing of a program of the process of uniform reciprocating motion of a compressed air jet coming from the blowing nozzle of the slotted throttle, relative to the flow of the molten synthetic PET material. As a result of the carried out researches and experiments, the kinematic model of the rolling of a slotted nozzle with an arc trajectory of its motion was realized. This made it possible to obtain a speed of motion of the blown nozzle close to constant and maintain a uniform cross section of the canvas at a given value of its thickness for the longitudinal and transverse direction of laying the canvas on a horizontally moving conveyor belt.

#### *References*

1. Sentyakov B.A., Shirobokov K.P., Svyatsky V.M., Svyatsky M.A., Fonareva K.A. *Protsessy polucheniya i prakticheskogo ispol'zovaniya polietilentereftalatnogo volokna iz vtorichnogo syr'ya* [Processes of obtaining and practical use of polyethylene terephthalate fiber from secondary raw materials], Stary Oskol: Tonkie naukoemkie tekhnologii, 2014, 152 p. (In Russ.)

2. Sentyakov B., Repko A., Sviatskii V., Soldan M., Nikitin Y. Simulation of oil products separation from fibrous sorbent material centrifugally, *Acta Montanistica Slovaca*, 2016, vol. 21, no. 3, pp. 238-246.

3. Svyatsky V.M., Sentyakov B.A. [The manufacturing structural diagram of the articles from fibrous materials on the grounds of recycled synthetic materials], *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii* [Automation. Modern technologies], 2015, no. 11, pp. 3-7. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Svyatsky V.M., Sviatsky M.A., Sentyakov B.A., Sentyakov K.B., Garaev S.A. [Simulation of Forming Web of Fibrous Materials], *Vestn. IzhGTU im. M. T. Kalashnikova* [Bulletin of the Kalashnikov Izhevsk State Technical University], 2015, no. 2, pp. 17-20. (In Russ.)

5. Basov N.I., Kazakov Yu.V., Lyubertovich V.A. *Raschet i konstruirovaniye oborudovaniya dlya pererabotki polimernykh materialov* [Calculation and design of equipment for the processing of polymeric materials], Moscow: Khimiya, 1986, 488 p. (In Russ.)

---

### Formbildung der Leinwände aus den synthetischen Faserstoffen

**Zusammenfassung:** Es ist der Prozess der Formierung der Leinwände mit dem gleichmäßigen Schnitt nach der Dicke aus dem nochmaligen Polyethylenterephthalat, der in Form vom faserigen Material bei der Nutzung des Extrusionsblasverfahrens gesprüht wird, untersucht. Es ist die Modellierung der Hubbewegung des Stromes der zusammengepressten Luft, die aus der Blasdüse der Spaltdrossel in Bezug auf die Bewegung des Stromes des geschmolzenen Materials eingezogen wird, durchgeführt. Es ist das kinematische Modell der Rollbewegung der Spaltdüse mit der Bogenbahn der Bewegung realisiert, was zugelassen hat, die zu ständiger ähnliche Geschwindigkeit der Bewegung der Blasdüse zu erhalten und den gleichmäßigen Schnitt der bekommenden Leinwand der aufgegebenen Dicke bei der Längs- und Querrichtung des Legens der Leinwand auf das horizontal bewegende Band des Transporters zu versorgen.

---

### Mise en forme des toiles à partir des matières synthétiques fibreuses

**Résumé:** Est étudié le processus de la formation des toiles, avec une section uniforme par l'épaisseur à partir de polytéréphthalate secondaire produit sous la forme d'un matériau fibreux. Est exécutée la simulation du mouvement alternatif du jet d'air comprimé provenant de la buse creuse du soufflage par rapport au mouvement du flux du matériau fondu. Est réalisé le modèle cinématique du roulement de la buse creuse avec la trajectoire du mouvement en forme d'arc, ce qui a permis d'obtenir la vitesse proche à la constante du mouvement de la buse creuse du soufflage et d'assurer une section uniforme de la toile de l'épaisseur donnée lors du mouvement longitudinale et transversale de la direction du dressage de la toile sur une bande mobile horizontale du convoyeur.

---

**Авторы:** *Святский Владислав Михайлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения и приборостроения»; *Сентяков Кирилл Борисович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика, физика, химия»; *Сентяков Борис Анатольевич* – доктор технических наук, профессор, декан технологического факультета; *Святский Михаил Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Ракетостроение», Воткинский филиал ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова», г. Воткинск, Удмуртская Республика, Россия.

**Рецензент:** *Юсупов Георгий Хозеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения и приборостроения», Воткинский филиал ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова», г. Воткинск, Удмуртская Республика, Россия.