

УДК 677.051.174

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ РАССОРТИРОВКИ ВОЛОКОН
В УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
МНОГОСЛОЙНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**MATHEMATICAL MODELING
OF AERODYNAMIC SORTING OF FIBERS
IN THE DEVICE FOR PRODUCING
MULTILAYER NONWOVENS**

М.А. ТУВИН, И.Г. ХОСРОВЯН, Т.Я. КРАСИК, Г.А. ХОСРОВЯН
M.A. TUVIN, I.G. KHOSROVYAN, T.YA. KRASIK, G.A. KHOSROVYAN

(Ивановский государственный политехнический университет)
(Ivanovo State Polytechnical University)
E-mail: ti@ivgpu.com

Рассматривается аэродинамическое поле в камере рассортировки волокнистой смеси на фракции. Приведены геометрические модели областей камеры, которые находятся в условиях действия отрицательного градиента давления, где применимы методы теории потенциальных плоских течений. Составлено конформное отображение этих областей на полуплоскость и выведен комплексный потенциал. Приведена методика расчета скоростей воздуха в камере, основанная на использовании возможностей вычисления функций комплексного переменного в среде математического пакета Mathcad.

Discusses the aerodynamic field in the chamber of sorting a fibrous mixture into fractions. Given a geometric model of areas of the chamber, under the action of negative pressure gradient, where applicable the methods of potential theory of flat flows. Compiled conformal mapping of these areas on a half-plane and deduce a complex potential. Given a method for calculation of velocity of air in the chamber, based on the application of computation of functions of a complex variable in the environment of mathematical package Mathcad.

Ключевые слова: волокно, аэродинамическая рассортировка волокон, потенциальное течение воздуха, нетканые материалы.

Keywords: fiber, aerodynamic sorting of fibers, potential flow of air, nonwovens.

Разработанное нами устройство для получения многослойных нетканых материалов [1] состоит из узла питания, узла разрыхления волокнистой смеси, аэродинамической камеры для пространственного разделения волокнистого потока на фракции и двух пар конденсоров для приема разделенных на фракции волокнистых потоков, обеспыливающего аспирационного узла, расположенного в верхней части камеры, и узла пневмоочистки боковых стенок камеры.

Процесс движения волокнистой смеси в бункерном питателе с наклонными боковыми стенками с переменной площадью поперечного сечения шахты описан математической моделью [2].

В аэродинамической камере рассортировки волокон образуются воздушные потоки, вызванные работой узлов пневмоотсоса в сетчатых барабанах конденсоров, обеспыливающего аспирационного узла и узла пневмоочистки боковых стенок. Поступающий из атмосферы цеха в камеру воздушный поток захватывает и увлекает за собой волокна с зубьев гарнитуры пыльчатого барабана. Далее этот поток направляется в камеру, где разделяется на четыре потока: первые два потока направляются к конденсорам, третий – в верхнюю контролируемую аспирационным узлом зону обеспыливания, а четвертый – воздушный поток, создаваемый узлом пневмоочистки, направляется на боковые стенки камеры.

Выравнивание по толщине настиллов после рассортировки волокон и их формирования в настиллы имеет большое значение при изготовлении текстильных армированных материалов [3], [4].

Воздушные потоки, образованные узлами пневмоотсоса в сетчатых барабанах конденсоров и направленные от пыльчатого барабана к сетчатым, в аэродинамической камере обеспечивают тонкую рассортировку волокон по зонам их сбора на поверхностях верхней и нижней пар сетчатых барабанов. Исходя из скорости витания волокон, рассортировка волокон по верхней и нижней парам сетчатых бараба-

нов происходит за счет перераспределения волокон по воздушным потокам.

Схематическое изображение конденсоров и расположение системы координат Oxy представлено на рис. 1. Всасывание воздуха в конденсорах происходит в секторе с угловым размером γ . Около всасывающих отверстий, имеющих в обечайках пар конденсоров, образуется всасывающий факел, воздушное течение в котором с достаточной степенью точности можно считать потенциальным [5].

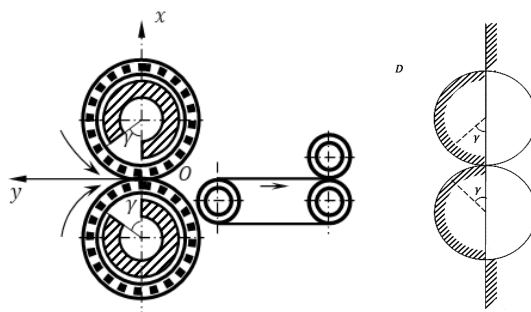


Рис. 1

Рис. 2

На рис. 2 изображена схема области D , в которой происходит движение воздушной среды во всасывающие отверстия конденсоров. Область D представляет собой полуплоскость с вырезанными на ее крае двумя полукругами. Область D обладает симметрией, поэтому картину аэродинамического поля можно построить в "половине области D ", изображенной на рис. 3 (область D_1), и далее распространить полученный результат на другую половину этой области. Чтобы построить модель потенциального течения в области D_1 , обратимся к [5], где рассматривается плоская модель потенциального движения воздуха к всасывающему отверстию в цилиндрическом патрубке, который примыкает к плоскости. На одном из промежуточных этапов процесса моделирования в [5] использовалось конформное отображение области D_2 – полуплоскости с вырезанными кругом единичного радиуса и отрезком между точками $(2;0)$ и $(3;0)$ (рис. 4) [6], [7]. В принципе область D_2 содержит область D_1 и ее симметричное отражение относительно оси Ox (рис. 3 – схема области D_1 относительно конденсора).

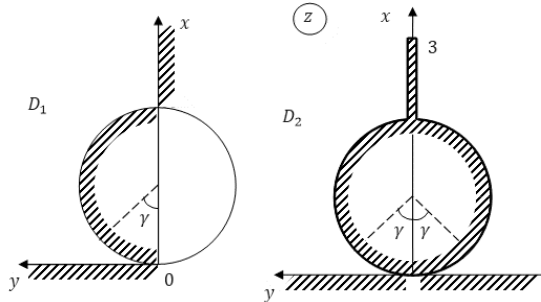


Рис. 3

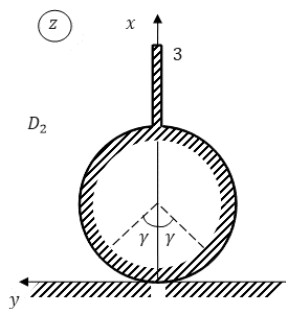


Рис. 4

Полагаем, что граничные условия в первом квадранте области D_2 совпадают с граничными условиями в области D_1 , а граничные условия в четвертом квадранте области D_2 являются симметричным отражением граничных условий в первом квадранте области D_1 . При условии сим-

$$z_1 = \frac{1}{z}; \quad z_2 = 2z_1 - 1; \quad z_3 = iz_2; \quad z_4 = 2\pi^{-1} \operatorname{arth}\{0,5\sqrt{3}[\operatorname{th}^2(0,5\pi z_3) + 1/3]\};$$

$$z_5 = \pi z_4; \quad \zeta = \exp(\pi z_5).$$

Так как $z_3 = i(2z^{-1} - 1)$, то искомая формула для конформного отображения

$\zeta = \zeta(z)$ имеет следующий вид:

$$\zeta = \exp(2 \operatorname{arth}\{0,5\sqrt{3}[\operatorname{th}^2(0,5\pi i(2z^{-1} - 1)) + 1/3]\}).$$

Для расчета комплексного потенциала течения в аэродинамической камере рассортировки волокон и его комплексной скорости использовались возможности современного математического пакета Mathcad [8]. Полученные с высокой степенью точности численные значения скоростей воздуха позволили определить аэродинамические силы и далее траектории движения волокон и сорных частиц в камере [9].

При расчете аэродинамических сил и траекторий движения волокон величина коэффициента аэродинамического сопротивления волокна при поперечном обтекании воздушным потоком определялась согласно [10] по формуле:

$$c_x = \frac{4}{\operatorname{Re}} (1/G + 1,5772/G^2) \quad \text{при } 0 \leq \operatorname{Re} \leq 10,$$

$$c_x = 0,27 \operatorname{Re}^{-0,61} \quad \text{при } 10 < \operatorname{Re} \leq 300,$$

метричности относительно оси Ox воздушного течения к всасывающим отверстиям в секторах с угловым размером γ в области D_2 (рис. 4 – схема области D_3 для построения комплексного потенциала воздушного течения в зоне конденсоров) можно полагать, что воздушное течение в первом квадранте на рис. 4 будет полностью совпадать с воздушным течением в области D_1 .

В [5] приводится перечень зависимостей для конформного отображения области D_2 на полуплоскость. Приведем последовательность этих конформных преобразований, приводящих к отображению области D_2 (рис. 4) на верхнюю полуплоскость $\operatorname{Re} \zeta \geq 0$:

где $G = \ln(4\operatorname{Re}_L / \operatorname{Re}^2)$, $\operatorname{Re}_L = (\bar{v}_a - \bar{v}) L_B / v_{\text{вяз}}$; $\operatorname{Re} = |\bar{v}_a - \bar{v}| D_B / v_{\text{вяз}}$; D_B, L_B – диаметр и длина волокна; \bar{v}, \bar{v}_a – скорости волокна и воздушного потока соответственно; $v_{\text{вяз}}$ – коэффициент кинематической вязкости воздуха.

ВЫВОДЫ

Разработана методика численного моделирования процесса движения волокнистого потока в камере аэродинамической рассортировки при получении многослойных нетканых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2471897. Российская Федерация. Способ получения многослойных волокнистых материалов и устройство для его осуществления / Хосровян Г.А., Хосровян А.Г., Красик Т.Я., Хосровян И.Г., Жегалина Т.В. – Опул. 10.01.2013.

2. Тувин М.А., Хосровян И.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А., Тувин А.А. Математическое моделирование процесса движения волокнистой смеси в бункерном питателе с переменной площадью поперечного сечения шахты // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №2. С.83...87.

3. Красик Т.Я., Хосровян А.Г., Хосровян Г.А. Методика определения линейной плотности нити на выходе из бункерного питателя, оснащенного системой обеспыливания // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №5. С.79...82.

4. Хосровян И.Г., Хосровян А.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А. Разработка теории выравнивающей способности устройства для получения многослойных волокнистых материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №6. С. 79...82.

5. Хосровян Г.А., Красик Я.М. Теория и практика очистки и подготовки полуфабриката к прядению. – Иваново: ИГТА, 1998.

6. Хосровян Г.А., Ситнов Ю.В., Красик Я.М., Яницкая В.И. Математическое моделирование процесса движения сорных примесей в аспирационном устройстве узла для формирования полуфабриката // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998, №3. С. 27...29.

7. Сидоров Ю.В., Федорюк М.В., Шубунин М.И. Лекции по теории функций комплексного переменного. – М.: Наука, 1989.

8. Maixner M.R. The Use of MathCad in Teaching Ideal Fluid Flow with Complex Variables // The International Journal of Electrical Engineering Education. – Vol. 15, №6, 1999. PP. 456...468.

9. Хосровян Г.А., Красик Я.М. Общая теория процесса выделения сора из волокнистого продукта при обработке пыльчатой поверхностью // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998, №5. С. 26...29.

10. Cai Y. Computer Modeling of Fiber Motion in High-speed Airflow. PhD thesis, North Carolina State University, 2003.

REFERENCES

1. Patent № 2471897. Rossijskaja Federacija. Sposob poluchenija mnogoslojnyh voloknistyh materi-

alov i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija / Hosrovjan G.A., Hosrovjan A.G., Krasik T.Ja., Hosrovjan I.G., Zhegalina T.V.– Opubl. 10.01.2013.

2. Tuvin M.A., Hosrovjan I.G., Krasik T.Ja., Hosrovjan G.A., Tuvin A.A. Matematicheskoe modelirovanie processa dvizhenija voloknistoj smesi v bunkernom pitatele s peremennoj ploshhad'ju poperechnogo sechenija shahty // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №2. S. 83...87.

3. Krasik T.Ja., Hosrovjan A.G., Hosrovjan G.A. Metodika opredelenija linejnoj plotnosti nastila na vyhode iz bunkernogo pitatelja, osnashhennogo sistemoj obespylivanija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2011, №5. S. 79...82.

4. Hosrovjan I.G., Hosrovjan A.G., Krasik T.Ja., Hosrovjan G.A. Razrabotka teorii vyravnivajushhej sposobnosti ustrojstva dlja poluchenija mnogoslojnyh voloknistyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, №6. S. 79...82.

5. Hosrovjan G.A., Krasik Ja.M. Teorija i praktika ochistki i podgotovki polufabrikata k prjadeniju. – Ivanovo: IGTA, 1998.

6. Hosrovjan G.A., Sitnov Ju.V., Krasik Ja.M., Janickaja V.I. Matematicheskoe modelirovanie processa dvizhenija sornyh primesej v aspiracionnom ustrojstve uzla dlja formirovanija polufabrikata // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1998, №3. S. 27...29.

7. Sidorov Ju.V., Fedorjuk M.V., Shubunin M.I. Lekcii po teorii funkcij kompleksnogo peremennogo. – M.: Nauka, 1989.

8. Maixner M.R. The Use of MathCad in Teaching Ideal Fluid Flow with Complex Variables // The International Journal of Electrical Engineering Education. – Vol. 15, №6, 1999. PP. 456...468.

9. Hosrovjan G.A., Krasik Ja.M. Obshhaja teorija processa vydelenija sora iz voloknistogo produkta pri obrabotke pil'chatoj poverhnost'ju // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1998, №5. S.26...29.

10. Cai Y. Computer Modeling of Fiber Motion in High-speed Airflow. PhD thesis, North Carolina State University, 2003.

Рекомендована кафедрой технологических машин и оборудования. Поступила 01.06.15.