

УДК 677.021.152

DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_83

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
МОМЕНТА СХОДА ЧАСТИЦЫ ХЛОПКА-СЫРЦА
С ЛОПАСТЕЙ БАРАБАННОЙ СУШИЛКИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА MATLAB**

**THEORETICAL STUDY
OF DISCHARGE MOMENT OF RAW COTTON PARTICLES
FROM THE BLADES OF A DRUM DRYER
USING THE MATLAB MATHEMATICAL APPARATUS**

¹С.А. ГАЗИЕВА, ¹Х.И. ИБРОГИМОВ, ¹И.А. ИСМАТОВ, ²А.Ф. ПЛЕХАНОВ

¹S.A. GAZIEVA, ¹Kh.I. IBROGIMOV, ¹I.A. ISMATOV, ²A.F. PLEKHANOV

(Технологический университет Таджикистана, Республика Таджикистан,
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия)

(Technological University of Tajikistan, Tajikistan Republic,
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Russia)

E-mail: sanat.gazieva@yandex.ru; kholms78@list.ru; plekhanov-af@rguk.ru

В работе рассматриваются теоретические вопросы движения летучки хлопка-сырца, исследование движения в подъемно-лопастной системы барабанной сушилки новой конструкции, которая имеет шесть кривых и шесть прямых лопастей в работе. Для решения поставленных задач использован математический инструментарий Matlab – высокопроизводительный язык для проведения технических расчетов. Он включает в себе расчеты, визуализацию и установку в удобной среде программирования, в которой задачи и решения выражены в формулах, близких к математическому выражению технологических процессов.

The paper deals with the theoretical issues of the movement of the raw cotton fly, the study of the movement in the lifting-blade system of a drum dryer of a new design, which has six curves and six straight blades in operation. To solve the set tasks, the mathematical tools Matlab, a high-performance language for carrying out technical calculations, were used. It includes calculations, visualization and installation in a convenient programming environment in which tasks and solutions are expressed in formulas close to the mathematical expression of technological processes.

Ключевые слова: хлопок-сырец, джинирование, процесс сушки, лопастная барабанная сушилка, летучка.

Keywords: raw cotton, ginning, drying process, paddle drum dryer, fly.

При подготовке хлопка-сырца к процессу джинирования он подвергается процессу сушки на лопастных барабанных сушилках.

Определим момент схода летучки с лопасти t_c из условия $X=L=AB$ с примене-

$$v_c = -\frac{g}{\omega} \cos(\omega t_c - \beta) - \frac{gf}{\omega} \sin(\omega t_c - \beta) - \omega^2 R t_c \cos \beta + \frac{g}{\omega} (\cos \beta - f \sin \beta). \quad (1)$$

Для решения данной задачи воспользуемся пакетом Simulink. Эта программа является языком программирования высокого уровня, который предназначен для вычислений и создания моделей различных устройств и систем. Математическое описание объекта использует формулы в определенной последовательности, связывая их друг с другом через общие переменные и когда результаты одной формулы используются как переменные для другой. В таком случае все математическое описание можно рассматривать как систему, а отдельные формулы как ее элементы (блоки), связанные друг с другом [2].

Совокупность графических изображений блоков и линий связи образует блок-

схему ММ. Для этой цели будем рассматривать момент схода летучки с лопасти t_c из условия $X=L=AB$ [1].

Найдем относительную скорость летучки в момент схода ее с лопасти:

схему ММ. Для построения блок-схем и предназначен пакет Simulink MATLAB (Simulation-моделирование).

Пакет Simulink рассчитан на моделирование линейных и нелинейных динамических систем и основывается на принципах визуально-ориентированного программирования с применением в виде комбинирующих компонентов-блоков, путем соединения которых между собой составляются функциональные модели устройств и систем.

С помощью программы Simulink имитируется работа устройств во временной области, а также можно выполнить анализ присущих им свойств.

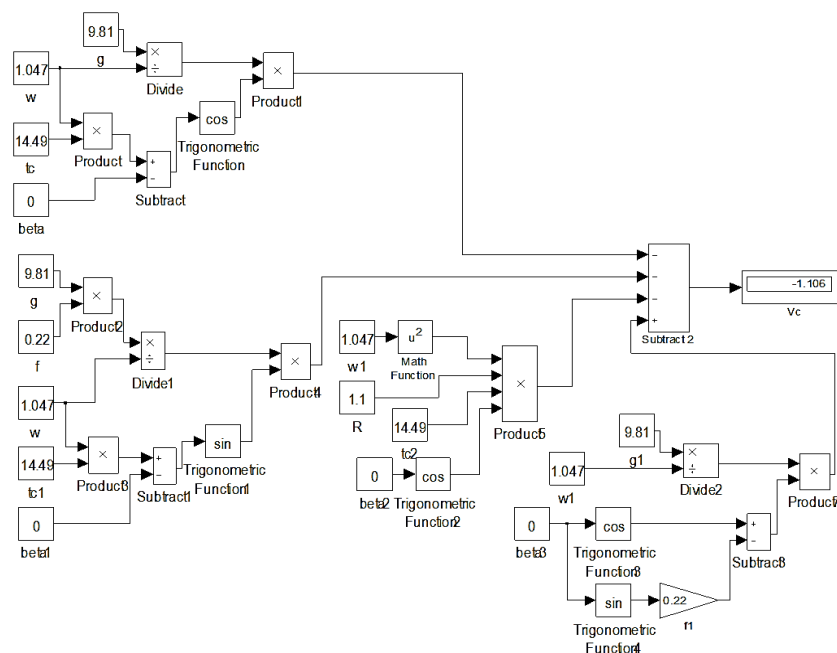


Рис. 1

Simulink способен к систематической верификации и валидации моделей путем проверки моделирования стиля, требований к прослеживанию и анализа покрытия модели.

При моделировании мы можем выбрать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения модельного времени. В ходе моделирования имеем возможность следить за процессом, происходящим в системе.

На рис. 1 продемонстрированы текстовая надпись и текущее изменение надписи, представленных в блоке передаточной функции. Итак, меняя значение угла β от 0 до 60° (угол изменения положения лопасти в барабане), мы построили модель зависимости скорости V_c от угла β , в которой получили представленные характеристики (рис. 1 – функциональная модель уравнения (1) в системе Simulink).

При $\beta=0$, $t_c=14.49$ с, $V_c=-11,106$ м/с.

Т а б л и ц а 1

| № п/п | β | t_c | V_c |
|-------|---------|-------|--------|
| 1 | 0 | 14.49 | -11.11 |
| 2 | 15 | 14.27 | -14.10 |
| 3 | 30 | 14.06 | -15.80 |
| 4 | 45 | 13.83 | -17.80 |
| 5 | 60 | 13.40 | -18.00 |
| 6 | 75 | 13.13 | -19.24 |
| 7 | 90 | 12.80 | -20.68 |
| 8 | 105 | 12.36 | -21.92 |
| 9 | 120 | 11.92 | -23.11 |

По этой же программе проводим расчет для других значений: угол наклона лопасти β . При $\beta=15^\circ$, $t_c=14,27$ с, $V_c=-14,1$ м/с, при $\beta=30^\circ$ $t_c=14,06$ с, $V_c=-15,8$ м/с, при $\beta=45^\circ$ $t_c=13,83$ с, $V_c=-17,8$ м/с, при $\beta=60^\circ$ $t_c=13,4$ с, $V_c=-18,0$ м/с.

$$h = R - H; \frac{h}{R} = \cos\varphi; \varphi = \arccos\left(\frac{h}{R}\right) = \arccos\left(\frac{R-H}{R}\right) = \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right), \quad (2)$$

$$S_{cp} = 2\varphi R = D\varphi = D \arccos\left(1 - \frac{2H}{D}\right). \quad (3)$$

Окружная скорость барабана:

$$V_{окр} = \omega \frac{D}{2} = \frac{\pi n D}{30 \cdot 2} = \frac{\pi n D}{60}. \quad (4)$$

В табл. 1 приведены численные значения времени (с) и скорости схода летучки (м/с) при различном угле наклона лопастей (град).

На рис. 2 представлена зависимость скорости схода летучки с лопасти от времени.

Далее произведем расчет параметров криволинейных лопастей барабанной хлопкосушилки. Для этой цели по поверхности относительно двух видов лопастей находим движение хлопка-сырца. Сама конструкция барабанной сушилки, имеющая наклонные по отношению к радиусу барабана лопасти показана в [3], [4] и представлена на рис. 3 (объем барабана сушилки, заполненный хлопком-сырцом) в виде барабана, который наполнен хлопком-сырцом в плоскости, перпендикулярной оси его вращения.

H – высота заполнения сечения барабана хлопком-сырцом.

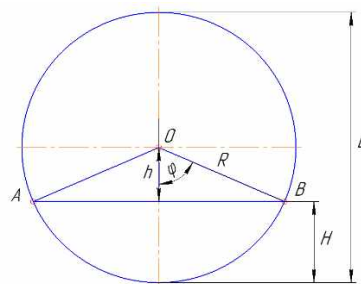


Рис. 3

Вычислим длину дуги АВ, которая равна S_{cp} .

S_{cp} – часть окружности (при движении барабана сохраняется в закрытом виде хлопком-сырцом). По рис.3 значение параметров равно:

Время нахождения хлопка-сырца в завале:

$$\tau_{зл} = \frac{S_{cp}}{V_{окр}} = \frac{D \cdot \arccos\left(1 - \frac{2H}{D}\right) \cdot 60}{\pi n D} = \frac{60}{\pi n} \arccos\left(1 - \frac{2H}{D}\right). \quad (5)$$

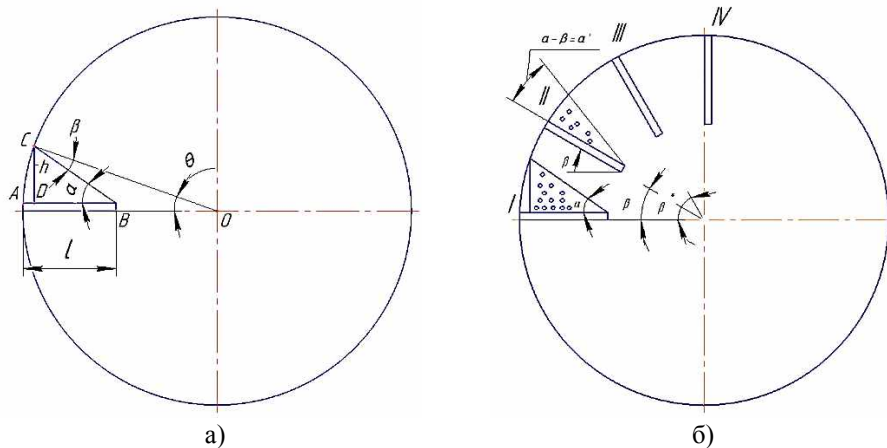


Рис. 4

Определим объем (эффективную площадь сечения) АСВ хлопка, сохраняющегося на площадке лопасти в виде плоской пластины длиной ℓ .

а) Участок движения при $\beta < \alpha$ (рис. 4-а – плоская лопасть). Обозначим $AB = \ell$, $OC = R$.

Из треугольника ОВС по теореме синусов имеем:

$$\frac{R}{\sin(180^\circ - \alpha)} = \frac{R}{\sin \alpha} = \frac{R - \ell}{\sin \beta} = \frac{R - \ell}{\sin(\alpha - \theta)},$$

$$\beta = 180^\circ - (180^\circ - \alpha) - \theta = \alpha - \theta,$$

$$\sin(\alpha - \theta) = \frac{R - \ell}{R} \sin \alpha, \quad \theta = \alpha - \arcsin \left[\frac{R - \ell}{R} \sin \alpha \right], \quad h = R \sin \theta.$$

Площадь фигуры АОС:

$$\begin{aligned} A_{AOC} &= \frac{R^2}{2} \theta, \\ A_{OCD} &= \frac{1}{2} h OD = \frac{1}{2} R \sin \theta R \cos \theta = \frac{R^2}{4} \sin(2\theta), \\ A_{ACD} &= A_{AOC} - A_{OCD} = \left[\frac{R^2}{2} \theta \right] - \left[\frac{R^2}{4} \sin(2\theta) \right] = \frac{R^2}{4} [2\theta - \sin(2\theta)], \\ A_{BDC} &= \frac{1}{2} h BD, \\ AD &= a = R - R \cos \theta = R(1 - \cos \theta), \\ BD &= \ell - a = \ell - R(1 - \cos \theta), \\ h &= BD \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha [\ell - R(1 - \cos \theta)], \\ A_{\beta_i} &= A_{ACB} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha \{ \ell - R(1 - \cos \theta) \}^2 + \frac{R^2}{4} \{ 2\theta - \sin(2\theta) \}. \end{aligned} \quad (6)$$

Число частицы при $A_{\beta_i} = \pi r^2$ (частица в виде шара с радиусом-r):

$$n = \frac{A_{ACB}}{A_{\beta_i}}, \quad (7)$$

б) Участок движения при $\beta > \alpha$ (рис. 4-б – схема рабочего положения плоской лопасти).

I – исходное положения прямой лопасти.

II – произвольное положение прямой лопасти.

III, IV – положение, при котором все летучки хлопка-сырца выпали.

α – угол естественного откоса для хлопка.

Уравнения, но вместо α подставим $\alpha^I = \alpha - \beta$.

Чтобы провести расчеты, необходимо пренебречь трением, возникающим между летучкой и лопастью, а также трением между летучками (силой их сцепления друг с другом).

Расчет θ – по формуле пункта а; A_{ACB} – по формуле (6). Везде вместо α подставим $\alpha^I = \alpha - \beta$. Критический угол $\beta^* = \alpha$.

Таким образом, все летучки могут покидать лопасти при $\beta^* = \alpha$.

Разобьем интервал движения барабана в пределах от $0 \leq \beta \leq \beta^*$ на k одинаковых участков:

$$\beta_i = \frac{\beta^* - 0}{k} i, \text{ где } (i = 0 \div k). \quad (8)$$

Площадь фигуры ABC изменится на интервале движения $\beta_{i-1} \leq \beta \leq \beta_i$:

$$\Delta A_{\beta_i} = A_{\beta_{i-1}} - A_{\beta_i}. \quad (9)$$

Величина средней высоты падения на участке поворота в условиях, когда падение с лопасти летучек считается равномерным:

$$h_{\beta_{icp}} = \frac{1}{2} (h_{\beta_i} + h_{\beta_{i-1}}) \quad (i = 1, 2, \dots k). \quad (10)$$

Или, подставив значение h_{β_i} :

$$h_{\beta_{icp}} = \frac{1}{2} (R - l) \{ \sin \beta_i + \sin \beta_{i-1} \}. \quad (11)$$

Число выпавших летучек на участке $\beta_{i-1} \leq \beta \leq \beta_i$:

$$\Delta n_i = \frac{\Delta A_{\beta_i}}{A_{л}}. \quad (12)$$

Средняя высота падения летучек с лопастей:

$$h_{ncp} = \frac{\sum (\Delta n_i h_{\beta_{icp}})}{\sum \Delta n_i}. \quad (13)$$

На основании экспериментальных исследований ЦНИИХпрома устанавливается

эмпирическая зависимость средней скорости падения частиц хлопка-сырца [5]:

$$V_{ncp} = 1,7 + 3 l_g h_{ncp}. \quad (14)$$

Отсюда время падения летучек:

$$\tau_n = \frac{h_{ncp}}{V_{ncp}}. \quad (15)$$

Для проверки при условиях сравнительно малых высот падения частиц хлопка-сырца с лопастей с пренебрежением сопротивления теплоносителя можно принять:

$$\tau_n = \sqrt{\frac{2h_{ncp}}{g}} = \frac{1}{2,23} \sqrt{h_{ncp}}. \quad (16)$$

Плоские лопасти (их всего $n=6$ штук) установлены равномерно под углом:

$$\gamma = \frac{360^0}{n} = \frac{360^0}{6} = 60^0.$$

Поскольку $\gamma > \alpha$ (угол падения хлопка с плоской лопастей) то каждая лопасть за 1 оборот барабана примет 1 раз участие в рабочем цикле. В общем $n = 6$ плоских лопастей обеспечат время падения хлопка:

$$\tau_n^I = \sum \tau_n = 6. \quad (17)$$

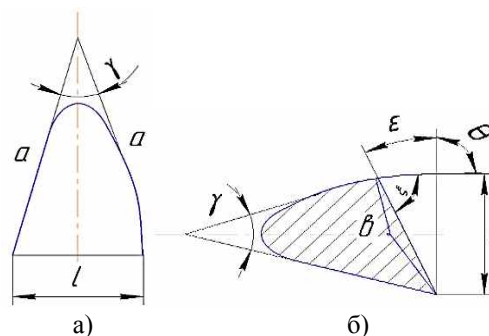


Рис. 5

Рассмотрим ту же задачу для случая криволинейных лопастей (рис. 5 – форма криволинейной лопасти: а) – определение параметров лопасти; б) – определение объ-

ема хлопка в криволинейной лопасти при повороте на угол β).

Определим объем (эффективную площадь сечения хлопка), сохраняющуюся на площадке криволинейной лопасти.

Пренебрегая кривизной стенки "а", считаем, что имеем равнобедренный треугольник:

$$A = \frac{1}{2} a \cdot a \cdot \sin \gamma = \frac{\ell^2 \sin \gamma}{4 \sin^2(\gamma/2) \cdot 2} = \frac{\ell^2 2 \sin(\gamma/2) \cos(\gamma/2)}{4 \cdot \sin^2(\gamma/2) \cdot 2} = \frac{\ell^2 \cos(\gamma/2)}{4 \sin(\gamma/2)},$$

или

$$A = \frac{\ell^2}{4 \operatorname{tg}(\gamma/2)}. \quad (18)$$

1) Положение, когда криволинейная лопасть будет полностью свободна от хлопка-сырца:

$$\begin{aligned} (\beta')^* + \alpha - \frac{\gamma}{2} &= 90^\circ, \\ (\beta')^* &= 180^\circ - \beta^*, \\ 180^\circ - \beta^* + \alpha - \frac{\alpha}{2} &= 90^\circ, \\ \beta^* &= 90^\circ + \alpha - \frac{\alpha}{2}, \\ \varepsilon &= 90^\circ - \frac{\gamma}{2} - \alpha - \psi = 90^\circ - \left(\psi + \frac{\gamma}{2}\right), \\ \psi + \frac{\gamma}{2} + 180^\circ &= \beta^1 + 90^\circ = 180^\circ - \beta + 90^\circ, \\ \psi + \frac{\gamma}{2} &= 90^\circ - \beta, \\ \varepsilon &= 90^\circ - \alpha - (90^\circ - \beta) = \beta - \alpha, \end{aligned}$$

где α – угол естественного откоса хлопка-сырца.

Зависимость начинает действовать с $\beta_{\min} = \alpha$.

При повороте на угол β криволинейной лопасти ($\beta > \alpha$) "верхняя" часть хлопка в виде комка уже выпала и начал выпадать хлопок из полости криволинейной лопасти.

$$\begin{aligned} \frac{b}{\sin \theta} &= \frac{1}{\sin \xi}, \\ \xi &= 180^\circ - \varepsilon - \theta = 180^\circ - \left(90^\circ - \frac{\gamma}{2}\right) - \varepsilon = 90^\circ + \frac{\gamma}{2} - \varepsilon, \\ b &= \frac{\ell \sin \theta}{\sin \xi} = \frac{\ell \cos(\gamma/2)}{\cos(\gamma/2 - \varepsilon)}, \\ A_\beta &= \frac{1}{2} \ell b \sin \varepsilon = \frac{1}{2} \ell \frac{\ell \cos(\gamma/2) \sin \varepsilon}{\cos(\gamma/2 - \varepsilon)}, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\Delta A_\beta = A - A_\beta = \frac{\ell^2}{4 \operatorname{tg}(\gamma/2)} - \frac{\ell^2 \cos(\gamma/2) \sin \varepsilon}{2 \cos(\gamma/2 - \varepsilon)} = \frac{\ell^2}{4} \left\{ \frac{1}{\operatorname{tg}(\gamma/2)} - \frac{2 \cos(\gamma/2) \sin \varepsilon}{\cos(\gamma/2 - \varepsilon)} \right\}. \quad (20)$$

$$\frac{1}{\sin(\gamma/2)} = a$$

или

$$a = \frac{1}{2 \cdot \sin(\gamma/2)}.$$

Площадь треугольника:

Новая (уменьшенная) площадь A_β найдется:

$$\begin{aligned} \theta &= 90^\circ - \frac{\gamma}{2}, \\ \sin\left(90^\circ - \frac{\gamma}{2}\right) &= \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right). \end{aligned}$$

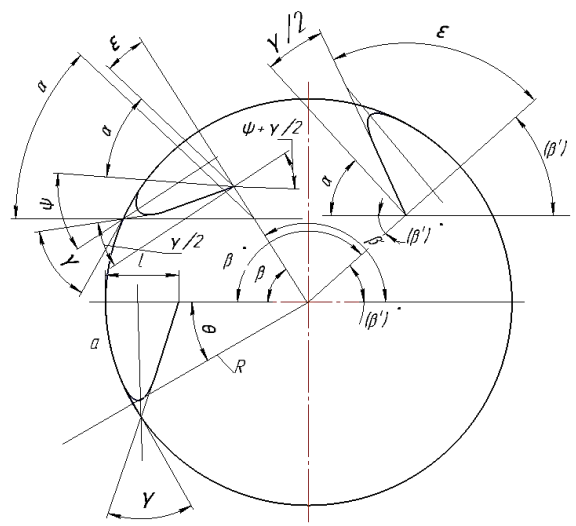


Рис. 6

По теореме синусов (рис. 6 – рабочее положение лопасти криволинейного профиля):

Далее расчет проводим подобно расчету для плоской лопасти. Разобьем интервал движения барабана от $\alpha \leq \beta \leq \beta^*$ на k одинаковых участков:

$$\beta_i = \frac{\beta^*}{k}i + \alpha \quad (i = \overline{0, k}).$$

Площадь "рабочего сечения" (заполненного хлопком) изменится:

$$\Delta A_{\beta_i} = A_{\beta_{i-1}} - A_{\beta_i}.$$

В общем $n = 6$ криволинейных областей обеспечат время падения хлопком:

$$\tau_n'' = \sum \tau_n = 6\tau_n. \quad (21)$$

В целом 6 кривых и 6 плоских лопастей обеспечат время падения хлопком:

$$\tau_n = \tau_n' + \tau_n''. \quad (22)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, рассмотрены теоретические вопросы движения летучки хлопком-сырца, исследование движение частицы в новой конструкции барабанной хлопкосушилки, которая имеет шесть кривых и шесть прямых лопастей, и, следовательно, рассмотрено решение 1 и 2-й частей поставленной задачи. Внутри барабана, вдоль его радиального сечения, расположены два типа лопастей, "черпающих" хлопок из размещенного в нижней части барабана "резервуара" хлопком-сырца. Во время сушки хлопком-сырца лопасти, которые забирают летучки, встряхивают их в самом резервуаре, и при этом достигается наибольшая доступность его для сушки посредством продуваемого через барабан горячего воздуха. В то же время лопасти, которые поднимаются вверх забирают хлопок-сырец, при этом обеспечивается непрерывная сушка его во время выпадения с площадок, роль, которую выполняют плоская лопасть или криволинейная лопасть. С большей высоты падения хлопком, т.е. подъемом над уровнем "резервуара", будет выше эффективность действия на материал продуваемого горя-

чего воздуха. Установленное суммарное время нахождения хлопком при таких условиях падения, непосредственно в резервуаре, приводит к точности в определении уровня и степени термообработки хлопком-сырца и его компонентов, рассчитанные на данную конструкцию барабана сушилки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 1. Статика и кинематика – М.: Наука, 1967.
2. Амелькин В.В. Дифференциальные уравнения в приложениях. – М.: Наука, 1987.
3. Парпиев А.П., Садилов М.С., Саидов М.Р. Повышение равномерности распределения сушильного агента в барабанной сушилке // Сб. науч. трудов ТИТЛП: Технология текстильного сырья и материалов. – Ташкент, 1984. С.27...31.
4. Иброгимов Х.И., Сафаров М.М., Абулхаев В.Д. Кинетика сушки волокнистых материалов (хлопковой массы) // Сб. мат. Междунар. научн.-практ. конф.: Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов). – М.: МГАУ, 2002. С.188...191.
5. Иброгимов Х.И., Сафаров М.М., Гулов Т.А. Режим сушки хлопком-сырца в барабанной сушилке // Сб. мат. Междунар. научн.-практ. конф.: Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов). – М.: МГАУ, 2002. С.184...187.
6. Михайлов Н.М. Теплообмен между газом и струей частиц, падающих с лопаток барабанной сушилки // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1966, № 1. С.12...15.
7. Исмаилов И.А. Совершенствование конструкции подъемно-лопастных систем барабанной хлопкосушилки для повышения влагоотбора, качества волокна и семян: Дис.... канд. техн. наук. – Душанбе, 2020.
8. Ходжиев М.Т., Аббазов И.З., Плеханов А.Ф., Мухаметишина Э.Т., Таишутатов Д.С. Создание эффективной технологии очистки воздуха, выделяемого в процессе переработки хлопком-сырца. – Иваново: АО "Информатика", 2021.

REFERENCES

1. Bat M.I., Janelidze G.Yu., Kelzon A.S. Theoretical mechanics in examples and problems. Volume 1. Statics and kinematics. – M.: Nauka, –1967.
2. Amelkin V.V. Differential equations in applications. – M.: Nauka. –1987.
3. Parpiev A.P., Sadikov M.S., Saidov M.R. Increasing the uniformity of the distribution of the drying agent in the drum dryer // Coll. scientific. Proceedings of TITLP "Technology of textile raw materials and materials". – Tashkent, 1984. P. 27...31.

4. Ibrogimov Kh.I., Safarov M.M., Abulkhaev V.D. Kinetics of drying fibrous materials (cotton mass) // Coll. materials of the International scientific-practical conference "Modern energy-saving thermal technologies (drying and thermal-moisture treatment of materials)". – M.: MGAU, 2002. P.188...191.

5. Ibrogimov Kh.I., Safarov M.M., Gulov T.A. Drying mode for raw cotton in a drum dryer // Coll. materials of the International Scientific and Practical Conference "Modern energy-saving thermal technologies (drying and thermal and moisture treatment of materials)". – M.: MGAU, 2002. P.184...187.

6. Mikhailov N.M. Heat exchange between gas and a jet of particles falling from the blades of a drum dryer

// Journal of Chemical and Oil Engineering. – 1966, №1. P. 12...15.

7. Ismatov I.A. Improvement of the design of lifting-blade systems of a drum cotton dryer to increase moisture extraction, quality of fiber and seeds: Diss....Cand. tech. sciences. – 2020.

8. Khodzhiyev M.T., Abbasov I.Z., Plekhanov A.F., Mukhametshina E.T., Tashpulatov D.S. Creation of an effective technology for purifying the air released during processing of raw cotton. – Ivanovo: JSC "Informatika", 2021.

Рекомендована кафедрой текстильных технологий РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 12.08.22.