

УДК 677.21.021

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
СКОРОСТИ И ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ХЛОПКА
В ЗОНЕ ОЧИСТКИ ИННОВАЦИОННОГО ОЧИСТИТЕЛЯ**

**DETERMINATION OF LAWS FOR THE DISTRIBUTION
OF SPEED AND FLOW DENSITY OF COTTON
IN THE CLEANING ZONE OF THE INNOVATIVE CLEANER**

*Б.М. МАРДОНОВ¹, Х.С. УСМАНОВ¹, Ф.Н. СИРОЖИДДИНОВ¹,
Д.С. ТАШПУЛАТОВ¹, Г.И. МАХМУДОВА^{2,3}, М.С. КАРАТАЕВ²*

*B.M. MARDONOV¹, H.S. USMANOV¹, F.N. SIROZHIDDINOV¹,
D.S. TASHPULATOV¹, G.I. MAKHMUDOVA^{2,3}, M.S. KARATAYEV²*

¹Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан,
²Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан,
³Университет Дружбы народов имени академика А.Куатбекова, Республика Казахстан)

¹Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan,
²M. Auezov South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan,
³University of Friendship of Peoples after Academician A.Kuatbekov, Republic of Kazakhstan)

E-mail: maxmudova1974@mail.ru, ssht61@mail.ru

В статье приводятся материалы по инновационному очистителю хлопка от сорных примесей. Предложена теоретическая модель описания стационарного движения потока хлопка по сетчатой поверхности колкового барабана. На основе решения уравнения Эйлера установлены закономерности распределения скорости и плотности хлопка по сетчатой поверхности. Определены основные безразмерные величины, влияющие на состояние среды и скорость ее движения в зоне очистки.

The article provides materials on innovative cotton cleaner from weeds. A theoretical model is proposed for describing the stationary motion of the flow of cotton along the mesh surface of a ring drum. Based on the solution of the Euler equation, the regularities of the distribution of speed and density of cotton over the mesh surface are established. The main dimensionless quantities are determined that affect the state of the medium and its velocity in the cleaning zone.

Ключевые слова: очистка хлопка, скорость потока, плотность потока, закономерность, инновационный очиститель хлопка.

Keywords: cotton cleaning, flow rate, flow density, regularity, innovative cotton cleaner.

С реализацией экономических преобразований в хлопкоперерабатывающей отрасли особое внимание уделяется ориентации научной и научно-технической деятельности на получение практических результатов, направленных на решение конкретных задач развития отраслей экономики, а также удовлетворение потребностей внутреннего и внешнего рынков. Исходя из этих позиций нами ставится задача совершенствования процесса очистки хлопка от сорных примесей путем создания инновационного очистителя, который в работе минимизирует механическое воздействие на хлопок и максимально сохраняет его качественные показатели.

Проведенный анализ научно-практических работ по совершенствованию процессов очистки хлопка-сырца от сорных примесей выявил, что получен ряд крупных научных результатов в этом направлении, в том числе разработаны современные системы автоматизации технологических процессов очистительного оборудования, создана эффективная технология очистки хлопка от крупных и мелких сорных примесей (Lummus, США, Cotton research and development corporation, Австралия) [1...5]. Результатами исследований, проводимых в республике, явились разработки новых машин по очистке хлопка от сорных примесей [6].

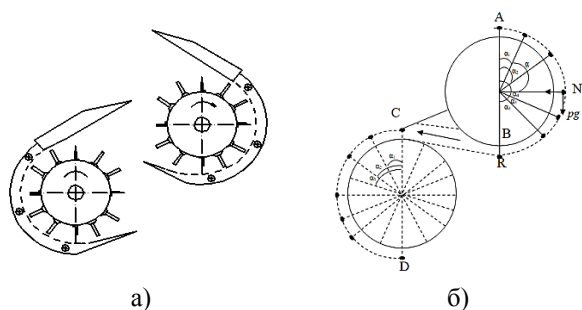


Рис. 1

Нами предлагается усовершенствованная схема вертикального очистителя хлопка-сырца от мелкого сора, которая поз-

воляет устранить вышеуказанные недостатки путем последовательного движения колковых барабанов, где появляется возможность увеличения угла охвата сетчатой поверхности барабана [6]. Предлагаемая схема изображена на рис. 1 (а) – схема новой секции вертикального очистителя хлопка-сырца от мелкого сора; б) – схема движения потока хлопка вдоль поверхности колков колкового барабана и сетчатой поверхностью по схеме зиг-заг), где показан поперечный разрез очистителя. Однонаправленная скорость вращения колковых барабанов позволяет устранить забойные ситуации в машине. При этом угол обхвата колкового барабана сетчатой поверхностью составляет более 180° . Приведенная схема компоновки очистительных секций (рис. 1-а) и последовательной транспортировки хлопка-сырца по сопряженным секциям очистки позволяет значительно увеличить очистительный эффект, а также, сохраняя природные качественные показатели хлопка-сырца и его компонентов, сохранить от повреждений волокна и семена при транспортировании по барабанам, что является основой разработки технологии вертикальной очистки хлопка-сырца на хлопкозаводах. Особое значение приобретает установка секции очистки от крупного сора после секции очистки от мелкого сора, что позволяет по сравнению с агрегатом УХК уменьшить металлоемкость конструкции при полной комплектации с 20,0 до 8,8 тонн, энергоемкость снижается от 98 до 39 кВт.

Принимаем, что поток хлопка движется вдоль сетчатой поверхности первого колкового барабана по направлению дуги АВ и при этом под воздействием колков барабана происходит процесс очистки хлопка от мелких сорных примесей (рис. 1-б).

При вращательном движении первого колкового барабана хлопок передается на второй барабан по направлению дуги движения ВС и это расстояние принимаем как

передаточное. В этой зоне практически не выделяются сорные примеси, здесь изменяются скорость потока и его плотность. В стационарном режиме движения потока этот процесс схематично показан на рис. 2. Обозначим скорость, плотность и давление потока в барабане соответственно: через v , $\rho_{\text{ва}}$ p , а также n – количество колков в колковом барабане. Принимаем, что в результате взаимодействия колков с сетчатой поверхностью вдоль дуги контакта потока с сетчатой поверхностью возникает давление p , которое в переменной $s=R\alpha$ удовлетворяет уравнению Эйлера:

$$\rho v \frac{dv}{d\alpha} = -\frac{dp}{d\alpha} + \rho g R \sin \alpha - R N f. \quad (1)$$

Здесь α – полярный угол; R – радиус колка колкового барабана; $\alpha_i = s_i/R$ – полярный угол расположения i -го колка; f – коэффициент трения между сетчатой поверхностью и потоком хлопка, N – нормальная сила, действующая на сетчатую поверхность, интенсивность которого определяется по формуле:

$$N = \rho \frac{v^2}{R} + p g \cos \alpha. \quad (2)$$

Подставляя в уравнение (1) выражение нормальной силы (2), получаем:

$$\rho v \frac{dv}{d\alpha} = -\frac{dp}{d\alpha} + \rho g R (\sin \alpha + f \cos \alpha) - \frac{\rho v^2 f}{R}. \quad (3)$$

Уравнение (3) содержит 3 неизвестные v , $\rho_{\text{ва}}$ p . Для замыкания уравнения вводим следующие дополнительные условия.

1. Необходимо, чтобы имела место связь между давлением и плотностью, то есть должно существовать уравнение состояния среды. Согласно работе [7] имеет место линейная связь между плотностью и давлением:

Умножая уравнение (7) на скорость v ,

$$\frac{1}{2} \frac{d(v^2)}{d\alpha} = M^2 [gR(\sin \alpha + f \cos \alpha) - fv^2] / (M^2 - 1).$$

$$\rho = \rho_0 [1 + A(p - p_0)]. \quad (4)$$

Здесь ρ_0 , p_0 – плотность и давление в потоке хлопка в зоне подачи хлопка-сырца; A – коэффициент, который определяется экспериментально. Этот коэффициент является обратным к величине модуля сжатия хлопка K . Принимаем, что в равенстве (4) имеет место очистка во всех зонах очистки.

2. Движение потока считается стационарным, то есть поступающая масса хлопка в единицу времени является постоянной величиной, и это условие является выражением закона сохранения массы.

$$Q_0 = \rho_0 v_0 h_0 L = \rho v h l. \quad (5)$$

Здесь h_0 – толщина слоя хлопка; ρ, v, h – плотность, скорость и толщина хлопка в произвольной дуге; L – длина вала.

В расчетах принимаем, что толщина слоя хлопка h является постоянной величиной.

Используя формулы (5) и (6) при $A \ll 1$, выражаем плотность и давление через скорость v :

$$\rho = \frac{v_0 \rho_0}{v}, p = p_0 - \frac{1}{A} \left(\frac{v}{v_0} - 1 \right). \quad (6)$$

Подставляя выражения ρ и p в формулу (3), для скорости получаем следующее уравнение:

$$(1 - M^{-2}) \frac{dv}{dx} = \frac{gR}{v} (\sin \alpha + f \cos \alpha) - fv. \quad (7)$$

Здесь $M = \frac{v_0}{c_0}$, $c_0 = \sqrt{\frac{1}{A\rho_0}}$ – скорость распространения волны в хлопке, принятом сплошной средой.

получаем:

Принимая $v^2 = y$, получаем следующее линейное уравнение: относительно y :

$$\frac{dy}{da} + 2k_1 y = k_2 (\sin \alpha + f \cos \alpha). \quad (8)$$

$$\text{Здесь } k_1 = \frac{2fM^2}{M^2-1}; \quad k_2 = \frac{2gRM^2}{(M^2-1)}.$$

Угол между колками колкового барабана принимаем $\alpha = \alpha_i$, тогда в уравнении (10) в результате удара колка при угле $\alpha = \alpha_i$ скорость будет равна $v = v_k$.

$$c = k_2 \int (\sin \alpha + f \cos \alpha) e^{k_1 \alpha} d\alpha = k_2 \frac{e^{k_1 \alpha}}{(k_1^2 + 1)} [(k_1 f - 1) \cos \alpha + (k_1 + f) \sin \alpha].$$

Общее решение (8) для участка между i и $i+1$ колком будет иметь следующий вид:

$$y_i = e^{-k_1 \alpha} \left\{ C_i + k_2 \frac{e^{k_1 \alpha} [(k_1 f - 1) \cos \alpha + (k_1 + f) \sin \alpha]}{(k_1^2 + 1)} \right\}. \quad (9)$$

Здесь постоянное C_i определяется из условия $y = (v_i)^2 = v_k^2$. Используя эти

Общее решение уравнения (8) находим через следующее выражение:

$$y = c e^{-k_1 \alpha}.$$

Здесь коэффициент c находим методом вариации постоянного:

$$c' = k_2 (\sin \alpha + f \cos \alpha) e^{k_1 \alpha}.$$

Интегрируя это выражение, получаем вид коэффициента

условия в решении (9) определяем частное решение для y_i :

$$y_i = e^{-k_1 (\alpha - \alpha_i)} \left\{ v_i^2 e^{-0(\alpha - \alpha_i)} + k_2 [F(\alpha) - F(\alpha_i)] \right\} \quad (10)$$

($i = 0, n - 1$) при $\alpha_i < \alpha < \alpha_{i+1}$

Здесь n – количество колков в колковом барабане.

В промежутке углов $\alpha_i < \alpha < \alpha_{i+1}$ скорость определяется по следующей формуле. $v_i = \sqrt{y_i}$. Согласно формуле (10) скорость хлопка зависит от числа $M = v_0 / c_0$. В аэродинамике это число именуется числом Маха [8]. Аэродинамическое качество (отношение подъемной силы к силе лобового сопротивления) движущихся в воздушной среде тел зависит от этого числа. Наличие этого числа при движении потока хлопка связано со стационарным движением потока связано наличием линейной связи между плотностью и давлением. Скорость волны в аэродинамике определяется по формуле при наличии связи $p = p(\rho)$ определяется по формуле $c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$. Если уравнение состояния будет линейным, то скорость будет постоянной и будет равно $c = c_0 = \sqrt{1/\rho_0}$.

При условиях $M < 1$ и $M > 1$ характер скорости потока будет различным. При

$M < 1$ обычно в среде происходит ускорение движения, поэтому возрастает скорость и по формуле (8) плотность уменьшается, то есть среда дополнительно разрыхляется и поэтому по формуле (4) можно заметить уменьшение значения давления.

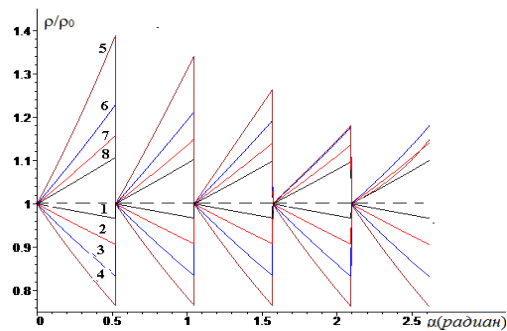
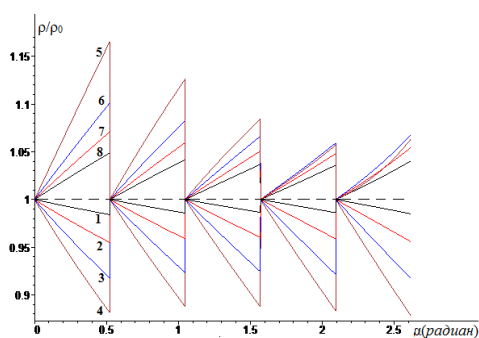
С приближением числа Маха к значению, равному 1, происходит резкое возрастание скорости потока. Случай, когда значению числа Маха приближается к $M \rightarrow 1$ в аэродинамике этот процесс называется трансзвуком и определено, что с помощью линейных уравнений физический смысл этого процесса, в этом случае, нельзя объяснить.

В этом случае для описания движения потока хлопка надо использовать уравнения, учитывающие нелинейные процессы. Поэтому необходимо при расчетах использовать значения числа Маха M с равным $M < 1$ или $M > 1$.

Из анализа рис. 2 (распределение плотности потока по дуге очистки для различных значений числа M коэффициента трения хлопка $f=0,1$ (а), $f=0,2$ (б): $1 - M=0,4$;

2 – $M=0,6$; 3 – $M=0,7$; 4 – $M=0,8$; 5 – $M=1,2$; 6 – $M=1,4$; 7 – $M=2$; 8 – $M=10$) наблюдается, что снижение плотности происходит в

пределах значения числа Маха $M < 1$ (1-4 линии).



а)

б)

Рис. 2

Это является основанием для заключения о том, что очистку хлопка можно производить только при этом режиме. Также здесь при приближении значения числа Маха к 1 плотность может резко снижаться.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в рамках модели сплошной среды составлено стационарное уравнение Эйлера для определения законов распределения скорости плотности потока хлопка-сырца по сетчатой поверхности коллового барабана. Установлено, что характер движения потока вдоль дуги очистки существенно зависит от числа $M=v_0/c_0$.

Выявлена закономерность влияния числа Маха M на распределения скорости и плотности потока по сетчатой поверхности. В частности, показано увеличение или уменьшение скорости потока соответственно при $M < 1$ и $M > 1$. При этом обнаружено уменьшение или увеличение плотности при соответствующих значениях числа M . Также определены значения плотности и модуля сжатия среды, при которых может реализоваться наилучший режим разрыхления потока хлопка-сырца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Code of Federal Regulations (CFR). 2010. Method 201A–Determination of PM10 and PM2.5e missions from stationary sources (Constant sampling rate procedure). 40 CFR 51, Appendix M. Available at

<http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-201a.pdf> (verified 19 Aug. 2013).

2. Environmental Protection Agency (EPA). 1989. Particulate sampling in cyclonic flow. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Available online at <http://www.epa.gov/ttn/emc/guidlnd/gd-008.pdf> (verified 19 Aug. 2013).

3. Environmental Protection Agency (EPA). 2010. Frequently asked questions (FAQS) for Method 201A [Online]. Available at <http://www.epa.gov/ttn/emc/methods/method201a.html> (verified 19 Aug. 2013).

4. Boykin J.C., E. Bechere, and W.R. Meredith Jr. Cotton genotype differences in fiber-seed attachment force // J. Cotton Sci. – 2012,16:170...178.

5. Cherokee Fabrication. 2011. Hot air cleaner [Online]. Available at <http://www.cherokeefab.com/hotaircleaner.html> (verified 7 Jun. 2013).

6. Усманов Х.С., Лугачев А.Е., Гуляев Р.А. FAP 20170134 Хлопкоочистительный агрегат. Заявка FAP 20170134 от 27 ноября 2017.

7. Хожиев М.Т., Мардонов Б.М., Сирожидинов Ф.Н. Моделирование процессов очистки хлопка. – Ташкент, 2018.

8. Абрамович Г.И. Прикладная газовая динамика. – М. Гостехиздат, 1953.

REFERENCES

1. Code of Federal Regulations (CFR). 2010. Method 201A–Determination of PM10 and PM2.5 emissions from stationary sources (Constant sampling rate procedure). 40 CFR 51, Appendix M. Available at <http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-201a.pdf> (verified 19 Aug. 2013).

2. Environmental Protection Agency (EPA). 1989. Particulate sampling in cyclonic flow. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Available online at <http://www.epa.gov/ttn/emc/guidlnd/gd-008.pdf> (verified 19 Aug. 2013).

3. Environmental Protection Agency (EPA). 2010. Frequently asked questions (FAQS) for Method 201A [Online]. Available at <http://www.epa.gov/ttn/emc/methods/method201a.html> (verified 19 Aug. 2013).

4. Boykin J.C., E. Bechere, and W.R. Meredith Jr. Cotton genotype differences in fiber-seed attachment force // J. Cotton Sci. – 2012,16:170...178.

5. Cherokee Fabrication. 2011. Hot air cleaner [Online]. Available at <http://www.cherokeefab.com/hotaircleaner.html> (verified 7 Jun. 2013).

6. Usmanov Kh.S., Lugachev A.E., Gulyaev R.A. FAP 20170134 Khlopkoochistitel'nyy agregat. Zayavka FAP 20170134 ot 27 noyabr' 2017.

7. Khozhiev M.T., Mardonov B.M., Sirozhiddinov F.N. Modelirovanie protsessov ochildki khlopka. – Tashkent, 2018.

8. Abramovich G.I. Prikladnaya gazovaya dinamika. – M. Gostekhizdat, 1953.

Рекомендована кафедрой нефтяного и строительного производства Университета дружбы народов имени академика А. Куатбекова. Поступила 05.03.20.
