

ТЕОРЕТИКО - ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦА ХЛОПКА СЫРЦА И ЕГО КОМПОНЕНТОВ ПРИ НАГРУЖЕНИИ (СЖАТИИ) И РАЗГРУЗКИ**Мардонов Ботир Мардонович**

д-р физ.-мат. наук, профессор,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: usmanov.khayrulla@mail.ru

Усманов Хайрулла Сайдуллаевич

канд. техн. наук, доцент,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: usmanov.khayrulla@mail.ru

Исмаилов Алишер Абдулхаевич

канд. техн. наук, доцент,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: yusuf_1963@mail.ru

Тангиров Абдукаххор Эгамович

старший преподаватель,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: tangirov_ae@gmail.ru

Юсупов Ислом Илхом угли

ассистент,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: yusupov.islom@mail.ru

THEORETICAL - EXPERIMENTAL STUDY OF THE STATE OF A COTTON SAMPLE AND ITS COMPONENTS UNDER LOADING (COMPRESSION) AND UNLOADING**Botir Mardonov**

Doctor Phys.-Math. Sci., Professor,
Tashkent Institute of Textile and Light Industry
Uzbekistan, Tashkent

Khairulla Usmanov

Cand. tech. Sci., Associate Professor,
Tashkent Institute of Textile and Light Industry,
Uzbekistan, Tashkent

Alisher Ismailov

Cand. tech. Sci., Associate Professor,
Tashkent Institute of Textile and Light Industry,
Uzbekistan, Tashkent

Abdukakhkhor Tangirov

Senior teacher,
Tashkent Institute of Textile and Light Industry,
Uzbekistan, Tashkent

Islom Yusupov

 Assistant,
 Tashkent Institute of Textile and Light Industry,
 Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты экспериментов по замеру величины сжатия (разгрузки) хлопка-сырца. Получены уравнения скорости, плотности и давления в зоне движения потока вдоль плоскости очистки хлопка-сырца и значения интервалов изменения давления, при которых приведенная масса выделенных сорных примесей интенсивно увеличивается.

ABSTRACT

The article presents the results of experiments on measuring the magnitude of compression (unloading) of raw cotton. Equations of velocity, density and pressure in the zone of flow movement along the plane of cleaning raw cotton and the values of the intervals of pressure changes are obtained, at which the reduced mass of the separated trash impurities intensively increases

Ключевые слова: хлопок, сжатие, разгрузка, очистка, плотность, давление, свойства, математические модели, уравнения.

Keywords: cotton, compression, unloading, cleaning, density, pressure, properties, mathematical models, equations.

Введение. Как известно хлопок является технологическим материалом и при его переработке, с каждым технологическим переходом, происходит изменение его физико-механических свойств. Поэтому, на наш взгляд, необходимо разработка производственной карты изменения технологических свойств хлопка-сырца и его производных при изменении технологических режимов переработки. При составлении математических моделей и уравнений состояний хлопок-сырец и его производных сырец рассматриваются зачастую как сплошная среда или клочок в виде летучки что приводит к искажениям результатов исследований. Хлопок сырец является материальной средой, обладающей в зависимости от вида технологии различной структурой, для описания которой можно использовать общепринятые подходы в практике моделирования технических объектов. В связи с этим рассмотрим примеры изменения состояния хлопка-сырца при реализации различных видов технологий.

Результаты исследований. Пусть исходный материал сырца представлен в прессованном виде (бунта). В этом случае сырец представляет собой сплошную среду, структура которой, согласно положению механики сплошной среды (МСС), определяется уравнением состояния [1,2]. Это уравнение в простейших случаях выражается зависимостью между давлением p и плотностью ρ хлопка сырца. так называемой диаграммой сжатия « p, ε », где $\varepsilon = 1 - \rho_0 / \rho$, ρ_0 - плотность сырца в ненагруженном состоянии. Кривые, полученные экспериментальным путем для полимерных материалов, грунтов и хлопка сырца и их анализ представлен в работах [3-6]. Рассмотрим деформирование хлопка сырца при сжатии и разгрузки.

В большинстве случаев эта зависимость для хлопка сырца являются строго нелинейными [5], причем кривые нагрузки и разгрузки существенно

будут отличаться друг от друга (рис.1). В случае степенной зависимости, имеем:

$$p = p_1(\varepsilon) = p_0 + a_1\varepsilon + a_2\varepsilon^2 + a_3\varepsilon^3 + \dots + a_n\varepsilon^n \quad (1)$$

где a_i - опытные постоянные

Зависимость (1) имеет место при активном нагруженном состоянии, где выполняется условие $\frac{dp_1}{d\varepsilon} > 0$. При разгрузке диаграмма имеет другой вид

$$p = p_2(\varepsilon) = p_1(\varepsilon_1) + b_1(\varepsilon - \varepsilon_1) + b_2(\varepsilon - \varepsilon_1)^2 + \dots + b_n(\varepsilon - \varepsilon_1)^n$$

$$\text{при } \varepsilon_2 < \varepsilon < \varepsilon_1 \quad \frac{dp_2}{d\varepsilon} < 0 \quad (2)$$

где b_i опытные постоянные $\varepsilon_1 = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_1}$,

$\varepsilon_2 = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_2}$ ρ_1, ρ_2 - плотности сырца в начале и конце разгрузки

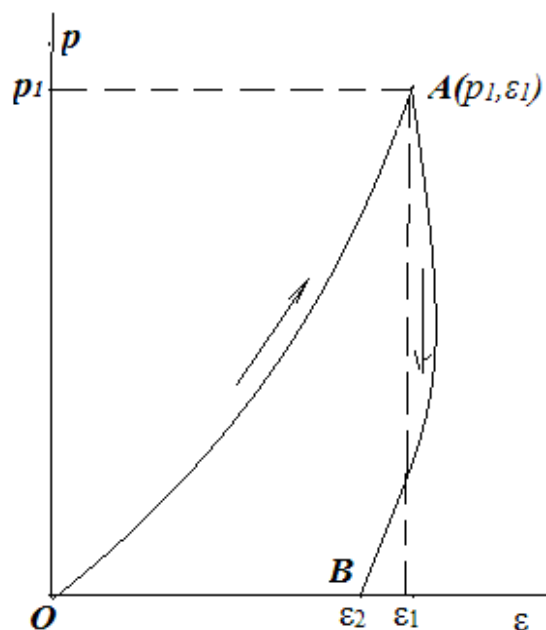


Рисунок 1. Схематическая диаграмма сжатия « p, ε » образца хлопka сырца при нагружении и разгрузке

Качественный анализ диаграммы « p, ε » можно провести по рис.1. При нагружении зависимость между давлением p и деформацией сжатия ε происходит по кривой OA, по стрелке направленной вверх,

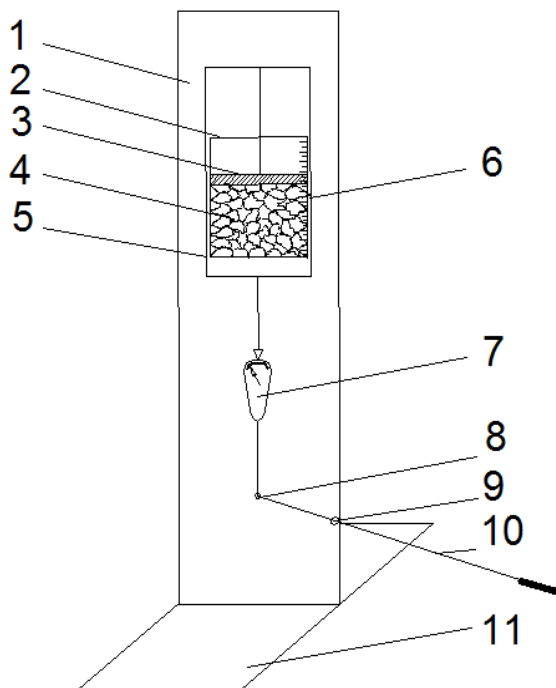
а разгрузка по линии AB, где стрелка направлена вниз. При этом величины p_0 , ϵ_1 и ϵ_2 являются опытными данными. Для получения этих экспериментальных данных разработана установка (рис.2а) и представлена ее схема (рис.2б) для сжатия образца хлопka сырца, которая состоит из каркаса для установки 1 на котором крепиться объем с прозрачным экраном для хлопka-сырца 2 внутри которого имеется плита 3, которая расположена над хлопком-сырцом 4 и перемещается с помощью передвижного узла для плиты 5. Величину перемещения при сжатии (разгрузки) хлопka-сырца фиксируется с помощью измерительной линейки 6, а сила сжатия измеряется динамометром 7. Через шарниры 8,9 и рукоятку рычага 10 передаются усилия сжатия (разгрузки) хлопka-сырца. Устройство базируется на основании 11.

Установка работает следующим образом. На каркасе установки 1 крепиться объем с прозрачным экраном для хлопka-сырца 2 внутри которого перемещается плита 3, которая расположена над хлопком-сырцом 4 и перемещается с помощью передвижного узла для плиты 5, под воздействием усилий, создаваемых рычагом 10, через шарниры 8,9. Величина перемещения при сжатии (разгрузки) хлопka-сырца фиксируется с помощью измерительной линейки 6, а сила сжатия измеряется динамометром 7.

Устройство стационарно базируется на основании 11. Полученные показатели изменения высоты объема хлопka-сырца и прилагаемых усилий фиксируются в таблице.



а)



б)

1- каркас для установки; 2 – объем с прозрачным экраном для хлопka-сырца; 3 – плита; 4 – хлопok-сырец; 5 - передвижной узел для плиты; 6- измерительная линейка; 7 – динамометр; 8,9 – шарниры; 10 – рукоятка рычага; 11 - основание устройства; а) общий вид установки; б) схема установки

Рисунок 2. Общий вид и схема установки для замера уровня сжатия (разгрузки) хлопka-сырца

Таблица 1.

Результаты экспериментов по замеру деформации сжатия (разгрузки) хлопка-сырца и величины прилагаемой силы

№	1-опыт		2-опыт		3-опыт		Средние показатели	
	<i>h</i> длина сжатия, мм	<i>P</i> – сила, Н	<i>h</i> длина, мм	<i>P</i> – сила, Н	<i>h</i> длина, мм	<i>P</i> сила, Н	<i>h</i> длина, мм	<i>P</i> сила, Н
<i>Показатели процесса сжатия (нагружения) образца хлопка-сырца</i>								
1	60	29	60	27	60	28	60	28
2	75	40	75	39	75	38	75	39
3	85	51	85	49	85	50	85	50
4	90	60	90	60	90	59	90	60
5	105	70	105	72	105	71	105	71
6	115	83	115	81	115	82	115	82
7	120	92	120	94	120	93	120	93
8	125	101	125	105	125	103	125	103
9	130	114	130	113	130	115	130	114
10	135	122	135	126	135	124	135	124
11	138	137	138	134	138	134	138	135
12	145	145	145	146	145	144	145	145
13	148	159	148	159	148	156	148	158
14	151	170	151	171	151	172	151	171
15	155	186	155	186	155	187	155	185
16	158	191	158	191	158	194	158	192
17	160	211	160	212	160	211	160	210
18	163	225	163	225	163	226	163	224
19	165	237	165	238	165	236	165	237
20	167	250	167	252	167	248	167	250
21	168	277	168	275	168	276	168	276
22	171	302	171	300	171	304	171	302
<i>Показатели процесса разгрузки образца хлопка-сырца после сжатия</i>								
1	167	102	167	104	167	103	167	103
2	166	92	166	91	166	93	166	92
3	165	70	165	70	165	73	165	71
4	164	61	164	61	164	58	164	60
5	163	49	163	51	163	50	163	50
6	162	38	162	38	162	41	162	39
7	160	28	160	30	160	29	160	29
8	120	0	120	0	120	0	120	0

Масса образца хлопка-сырца составляет $m = 0.23\text{кг}$, в закрытом объеме высотой $h_0 = 0.21\text{м}$, прямоугольным сечением длиной $a = 0.1\text{м}$ и шириной $b = 0.15\text{м}$. При этом плотность хлопка сырца в ненагруженном состоянии будет равна $\rho_0 = m / abh_0 = 73\text{кг} / \text{м}^3$. Объемная деформация при сжатия определяется по формуле

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_0}{\rho} = 1 - \frac{m}{abh_0} \frac{ab(h_0 - h)}{m} = 1 - \frac{h_0 - h}{h_0} = \frac{h}{h_0}$$

где h - опытная высота образца.

При известной величине силы сжатия n штоке P давление в образце вычисляется по формуле $p = P / ab = \frac{200P}{3} \text{Па}$. В таблице представлены ре-

зультаты измерений величин силы $P(H)$ и длины сжатия (мм) в процессе нагружения и разгрузки хлопка-сырца разновидности «Порлок» 1 сорта 1 класса, засоренностью 2,7% и влажностью 8,0%.

На рис.3 представлены экспериментальная зависимость между давлением $p(\text{КПа})$ и деформацией $\varepsilon = h / h_0$ при нагружении (линия OA) и разгрузки (линия AB). Видно, что деформация образца, в отличие от других материалов, принимает высокие значения и ее ростом давление в зоне нагружения

интенсивно растет, что является следствием значительного влияния режима нагружения на характер деформирования образца, что является причиной существенного изменения структуры материала.

Экспериментальная кривая, представленная линией нагружения OA на участке $0 < \varepsilon < \varepsilon_1$, аппроксимирована прямой линией OA_1

$$p = p_1(\varepsilon) = k\varepsilon \quad (3)$$

на участке $\varepsilon_1 < \varepsilon < \varepsilon_2$ аппроксимирована кубической зависимостью

$$p = p_2(\varepsilon) = p_1(\varepsilon_1) + 7.47(\varepsilon - \varepsilon_1) + c_1(\varepsilon - \varepsilon_1)^2 + c_2(\varepsilon - \varepsilon_1)^3 \quad (4)$$

$k = 7.47 \text{ Па}$, $\varepsilon_1 = 0.357$, $\varepsilon_2 = 0.814$,
 $c_1 = 27.,54 \text{ Па}$, $c_2 = 64.72 \text{ Па}$ Участок разгрузки аппроксимирован двумя прямыми линиями AC и CB

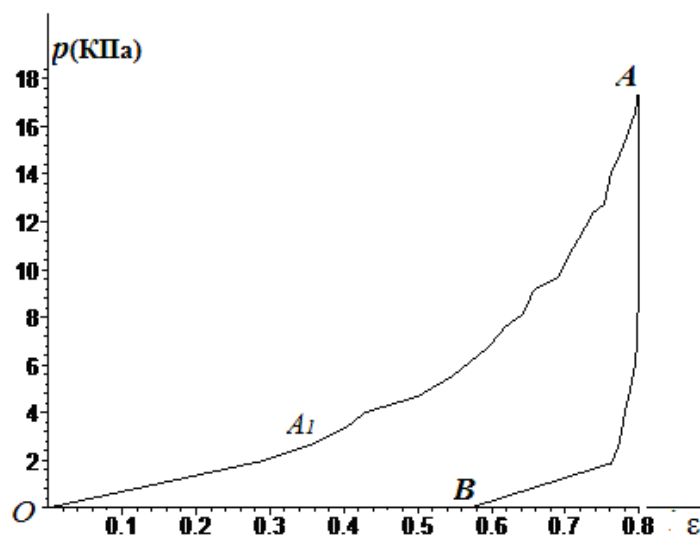


Рисунок 3. Экспериментальная диаграмма « p, ε » для хлопка сырца при нагружении (линия OA) и разгрузке (линия AB)

$$p = p_3(\varepsilon) = p_2(\varepsilon_2) - \frac{p_2(\varepsilon_2) - p_{31}}{\varepsilon_3 - \varepsilon_2}(\varepsilon - \varepsilon_2)$$

при $\varepsilon_3 < \varepsilon < \varepsilon_2$ (5)

$$p = p_4(\varepsilon) = \frac{p_{31}}{\varepsilon_3 - \varepsilon_4}(\varepsilon - \varepsilon_4) \text{ при } \varepsilon_4 < \varepsilon < \varepsilon_3 \quad (6)$$

где $\varepsilon_3 = 0.765$, $\varepsilon_4 = 0.57$, $p_{31} = 2.25 \text{ КПа}$

Диаграмма « p, ε », построенная с помощью прямых (3), (5), (6) и кривой (4) представлены на рис. 4 сплошными линиями, пунктирные соответствуют экспериментальным данным. Полученные кривые подтверждают ранее проведенные исследования

профессора М.Т.Ходжиева по сжатию (разгрузке) хлопка-сырца с учетом его бокового уплотнения [6].

Предложенную модель хлопка сырца используем для изучения движения потока хлопка сырца по наклонной плоскости и установим распределение количества выделенных сорных примесей в зоне контакта сырца с плоскостью. Полагаем, что скорость потока невелика и ограничимся применением для расчета линейный участок диаграммы « p, ε », и предполагаем линии нагружения и разгрузки на этом участке совпадающими друг с другом. Толщина потока постоянная и его движение стационарное и одномерное. Установим начало координат в верхней точке плоскости и направим ось Ox вдоль нее сверху вниз начальном сечении.

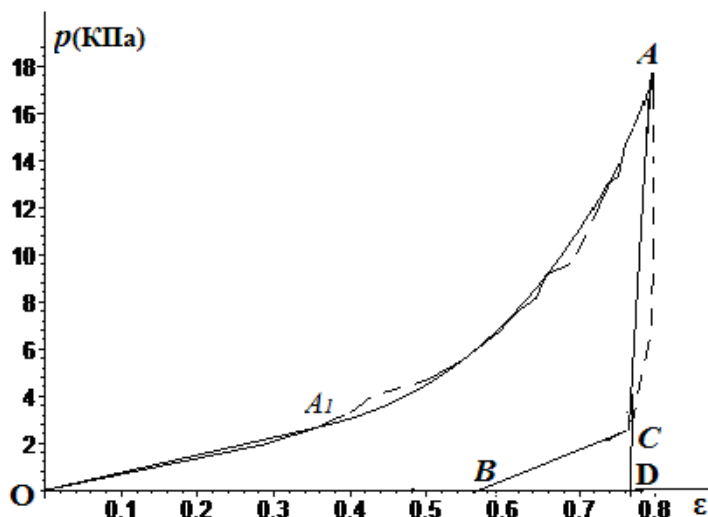


Рисунок 4. Аппроксимирующая (сплошная) и экспериментальная диаграммы « p, ε », для образца хлопка сырца

В указанных предположениях уравнение Эйлера записывается в виде

$$\rho v \frac{dv}{dx} = -\frac{dp}{dx} + \rho g(\sin \alpha - f \cos \alpha) \quad (7)$$

где ρ, v, p плотность скорость и давление в произвольном сечении потока, α - угол наклона плоскости к горизонту, f - коэффициент трения между сырьем и плоскости. Уравнение (7) содержит три неизвестные, для замыкания которого используем зависимость (3) и условие стационарности потока

$$\rho v h L = \rho_0 v_0 h_0 L = const = Q_0 \quad (8)$$

здесь ρ_0, v_0 плотность и скорость потока в начальной в зоне подачи, h_0 - начальная толщина потока, где принято $h = h_0$ L - ширина потока, Q_0 - масса поступающего потока за единицу времени. Из (3) и (8) установим зависимости плотности и давления через скорость потока

$$\rho = \rho_0 \frac{v_0}{v}, \quad p = p_0 + k(1 - \frac{v}{v_0}) \quad (9)$$

После постановки выражения ρ и p в равенство (7), составим уравнение для определения скорости потока

$$v \frac{dv}{dx} = \frac{g(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{(M^2 - 1)} \quad (10)$$

где $M = v/c_0$, $c_0 = \sqrt{k/\rho_0}$ - характерная скорость, p_0 - давление потока в зоне подачи

Решение уравнения (10), удовлетворяющего условию $v(0) = v_0$ имеет вид

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gx(\sin \alpha - f \cos \alpha)/(M^2 - 1)} \quad (11)$$

Плотность и давление определяются по формулам (9)

$$\rho = \frac{\rho_0}{\sqrt{1 + 2gx(\sin \alpha - f \cos \alpha)/v_0^2(M^2 - 1)}}, \quad (12)$$

$$p = p_0 + k(1 - \sqrt{1 + 2gx(\sin \alpha - f \cos \alpha)/v_0^2(M^2 - 1)}) \quad (13)$$

В дальнейшем полагаем $\alpha > \alpha_k = \arctg f$, $M > 1$

Другая граница $x = l$ потока считаем свободной, т.е. полагаем $p = 0$ при $x = l$ (l длина зоны расположения потока на плоскости). Решение (11) не удовлетворяет этому условию. Пусть это условие выполняется на участке $x_0 < x < l$. Тогда из условия непрерывности давления в сечении потока, $x = x_0$ из(13) следует

$$\sqrt{1 + 2gx_0(\sin \alpha - f \cos \alpha)/v_0^2(M^2 - 1)} = (p_0/k + 1)$$

Из этого равенства находим координату сечения $x = x_0$

$$x_0 = [(p_0/k + 1)^2 - 1]v_0^2(M^2 - 1)/2g(\sin \alpha - f \cos \alpha) \quad (14)$$

Предельное значение скорости v_0 устанавливается из условия $x_0 \leq l$, которое дает

$$v_0 \leq c_0 \sqrt{\{1 + \sqrt{1 + 2gl(\sin \alpha - f \cos \alpha)/c_0^2}/[(p_0/k + 1)^2 - 1]\}/2}$$

Таким образом, окончательные выражения для скорости, плотности и давления в зоне движения потока вдоль плоскости можно представить в виде

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gx(\sin \alpha - f \cos \alpha) / (M^2 - 1)}$$

при $x_0 < x < l$, $v = v(x_0)$ при $x_0 < x < l$ (15)

$$\rho = \frac{\rho_0}{\sqrt{1 + 2gx(\sin \alpha - f \cos \alpha) / v_0^2 (M^2 - 1)}}$$

при $x_0 < x < l$, $\rho = \rho(x_0)$ при $x_0 < x < l$ (16)

$$p = p_0 + k(1 - \sqrt{1 + 2gx(\sin \alpha - f \cos \alpha) / v_0^2 (M^2 - 1)})$$

при $x_0 < x < l$, $p = 0$ при $x_0 < x < l$ (17)

Распределение сорных примесей вдоль линии движения потока установим по модели А.Г. Севостьянова ($m_0 = Q_0 / L$ - масса поступающего в зоне очистки хлопка сырца за единицу времени и ширины потока)

$$\Delta \bar{m} = \Delta m / m_0 = \left[1 - \left(\frac{v_0}{v} \right)^2 \right] \quad (18)$$

В таблице 1 и 2 представлены значения координаты x_0 и выделенной суммарной массы (отнесенной к $m_0 l$) $M = \int_0^l \Delta m(x) dx$ за единицу времени в процентах. В расчетах принято $k = 7.47 \text{ Па}$, $r_0 = 100 \text{ кг/м}^3$, $L = 1 \text{ м}$, $h_0 = 0.05 \text{ м}$, $l = 5 \text{ м}$, $\alpha = 45^\circ$, $f = 0.3$,

Из анализа табличных данных следует, что с ростом начального давления p_0 , длина зоны с постоянными параметрами уменьшается и при достижении давления критического значения $p = p_k$, эта зона исчезает, значение этого давления $Q_0 = 6 \text{ т/час}$ и $Q_0 = 8 \text{ т/час}$ соответственно будет равно $p_k = 127.4 \text{ Па}$ и $p_k = 50.6$. При этом в интервале изменения давления $5 \text{ Па} < p_0 < 45 \text{ Па}$ приведенная масса выделенных сорных примесей интенсивно увеличивается и далее ее рост незначителен. Аналогичная картина имеет место при $Q_0 = 8 \text{ т/час}$. При этом интенсивный рост длины участка, разделяющей зон переменной и постоянной скоростей незначительна.

Таблица 1.

$Q_0 = 6 \text{ т/час}$

$p_0 (\text{Па})$	5	15	30	45	60	75	90	105	120	127.4
$x_0 (\text{м})$	0.02	0.12	0.37	0.74	1.23	1.85	2.60	3.47	4.47	5
100M%	1.78	3.74	5.35	6.33	7.00	7.43	7.73	7.91	8	8

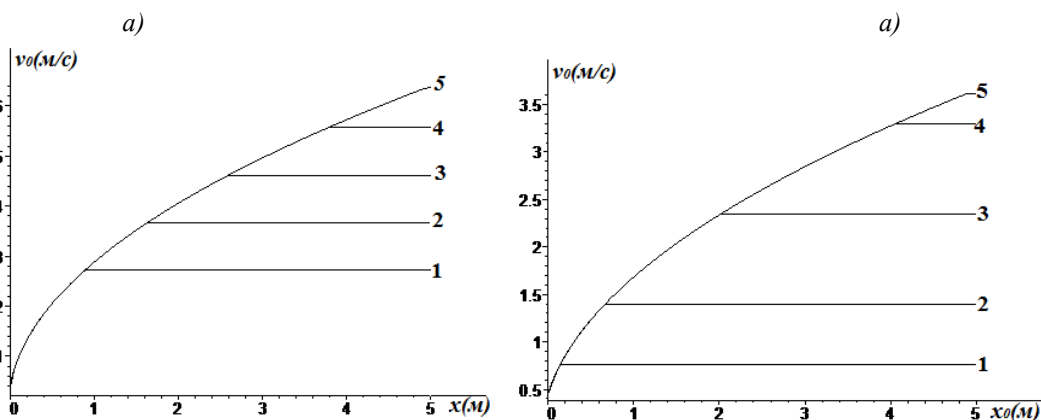
Таблица 2.

$Q_0 = 8 \text{ т/час}$

$p_0 (\text{Па})$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50.5
$x_0 (\text{м})$	0.14	0.37	0.67	1.04	1.49	2.02	2.62	3.03	4.06	5
100M%	2.35	3.80	4.81	5.55	6.10	6.51	6.8	7.00	7.11	7.16

Выводы: На рис.5 а,б представлены кривые распределения скорости потока (а) и массы выделенных сорных примесей (отнесенной к m_0) (б) по дуге очистки для различных значений расхода хлопка сырца $Q_0 (\text{т/час})$ и начального давления $p_0 (\text{Па})$.

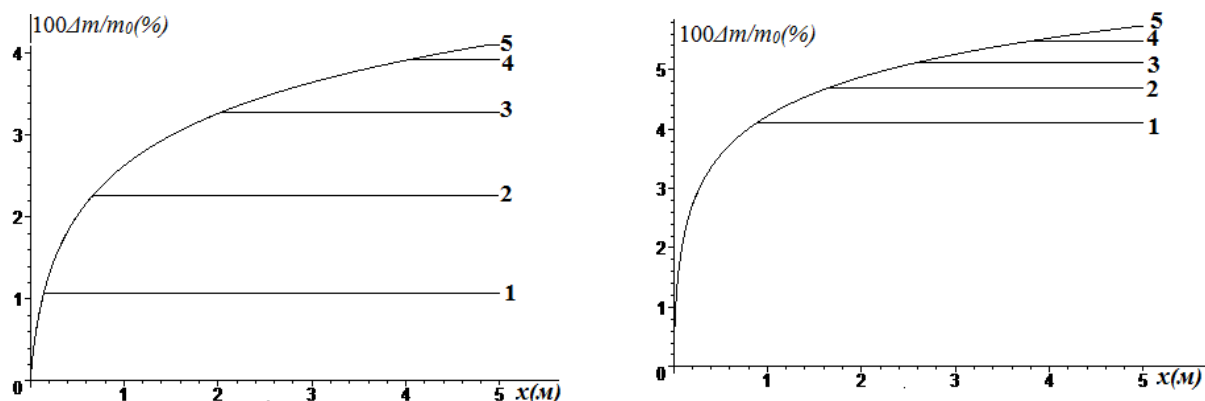
$Q_0 = 6 \text{ т/час}$



$Q_0 = 8 \text{ т/час}$

а)

б)



$$1 - p_0 = 50, 2 - p_0 = 70, 3 - p_0 = 90, 4 - p_0 = 110, 5 - p_0 = 127$$

$$1 - p_0 = 5, 2 - p_0 = 15, 3 - p_0 = 30, 4 - p_0 = 45, 5 - p_0 = 50$$

Рисунок 5. Кривые распределения скорости (а) потока и массы выделенной массы сорных примесей (б) по дуге очистки для различных значений расхода хлопка сырца Q_0 (т / час) и начального давления p_0 (Па)

Существенный рост скорости потока здесь на графиках связан с увеличением начального

давления p_0 что также приводит к увеличению интенсивности очистки и величины приведенной массы сорных примесей

Список литературы:

1. Павлов П.А. Механическое состояние и прочность материалов. Л: Изд-во Ленингр. Ун-та 1979, с. 176.
2. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела М., 1969, с. 558.
1. 3.Огибалов П.М., Ломакин В.А., Кишкин Б.П. Механика полимеров М. 975, с. 527.
3. Рахматулин Х.А. Сагомоян А.Я., Алексеев Н.А. Вопросы динамики грунтов М. Изд-во МГУ 1964, с. 239.
4. Мирошниченко Г.И. Основы проектирования машин первичной обработки хлопка. М. Машиностроение, 1972, с. 486.
5. Ходжиев М.Т. Основы процесса уплотнения хлопка-сырца. Издательство «Фан» Ташкент 1996 г., с. 118.