

## Тўрли сирт билан биргаликда ҳаракатланувчи чигитли пахтани қуритиш жараёнини моделлаштириш

Н.М.Сафаров

Наманган муҳандислик технология институти

E-mail: mutahhir\_74@mail.ru

Аннотация - Ушбу ишда чигитли пахта ва у билан аралашган ҳавони доимий узлуксиз континуум деб қаралади. Фазаларнинг бир-бири билан ўзаро таъсири-ни, тезлаштирилган ҳаракатланувчи доимийликнинг бириктирилган массалари билан боғлиқ бўлган инерционал кучларни ҳисобга оладиган эмперик қонунлар билан белгиланади. Натижада конвейер қуритиш камераларида “пахта-ҳаво оқими” ҳаракатланиш жараёнини тавсифловчи назарий алоқалар қўлга киритилди.

Калит сўзлар - қуритиш барабани, иссиқ ҳаво оқими, пахта+ҳаво, атроф муҳит, стокс кучи, архимед кучи, магнус кучи, инерция кучи, икки фазали тезлик, шароит, аэрофонтан, вертикал қўчиш.

## Simulation of the drying process of raw cotton moving together with the mesh surface

N.M.Safarov

Namangan Institute of engineering and technology

E-mail: mutahhir\_74@mail.ru

Abstract - The paper considers raw cotton and air mixed with it as a continuous continuum. The interaction of the phase with each other is determined by empirical laws that take into account the actions of viscous forces, the influence of inhomogeneity of the velocity field, and inertial forces associated with the attached masses of an accelerated moving continuum. As a result, theoretical dependences are obtained that characterize the process of “cotton + air flow” movement in conveyor drying chambers.

Key words - drying drums, hot air flow, cotton+air, environment, Stokes force, Archimedean force, phase, Magnus force, inertia force, tensor, two-phase velocity, condition, aerofontane, vertical displacement.



# Моделирование процесса сушки хлопка-сырца движущегося совместно с сетчатой поверхностью

Н.М.Сафаров

Наманганский инженерно-технологический институт

Email: mutahhir\_74@mail.ru

Аннотация—В работе рассматривается хлопок-сырец и замешанный с ним воздух как непрерывный континуум. Взаимодействий фазы между собой определяется эмпирическими законами, учитывающими действия вязких сил влияние неоднородности поля скоростей, инерционных сил, связанных с присоединенными массами ускоренно движущейся континуума. В результате чего получены теоретические зависимости, характеризующий процесс движения “хлопок + воздушный поток” в конвейерных сушильных камерах.

Калит сўзлар— сушильные барабаны, поток горячего воздуха, хлопок+воздух, окружающая среда, сыла стока, сыла архимеда, фаза, сыла магнуса, сыли инерции, тензор, двух важная скорость, условие, аэрофонтан, вертикальная перемещение.

## I ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблемы энергосбережения при использовании топливно-энергетических ресурсов приобрели особую актуальность, что обусловлено сокращением запасов традиционных топливно-энергетических ресурсов и обострением экологических нагрузок на окружающую среду.

В настоящее время в мире 20% потребляемой энергии производимой за счет нетрадиционных источников энергии и до 30% всего добываемого органического топлива расходуется на нужды систем геотехники.

Поэтому проведение комплекса мероприятий по решению проблем энергосбережения и развитие использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии являются актуальными.

В условиях резко континентального климата почти 49,6% всего энергопотребления в год приходится на долю систем переработки сельхозпродуктов.

В сельском хозяйстве в год расходуется свыше 50% первичной энергии[1].

При этом первичная обработка хлопка-сырца также считаются одними из крупных потребителей топливно-энергетических ресурсов в сельскохозяйственном производстве. Все технологические процессы при первичной обработке хлопка-сырца являются энергоемкими процессами.

Исходя из этого, решение перечисленных задач требует проведения специальных научных исследований, направленных на дальнейшее повышение энергетической эффективности первичной обработки хлопка-сырца с использованием нетрадиционных источников энергии.

При этом практическая реализация указанных способов повышения энергоэффективности сталкивается с необходимостью решения разнообразных задач нестационарного процесса тепло-и массообмена хлопка-сырца в сушильных камерах с учетом всех параметров, которые существенно влияют на сохранность продукции и затраты энергии на обеспечение оптимального режима сушки хлопка-сырца.

Поэтому широкое внедрение современной техники и технологии сушильных процессов хлопка-сырца, снижение энергоёмкости технологических процессов связано с решением важных научно-технических задач по повышению энергоэффективности с использованием нетрадиционных источников энергии.

В настоящее время к числу важных народнохозяйственных проблем, стоящих перед республикой Узбекистан, относятся проблемы, связанные с решением задач, вытекающих из развития топливно-энергетического комплекса и экологической проблемы.

Выполнению этих задач, требующих безотлагательного решения, способствует увеличение масшта-

бов использования возобновляемых источников энергии. Использование солнечной энергии в рациональном сочетании с другими источниками энергии во многих случаях позволяет сэкономить значительное количество топливно-энергетических ресурсов.

## II ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим движение двухфазных сред под действием нагретого воздушного потока (рис.1).

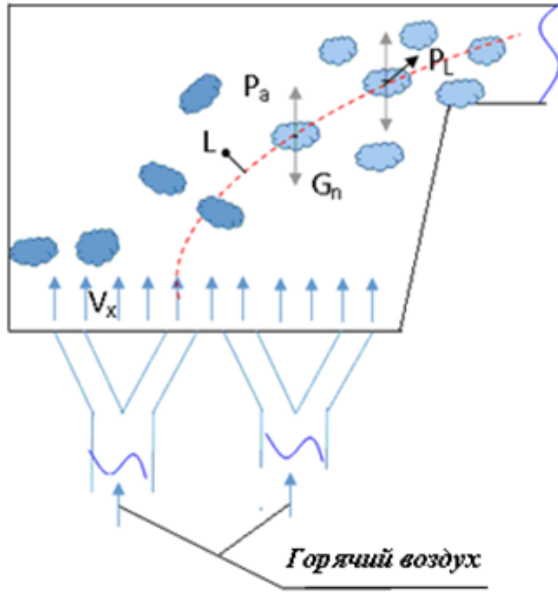


Рис. 1: Схема рабочей камеры и силы действующие на хлопок-сырец в солнечно-сушильной установке.

$$V_o = \frac{Q_o}{\rho_o S}$$

Пусть хлопок-сырец подается на движущегося сетчатой поверхностью конвейера со скоростью  $V_o = \frac{Q_o}{\rho_o S}$ , где  $Q_o$ -производительность питателя,  $\rho_o$ -плотность подаваемого хлопком-сырца,  $S$  площадь поперечного сечения питателя.

При определении температура хлопком-сырца принимаем следующие предположение[2] :

1. Скорость конвейера постоянна, толщина слоя хлопком-сырца на поверхности конвейера постоянна и равна  $h_o$ .
2. Процессы теплообмена хлопком-сырца с горячим воздухом и поверхности сетки происходит конвективный (между хлопком-сырцом и воздухом) и контысный (между поверхностью сетки и хлопком-сырца).

3. Хлопок-сырец совершает движение совместно с конвейером и поэтому плотность и давление хлопком-сырца в долъ конвейера постоянные.
4. При указанных предположениях уравнение теплообмена между воздухом и поверхности сетки записывается в виде:

$$CV_o \frac{dT}{V_x} = \alpha S (T_c - T) + \alpha_{vx} (T_o - T) \quad (1)$$

Где  $C$ -теплоемкость хлопком-сырца,  $\alpha$ -коэффициент теплообмена между стенкой сетки и хлопком-сырца,  $\alpha_{vx}$ - коэффициент теплообмена между воздухом и хлопком-сырцом,  $S$ -площадь (полезная) контакта поверхности с хлопком-сырцом.

Если обозначить через  $n$ - долеую часть сетки занятую отверстиями, то площадь  $S$  будет равна  $S = (1 - n)S_o$ ,  $S_o$ -общая площадь поверхности сетки. Теплоемкость хлопком-сырца представим в виде:  $C = C_1(m + C_2(1 - m))$ ; Где  $m$ -долеуая часть семян в составе хлопком-сырца. Если теплообменные процессы происходят независимыми в каждом компоненте хлопком-сырца, то они обмениваются с воздухом по закону параллели, и тогда теплообменный коэффициент также представляется в виде:

$$\alpha = \alpha_{vv}(1 - m) + \alpha_{vs}m$$

где  $\alpha_{vv}$ -коэффициент теплообмена между волокном и воздуха,  $\alpha_{vs}$ - коэффициент теплообмена между семян и воздухом при этом имеем:  $\alpha_{vx} = \alpha_{vv}(1 - m) + \alpha_{vs}m$  Ось  $Ox$  направим вдоль сетки, установим начало координат сечение входа хлопком-сырца. Решение уравнения (1) удовлетворяющее условию:  $T = T_n$  при  $x = 0$

$$T = (T_n - T_s \gamma_s - T_o \gamma_o) e^{-\gamma x} + T_s \gamma_s + T_o \gamma_o \quad (2)$$

$$\text{где } \gamma_s = \frac{\alpha_s}{CV_o}; \gamma_o = \frac{\alpha_{ox}}{CV_o}; \gamma = \gamma_s + \gamma_o$$

Из формула (2) следует, что функция  $T = T(x)$  будет возрастающей если выполняется условие  $\frac{dT}{dx} > 0$  при  $0 < x < l$ , (где  $l$  - длина конвейера), которое дает:  $\frac{dT}{dx} = -\gamma(T_n - T_s \gamma_s - T_o \gamma_o) > 0$  откуда получаем:  $T_s \gamma_s + T_o \gamma_o > T_n$  тогда функция

$$T = e^{-\gamma x} (T_s \gamma_s + T_o \gamma_o - T_n) + T_s \gamma_s + T_o \gamma_o \quad (3)$$

будет возрастающие, не имеет критические точки в интервале  $0 < x < l$ .

Если следует найти координаты сечения  $x = x_x$ , где температура хлопка-сырца равняется заданной то длина участки будет равна:

$$x_x = \frac{1}{\gamma} \ln \frac{T_s \gamma_s + T_o \gamma_o - T_n}{T_s \gamma_s + T_o \gamma_o - T_r}$$

Если заданы длина конвейера  $l$ , то из (3) можно определить необходимую температуру подачи  $T_o$ , где принимается  $T_s = T_o$ .

$$T_o = \frac{T_r - T_n e^{-\gamma l}}{(1 - e^{-\gamma l})(\gamma_s + \gamma_o)} = \frac{T_r - T_n e^{-\gamma l}}{1 - e^{-\gamma l}} \quad (4)$$

На рис.2. представлены графические зависимости температуры горячего воздуха от параметра  $\gamma$  для различных значение нагреваемой хлопка-сырца (расчетной) температуры  $T_r$ , по заданным значением параметра  $\gamma = \gamma_s + \gamma_o = \frac{S\alpha}{Cv_o} + \frac{dv_x}{Cv_o}$  можно определить, например скорость подачи хлопка-сырца в камеру сушки. Если известна скорость подачи хлопка-сырца  $V_o$  в камеру, то по заданным величинам  $S, \alpha, \alpha_{vx}$  и  $C$  можно определить параметр  $\gamma, V$  далее из графиков в зависимости от начальной температуры  $T_n$ . можно найти температуры нагрева  $T_r$ .

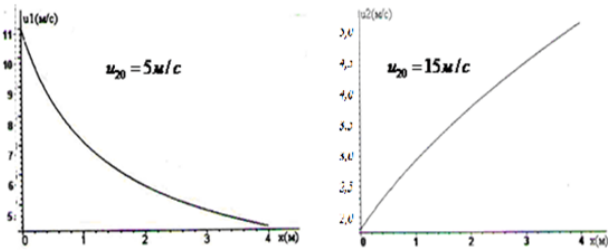


Рис. 2: Изменение скоростей воздуха ( $u_1$ ) и хлопка-сырца ( $u_2$ ) по длине сетчатой поверхности конвейера для двух значений скорости подачи хлопка-сырца ( $u_{20}$ )

В таблице 1 представлены перечень и характеристики основного оборудования, использованного при экспериментах.

Как показывает анализ данных по сушке хлопка-сырца и его компонентов теплофизические свойства компонентов хлопка-сырца существенно отличаются друг от друга.

Это обстоятельство указывает на необходимость учета тепло и массообменных процессов между компонентами хлопка-сырца и воздухом, а также учитывать эти процессы протекающие между компонентами.

Рассмотрим модель сушки хлопка-сырца с учетом теплообменных процессов между компонентами хлопка-сырца, который представится как равновесия термодинамическая система, состоящая из компонентов волокна и семян, которые характеризуются различными теплофизическими параметрами[3].

Движение хлопка-сырца в рабочем барабане носит сложный характер, по сколько хлопок-сырец с точки зрения механического объекта представляет собой как воздушно-волокнистая масса. Математическая модель, описывающая состояние и движение такой среды в общем виде пока отсутствует.

Как показывает, опытно-экспериментальные исследование в закрытом объеме сушки из-за нагрева воздуха хлопок-сырец деформируется по нелинейному закону практически с обратимой деформации.

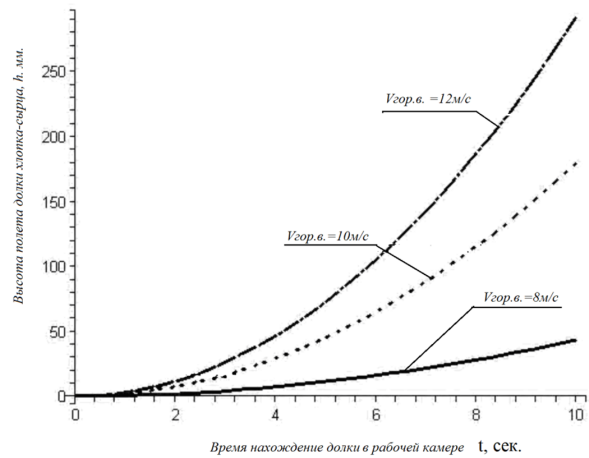


Рис. 3: Траектория летучки – хлопка по времени при различных скоростях воздушного потока.

В “открытом объеме” смещается с начало волокнистая масса и далее с ростом силы сжатия происходит необратимая деформация волокон. Следовательно закон деформации для малых значений нагрузок имеет обратимый линейных с ростом величины нагрузки упруго-пластический характер.

Рассматривается хлопок-сырец и замешанный с ним воздух как непрерывный континуум. В частности массу хлопка-сырца можно представить в виде непрерывный системы упруго связанных между собой летучек, совершающих движения под действием силы тяжести и воздушного потока.

Для пространственно-временного описания движения смесь “хлопок – воздушный поток” будем рассматривать к сплошную двухфазовую среду, описываемую теорией взаимопроникающих континуумов.

Каждая фаза двигается сплошная среда, подчиняющаяся общим законом механики сред со своим реологическим законом. При этом воздушный поток имеет определенную температуру.

Взаимодействию фазы между собой определяется эмпирическими законами, учитывающими действия вязких сил влияние неоднородности поля скоростей, инерционных сил, связанных с присоединенными массами ускоренно движущейся континуума. Исходя из этих соображениями, целью статьи является получение теоретических зависимости, характеризующих процесса движения “хлопок – воздушный поток”.

III “хлопок – воздух” под действием нагретого воздуха

Рассмотрим движения двухфазных сред под действием нагретого воздушного потока. Общие уравнения динамики каждой из рассматриваемых фаз будут выражать собой три закона механики сплошных сред: сохранения массы, изменения количества движения, изменения момента количества движения. Первые два закона механики сплошных сред описываются следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{d\rho_k}{dt} + \text{div}(\rho_k \vartheta^{(k)}) = 0 \\ \frac{d\vartheta^{(k)}}{dt} + \text{div}(\xi^{(k)}) + \tilde{F}_k + \rho_k \bar{g} \end{cases} \quad (5)$$

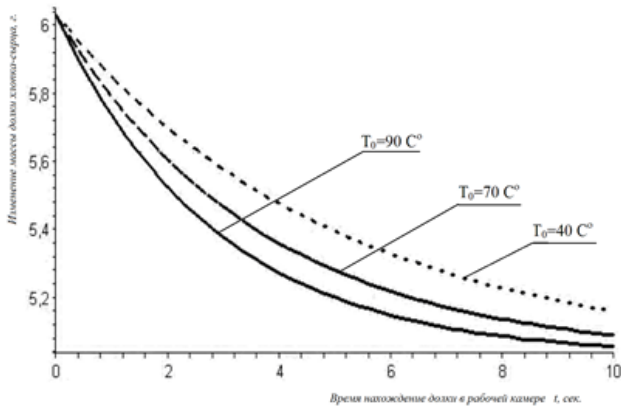


Рис. 4: Зависимость изменение массы дольки хлопчатосырца от температуры по времени

Здесь:  $\rho_k = \rho_k(t, x) = \rho_k^0 \bar{g} \varepsilon_k$  - плотность; k=1-воздух, k=2-хлопок-сырец;  $\rho_k^0$ -истинная плотность среды;  $\varepsilon_k = \varepsilon_k(t, x, y)$  - объемная плотность среды;  $\vartheta^{(k)} = \vartheta^{(k)}(t, x, y)$ -скорость движение  $\xi^{(k)} = \xi^{(k)}(t, x, y)$  - тензор наряженный среды;  $\xi^{(k)} = \left\| \xi^{(k)} \right\|^3$  - симметрич-

ный тензор наряженные среды второго ранга,  $i, j = 1$ ;  $\frac{d\tilde{y}}{dt} = \frac{d\tilde{y}}{dt} + (d\tilde{y}^{(k)} * \nabla * \tilde{y}^{(k)})$ ,  $\frac{d\tilde{y}}{dt} = \frac{d\tilde{y}}{dt}$  для k-фазы полный дифференциал;  $\tilde{F}_k = \tilde{F}_k(t, x, y)$  -объемная плотность силы, учитывающий взаимодействующих сил k-фазы с другими фазами; (Стокс) [1];

Придавая принятый начальные условия и алгебраических уравнений и выполнив некоторые несложные выкладки получим:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = mg + \frac{1}{2} C_{\mu_0} \pi r^2 |\tilde{v}_{\text{воздух}} x| v_{\text{воздух}} \quad (6)$$

Здесь  $m_0 = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_3^0$  -действительная масса летучки хлопка.  $m = m_0 (1 + w e^{-T_0 t})$ - Приведенная масса хлопка с учетом влаги, температуры.

$C_{\mu_0}$ - коэффициент сопротивления

$g$  - ускорение свободного падения.

$V_{\text{воздух}}$ - скорость нагретого воздуха.

За счет сушки масса потока хлопка уменьшается. Пусть первоначальная масса хлопка  $m = m_0 (1 + w)$ ,  $w$ - показатель влажности хлопка,  $m_0$ - концентрационная масса хлопка.

Пусть изменение массы с течением времени записывается в следующем виде[4] :

$$m = m_0 (1 + w e^{-T_0 t}) \quad (7)$$

Где  $T_0$ -температура воздуха;

Граничные и начальные условия:

$$y = y(t)$$

$$\dot{y} = v(t)$$

$$\ddot{y} = a(t)$$

$$\begin{cases} t = 0; m = m_0 (1 + \alpha) \\ y(0) = 0 \end{cases}$$

Истинная масса летучки хлопка определяется по формуле

$$m_0 = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_p \quad (8)$$

где  $\rho_p$  -плотность летучки. Для определения решений учитываем следующие исходные данные [5];

$r = 2$  см

$\rho_p = 0,15$  кг/см<sup>3</sup>;

$C_{\mu_0} = 0,44$

$w = 0,2$ ;

$t_0 = 50 - 100^\circ \text{C}$ ;

$V_{\text{воздух}} = 8-12$  м/с.

Начальные условия при  $t=0$ :  $y(0)=0$ ;  $y'(0)=0$ ;

Результаты решения дифференциальных уравнений показаны на графиках (рис. 3.)

Из графика видно, что вертикальное падение летучек хлопка при скорости воздушного потока 1-12м/с двигается от 5-30см. При скорости нагретого воздуха меньше 8 м/с падения летучки –хлопка по вертикальном направлении не происходит т.е. сушка хлопка не достаточен. Для требуемого сушки хлопка необходимо (h=30 см) скорость воздуха около 12м/с. при  $t = 0$ ,  $m = m_0(1 + a)$ ,  $w=0.2$ ,  $m_0=5г$ ,  $T_0=50-100^{\circ}C$ ;

#### IV ВЫВОДЫ

Как видна из графиков процесс сушки хлопка в течении времени  $t=0-10с$ . Зависит от температуры нагретого воздушного потока при  $T < 40^{\circ}C$  хлопок не успевает сушится, и не отвечает требованию, при  $T > 100^{\circ}C$  наоборот не которые волокна могут терять свои естественные качество. Оказывается при температуры  $T=70-90^{\circ}C$  сушка хлопка отвечает оптимальному требованию.

#### Список литературы

- [1] NM Safarov. Mathematical model for drying raw cotton in solar-dryer installations. International Journal of Advanced Research in Science, Enjineering and Technology, 5(9), 2018.
- [2] Rs I Nigmatulin. Fundamentals of the mechanics of heterogeneous media. MoIzN, 1978.
- [3] S Sou. Hydrodynamics of multiphase systems [russian translation], 1971.
- [4] NM Safarov. Mathematical model of cotton extraction from smooth cotton seeds. International Journal of Advanced Research in Science, Enjineering and Technology, 6(11), 2019.
- [5] A.T. Majidov, NM Safarov, and HT Ahmedhodjaev. Application of energy-saving technological processes of gining cotton fiber. Textile Journal of Uzbekistan, 4(1):16–21, 2019.