

# РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

**Соискатель: И.А. Мухаммаджонова, д.т.н., проф.Н. М. Сафаров,**

**Аннотация:** В статье рассмотрены параметры сушильных процессов хлопка-сырца в вертикальных сушильных установках, а также изучено значение средней скорости сушки в период постоянной ее скорости при прочих равных условиях прямо пропорционально скорости сушильного агента в свободном от потока высушиваемого хлопка-сырца. В результате установлено что, сечения сушильной камеры и отношения диаметра элементов высушиваемого хлопка-сырца, обратно пропорционально высоте слоя высушиваемого хлопка в сушильной камере

**Ключевые слова:** хлопок-сырец, сушка, сушильный агент, вертикальная сушильная установка, режим сушки, конвектив, долка, горячий воздух, период, температура, влажность, скорость сушки, сушильная камера.

## CALCULATION OF THE INTENSITY OF CONVECTIVE DRYING OF A DRYING AGENT IN VERTICAL DRYING INSTALLATIONS

**Annotation:** The article discusses the parameters of the drying processes of raw cotton in vertical dryers, and also studied the value of the average drying rate in the period of its constant speed, other things being equal, is directly proportional to the speed of the drying agent in the dry raw cotton free from the flow. As a result, it was found that the cross section of the drying chamber and the ratio of the diameter of the elements of the dried raw cotton are inversely proportional to the height of the dried cotton layer in the drying chamber.

**Key words:** raw cotton, drying, drying agent, vertical drying plant, drying mode, convection, dolka, hot air, period, temperature, humidity, drying speed, drying chamber.

## Введение

Сушка хлопка-сырца не только сложнейший нестационарный процесс тепло и массообмена, но и весьма энергоемкий технологический процесс. Высушенный хлопок-сыреу должен иметь высокие качественные показатели.

Одна из главных задач сушильного производства заключается в минимизации затрат энергии на единицу получаемой продукции, при максимальном сохранении биологических показателей исходного хлопка-сырца. Такой режим сушки, как правило, называется оптимальным и его установление связано с поиском и разработкой научных и инженерных основ энергосбережения в любом способе сушки вообще, и в конвективной - в частности, путем оптимального регулирования потребляемой энергии.

Среди различных способов сушки наибольшее распространение в промышленном и в сельскохозяйственном производстве получил конвективный способ [1]. Теплота для сушки материалов в таком способе, как следует из определения, передается конвекцией от горячего газообразного сушильного агента к влажному хлопку. Сушильный агент служит не только теплоносителем, но и влагопоглотителем, так как влагопоглотитель уносит из сушильной камеры образовавшиеся в ней, при сушке пары влаги. Для сушки высоких сортов хлопка, самым технологичным, дешевым и широко используемым сушильным агентом является воздух.

Режим сушки при конвективном способе характеризуется температурой (по сухому термометру), относительной влажностью, барометрическим давлением и скоростью сушильного агента, т.е. параметрами, определяющими продолжительность сушки, высушиваемого хлопка.

В сушильных камерах эти параметры меняются как по высоте (или длине) камеры, так и по времени, т.е. сушка протекает в переменном режиме. В теории и практике сушки, для упрощения закономерности конвективной сушки в начале для режима устанавливают постоянную скорость (т.е. для

первого периода), а влияние ее на процесс сушки в режиме убывающей скорости (т.е. во втором периоде) оценивают по характеру изменения коэффициента сушки в рассматриваемом периоде [2]. Для учета неравномерности процесса сушки по высоте камеры конвективных сушильных установок со слоем высушиваемого хлопка в начале изучают тонкий «элементарный» слой частиц хлопка, затем переходят к полномасштабному, который рассматривается как сумма элементарных частиц. Следует отметить, что понятие элементарная частица в известной мере условна.

### **Основная часть**

Одна из особенностей конвективной сушки влажного хлопка с пронизывающим потоком сушильного агента, как уже отмечалось выше, - неравномерность сушки по высоте сушильной камеры. Поступающий в сушильную камеру сушильный агент с максимальным потенциалом сушки в начале взаимодействует с первичными (т.е. начальными) элементарными частицами (дольками) хлопка, где нагрев, а затем сушка проходят с максимальной скоростью. Пронизывая первичные элементарные частицы высушиваемого хлопка, сушильный агент частично теряет свой потенциал сушки.

С очередными элементарными частицами хлопка, сушильный агент на своем пути взаимодействует уже как отработанный в первичном элементарном, т.е. с ослабленным (по сравнению первоначальным) потенциалом сушки. В то же время элементарные частицы хлопка, находящиеся в зоне сушки, близко к выходу сушильного агента из сушильной камеры, практически еще "не ощущают" нагревающего и осушающего действия сушильного агента, так как в данную зону, агент поступает с "нулевым" или ближе к нему потенциалом сушки.

В связи с этим большой практический интерес представляет определение характера распределения скорости сушки, по высоте сушильной камеры, рассматриваемым способом сушки и на этой основе - средней сушки

хлопка-сырца в ней. В конвективных сушилках с вихревым слоем высушиваемого хлопка в период постоянной скорости сушки в любом (например,  $h$ ) сечении, весь приток подводимого сушильным агентом к высушиваемому хлопку, полезного тепла тратится на испарение влаги, т.е.

$$\alpha_k(t_h - t_{\text{пр}}) = g_{\text{вл}h}r, \quad (1)$$

где  $t_h$  и  $g_{\text{вл}h}$  - соответственно температура сушильного агента и скорость сушки в сечении сушильной камеры, находящейся на расстоянии  $h$  от ее начального сечения (т.е. входа). Для начального сечения сушильной камеры, которое принимается первичным, т.е.  $h=1$ , аналитическое выражение (1) имеет вид:

$$\alpha_k(t_1 - t_{\text{пр}}) = g_{\text{вл}1}r, \quad (2)$$

где  $t_1$  и  $g_{\text{вл}1}$  - соответственно температура сушильного агента и скорость сушки в рассматриваемом (т.е. в начальной) сечении сушильной камеры. Из совместного рассмотрения (1) и (2) имеем

$$\frac{g_{\text{вл}h}}{g_{\text{вл}1}} = \frac{t_h - t_{\text{пр}}}{t_1 - t_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

Подставляя отношение  $\frac{t_h - t_{\text{пр}}}{t_1 - t_{\text{пр}}}$ .

$$c = \frac{P_{\text{пс}}}{F_{\text{пс}}}, \quad (4)$$

Из (4) в (3), получим

$$g_{\text{вл}h} = g_{\text{вл}1} * e^{\frac{a\gamma\alpha_k + kbc}{v\rho c_p}}, \text{ кг}/(\text{м}^2 * \text{с}) \quad (5)$$

Среднее по высоте сушильной камеры значение скорости сушки можно установить интегрированием (5), т.е.

$$\bar{g}_{\text{вл}} = \frac{1}{L} \int_0^L g_{\text{вл}} dh, \text{ кг}/(\text{м}^2 * \text{с}) \quad (6)$$

Подставляя (5) в (6) и после интегрирования, имеем

$$\bar{g}_{\text{вл}} = - \frac{v\rho c_p}{a\gamma\alpha_k + kbc} \frac{g_{\text{вл}1}}{L} \left( e^{\frac{a\gamma\alpha_k + kbc}{v\rho c_p}} - 1 \right) \quad (7)$$

$$\frac{dF_\delta}{F_{\text{пс}}} = c * dh \quad (8)$$

$$F_{\text{пс}} = \pi D_k^2 / 4 \quad (9)$$

Как показывают результаты расчетов, при реальных условиях эксплуатации конвективных сушильных камер высушиваемого хлопка  $a_v \alpha_k \gg kbc$  и  $\frac{a_v \alpha_k + kbc}{v \rho c_p} L > 3 - 4$  и в связи с этим для практических расчетов решение (7) с учетом (8) и (9) для дольки хлопка, можно представить в виде

$$\ddot{g}_{\text{вл}} = g_{\text{вл1}} \frac{g_{\text{вл1}}}{\alpha_k a_v L} = \frac{g_{\text{вл1}} g_{\text{вл1}} d_{\text{ср}}}{6 \alpha_k (1 - \varepsilon_{\text{хл}}) L} \quad (10)$$

Как следует из (10), при соблюдении условия  $\frac{a_v \alpha_k + kbc}{v \rho c_p} L > 3 - 4$  среднее по высоте сушильной камеры, значение скорости сушки в плотном слое при прочих равных условиях зависят от скорости сушки в текущем элементарном слое, которое принимается за первичный  $g_{\text{вл1}}$ .

Значение  $g_{\text{вл1}}$ , в (10), в свою очередь, определяется из формулы

$$g_{\text{вл1}} = \beta (\chi_{\text{пр}} - \chi_1), \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ с}), \quad (11)$$

где  $\beta$  - коэффициент влагообмена при конвективной сушке в слое м/с;  $\chi_{\text{пр}}$  и  $\chi_1$  - соответственно абсолютная влажность сушильного агента на поверхности высушиваемого хлопка-сырца и на входе в сушильную камеру (кг/м<sup>3</sup>).

$$\chi_{\text{п}} = 0,289 \frac{P_{\text{п}}}{T}, \text{ кг}/\text{м}^3 \quad (12)$$

$$\chi_{\text{н}} = 0,289 \frac{P_{\text{н}}}{T}, \text{ кг}/\text{м}^3 \quad (13)$$

В соответствии с (12) и (13) для значений  $\chi_{\text{пр}}$  и  $\chi_1$  в (11) можно записать выражения:

$$\chi_{\text{пр}} = 0,289 \frac{P_{\text{пр}}}{T_{\text{пр}}}, \text{ кг}/\text{м}^3 \quad (14)$$

$$\chi_1 = 0,289 \frac{P_{\text{пр}}}{T_{\text{пр}}}, \text{ кг}/\text{м}^3 \quad (15)$$

В связи с тем, что в период постоянной скорости сушки, температура на поверхности высушиваемого хлопка ( $t_{\text{пр}}$ ,  $T_{\text{пр}}$ ) равна температуре сушильного агента по мокрому термометру ( $t_{\text{м}}$ ,  $T_{\text{м}}$ ), а значение парциального давления водяных паров на поверхности высушиваемого хлопка ( $P_{\text{пр}}$ ) парциальному давлению насыщенного сушильного агента при той же

температуре (т.е.  $t_M$ ) -,  $P_H$ , для разности  $\chi_{пр}$  и  $\chi_1$  в (11) на основании ранее полученного решения (16) имеем

$$\chi_M - \chi_{п1} = 1,323 \left( \frac{10^{\frac{7,45t_M}{235+t_M}}}{T_M} - \varphi_1 \frac{10^{\frac{7,451t_1}{235+t_1}}}{T_1} \right) \quad (16)$$

$$\chi_{пр} - \chi_1 = 1,323 \left( \frac{10^{\frac{7,45t_M}{235+t_M}}}{T_M} - \varphi_1 \frac{10^{\frac{7,451}{235+t_1}}}{T_1} \right), \text{ кг/м}^3 \quad (17)$$

Подставляя (17) в (11), а затем полученное подставляем в (10), имеем

$$\bar{g}_{вл} = 0,2255 \frac{\beta}{\alpha_k} \frac{v \rho c_p d_{ср}}{\alpha_k (1 - \varepsilon_{хл}) L_{хл}} \left( \frac{10^{\frac{7,45t_M}{235+t_M}}}{T_M} - \varphi_1 \frac{10^{\frac{7,451}{235+t_1}}}{T_1} \right), \text{ кг/м}^3 \text{ с} \quad (18)$$

### Выводы

Из решения (18) следует, что значение средней по высоте сушильной камеры скорости сушки, в период постоянной ее скорости при прочих равных условиях, прямо пропорционально скорости сушильного агента в свободном от потока высушиваемого продуктов сечения сушильной камеры и и отношения диаметра элементов высушиваемых продуктов в плотном слое ( $d_{ср}$ ) и обратно пропорционально высоте слоя высушиваемых продуктов в сушильной камере ( $L_{хл}$ ).

Из решения (18) также следует, что при постоянном  $v, t_M, t_1, d_{ср} L_{хл}$  и значение  $\bar{g}_{вл}$  зависит от отношения  $\frac{\beta}{\alpha_k}$  и порозности слоя высушиваемых продуктов ( $\varepsilon_{хл}$ ).

### Литература:

1. Kimenov G.A. Rational application of fuel and energy in the food industry. M. Publishing and printing association Agropromizdat, 1990, 168 p.

2. Speener H.H. Graham R Developments in solar grain drying in Scotland//Agricultural Engineering. 1987. Vol 42 №1. P 24-2.
3. Iskandarov Z.S. Combined solar-fuel dryers. Tashkent, Publishing house Fan. 2005, pp. 67-75.
4. Safarov N.M. , A.T. Majidov. Energy consumption in the processing of saws. // Universum technical sciences: electronic sciences. Journal. 2019. No. 1 (58). URL [http: // 7 Universum.com.ru/tech/archive/item/6827](http://7Universum.com.ru/tech/archive/item/6827).
5. Safarov N.M. Simulation of the drying process of raw cotton moving together with the mesh surface. Akta of Turin Polytechnic Universiti is Tashkent, 2020, 10,57-62. Published Online September 2020 in Akta TTPU ([WWW. Akta. Polito/uz/](http://WWW.Akta.Polito/uz/))
6. Safarov N.M. Matematical model for drying raw cotton in solar-dryer installations. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 5, Issue 9, September 2018/ ISS: 2350-0328. [WWW.ijarset.com](http://WWW.ijarset.com)