

УДК 620.91:677.051.125.7

РАСЧЕТ СКОРОСТИ СУШКИ ХЛОПКА-СЫРЦА В СОЛНЕЧНО-СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ.

Сафаров Назиржон Мухаммаджанович, Худайбердиев Абдукарим Абсаломович

Доктор технических наук, кафедры «Промышленная инженерия» Наманганского инженерно-технологического института, Доктор философии (PhD), старший преподаватель кафедры «Промышленная инженерия» Наманганского инженерно-технологического института

Аннотация: В данной статье изучены один из актуальных задач которая является энергосберегающими и актуальными, произведена аналитический расчет относительной скорости сушки, коэффициентов тепло-и влагообмена и их применение для расчета скорости сушки хлопка-сырца в солнечно-сушильных установках.

Ключевые слова: солнечно-сушильная установка, хлопка-сырца, влажность, сушильный агент, относительную скорость сушки, температура, сушильная камера, теплообмен, период постоянной скорости, коэффициент, влагосодержание, относительная скорость, влажность, уравнения, значение.

UDC 620.91:677.051.125.7

CALCULATION OF THE DRYING RATE OF RAW COTTON IN SOLAR DRYING PLANTS.

Safarov Nazirjon Mukhammadjanovich, Khudayberdiev Abdugarim Absalomovich

Doctor of Technical Sciences, Department of Industrial Engineering, Namangan Institute of Engineering and Technology, Doctor of Philosophy (PhD), Senior Lecturer of the Department of Industrial Engineering of Namangan Institute of Engineering and Technology

Abstract: In this article, one of the urgent tasks that are energy-saving and relevant is studied, an analytical calculation of the relative drying rate, heat and moisture exchange coefficients and their application for calculating the drying rate of raw cotton in solar drying plants is performed.

Keywords: solar drying plant, raw cotton, humidity, drying agent, relative drying rate, temperature, drying chamber, heat exchange, constant velocity period, coefficient, moisture content, relative velocity, humidity, equations, value.

В сушильной техники наряду с абсолютной скоростью сушки ($g_{вл}$) при определении продолжительности сушки хлопка-сырца важное значение имеет относительная скорость сушки, которая представляет собой изменение влагосодержания высушиваемого хлопка-сырца в единицу времени, т.е. dW/dt .

Влагосодержание высушиваемых хлопка-сырца представляет собой отношение массы влаги ($M_{вл}$) в хлопке к массе абсолютного сухого хлопка ($M_{сх}$), которая при сушке остается неизменной (%). т.е.

$$W = \frac{M_{вл}}{M_{сх}} * 100\% \quad (1)$$

Аналитическое выражение для относительной скорости сушки в дифференциальной форме можно представить как:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{100dM_{вл}}{M_{сх}*dt}, \quad (2)$$

Если учесть, что $M_{сх} = \rho_x V_x$, (3)

$$\frac{dM}{dt} = \frac{F_{то}}{M_{сх}} \frac{dM_{вл}}{dt} = F_{то} \&_{вл} = G_{вл} \quad (4)$$

И в сушильной технике относительную скорость сушки dW/dt в период постоянной скорости принято обозначить через N , аналитическое выражение (4) можно переписать в виде:

$$N = \frac{100}{M_{сх}} * F_{то} \&_{вл} = \frac{100}{\rho_x * V_x} * G_{вл}, \quad (5)$$

Общая теплообменная поверхность элементов высушиваемых хлопка-сырца (долки) $F_{то}$ в (5) определяется из выражения [1]

$$F_{\text{ТО}} = a_{\text{сл}} * V_{\text{сл}} * 9, \quad (6)$$

(6)-площадь одной долки;

где $a_{\text{сл}}$ -внешняя удельная поверхность теплообмена долки хлопка-сырца

Порозность слоя высушиваемых хлопка согласно [2] определяется из отношения:

$$\varepsilon_{\text{сл}} = \frac{V_{\text{сл}} - V_{\text{пр}}}{V_{\text{сл}}}, \quad (7)$$

Определив значение $V_{\text{сл}}$ из (7) и подставляя полученное в (5) получим, что

$$F_{\text{ТО}} = a_{\text{сл}} * V_{\text{пр}}, \quad (8)$$

В процессе сушки большая часть хлопка увеличивается в размере, изменяя форму, в среднем увеличивается 0,5-0,9 раза.

Объемная увеличения хлопка-сырца имеет линейную зависимость от влагосодержания материала [1].

$$V_{\text{пр}} = V_{o1} \left(1 + \beta_{\text{ув}} * \frac{W_H}{100} \right), \quad (9)$$

где $V_{\text{пр}}$ –обем единичной летучки хлопка-сырца; V_{o1} –объем абсолютно сухой единичной летучки; $\beta_{\text{ув}}$ –коэффициент объемной увеличения; W_H –начальная влагосодержание хлопка-сырца.

Естественно, для всего объема высушиваемого хлопка-сырца аналитическое выражение (9) можно записать в виде:

$$V_{\text{пр}} = V_o \left(1 + \beta_{\text{ув}} * \frac{W_H}{100} \right), \quad (10)$$

Поставляя (9) в (8) получим

$$F_{\text{ТО}} = a_o * V_c \left(1 + \beta_{\text{ув}} * \frac{W_H}{100} \right), \quad (11)$$

Подставляя значение из этого [3]:

$$\ddot{\&}_{\text{вЛ}} = 0,2205 \frac{\beta}{\alpha_{\text{к}} (1 - \varepsilon_{\text{св}}) L_{\text{св}}} \left(\frac{10^{\frac{7,45 * t_o}{235 + t_o}}}{T_o} - \varphi_1 \frac{10^{\frac{7,45 * t_o}{235 + t_o}}}{T_o} \right), \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}} \quad (11')$$

F_{T_0} из (11) в (4) получим

$$N = 0,2205 \frac{\beta}{\alpha_k} \frac{3\rho_{ср}d_{ср}}{(1-\varepsilon_{св})L_{св}} \left(\frac{10^{\frac{7,45*t_0}{235+t_0}}}{T_0} - \varphi_1 \frac{10^{\frac{7,45*t_0}{235+t_0}}}{T_0} \right), \frac{\text{кг}}{\text{м}^2\text{с}} \quad (12)$$

Из последних решений видно, что относительная скорость сушки при конвективной сушке высушиваемых хлопка-сырца в период постоянной скорости зависит главным образом от скорости сушильного агента, разности температур на поверхности хлопка-сырца и сушильного агента.

Как следует из решения (11) и (12), определение скорости сушки в конвективной сушке хлопка-сырца в период постоянной ее скорости связано с определением коэффициентов конвективного теплообмена (α_k) и влагообмена (β), а также их отношения (β/α_k).

Среди общепризнанных критериальных уравнений β и α_1 при конвективной сушке выводятся формулы для расчета α_k –

$$Nu = 0,395 Re^{0,64} Pr^{1/3} \quad (13)$$

И для расчета β –

$$Sh_3 = 0,395 Re^{0,24} Se^{1/3} \quad (14)$$

при $30 \leq Re \leq 105$ и $0,6 \leq Pr \leq 6 * 104$

Преимущества уравнений (13) и (14) по сравнению с остальными, заключаются в следующем:

-применимость для элементов высушиваемых продуктов независимо от их формы;

-экспериментальное подтверждение аналогии процессов тепло-и массообмена (одинаковые коэффициенты (0,395) и степени критериев $Re^{0,64}$ и $Pr, Se (1/3)$);

-с достаточной степенью точности для практических расчетов коэффициент теплообмена (α_1) можно включить через коэффициент влагообмена (β).

Критерии Шервуда (Sh), Нуссельта (Nu,) и Рейнольдса (Re,).
 Определение по эквивалентному диаметру канала между элементами (т.е. парового канала) - $d_э$, а также Шмидта (Sh) и Прандтля (Pr) в (13) и (14) в свою очередь, определяются из отношений [4]

$$Sh_э = \frac{\beta d_э}{D} . \quad (15)$$

$$Nu_э = \frac{\alpha_1 d_э}{\lambda} , \quad (16)$$

$$Re, = \frac{\epsilon d_э}{V} \quad (17)$$

$$Se = \frac{V}{D} \quad (18)$$

$$Pr = \frac{V}{a} , \quad (19)$$

где D - коэффициент диффузии паров влаги в сушильном агенте;
 λ , V и a –соответственно коэффициенты теплопроводности, кинематический вязкости и температурапроводности сушильного агента ;
 V с-средняя скорость сушильного агента в пространстве между элементами высушиваемого хлопка-сырца.

Значения $d_э$ и $v_э$ в (15) – (17) определяются из выражении [5]

$$d_э = \frac{4\epsilon_{хл}}{a_{хл}} , \quad (20)$$

$$\epsilon_э = \frac{v}{\epsilon_{хл}} , \quad (21)$$

где

$$a_{хл} = \frac{Fm_{хл}}{V_{хл}} , \quad (22)$$

внешняя удельная теплообменная поверхность вксушиваемого хлопка сырца; v -скорость потока сушильного агента по сечению сушильной камеры.

$$a_{0a} = \frac{Fm_1}{V_1} = \frac{6}{d_{cp}} , \quad (23)$$

и цилиндрической формы

$$a_{0a} = \frac{6}{d_{cp}} \left(\frac{2}{3} + \frac{1d_{cp}}{3H} \right) \quad (24)$$

где H и d_{cp} соответственно высота и средний диаметр цилиндра.

Из сопоставления (23) и (24) видно, что при $H=d_{cp}$ высушиваемая хлопка сырца с элементами цилиндрической формы можно рассматривать как плотный слой различной формы. В практике расчета и проектирования конвективных сушильных камер. Как правило, пользуются средним диаметром элементов слоя (d_{cp}), а не эквивалентным диаметром парового канала (d_3). В связи с этим критериальные уравнения (13) и (14) с учетом (21) и (22) представим в виде[6]:

$$Sh = 0,4508 \frac{(1-\varepsilon_{хл})^{0,16}}{\varepsilon_{хл}} Re^{0,64} Pr^{1/3}, \quad (25)$$

$$Nu = 0,4508 \frac{(1-\varepsilon_{хл})^{0,36}}{\varepsilon_{хл}} Re^{0,64} Pr^{1/3}, \quad (26)$$

где

$$Sh = \frac{\beta d}{D}, \quad (27)$$

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}, \quad (28)$$

$$Re = \frac{vd}{\nu}, \quad (29)$$

Критерии Шервуда (Sh) и Нуссельта (Nu), Рейнольда (Re) определены по диаметру элементов высушиваемого хлопка-сырца.

Как следует из (25) и (26), для окончательного установления критериальной зависимости $Sh = f(Re, Sc)$ и $Nu = f(Re, Pr)$ необходимо информация о порозности высушиваемых хлопка-сырца в сушильной камере ($\varepsilon_{хл}$).

Значения $\varepsilon_{хл}$, можно определить из формулы предложенной М.Э. Аэровым.

$$\varepsilon_{сл} = 1 - \left(\frac{n_o}{n_o}\right)^2 \left\{ 0,61 + 0,288 \left[-\left(\frac{n_o}{n_o-1}\right)^2 - \left(\frac{n_o-2}{n_o-1}\right)^2 \right] \right\} \quad (30)$$

где
$$n_o = \frac{D_{cp}}{d_{cp}} \quad (31)$$

Отношение внутреннего диаметра сушильной камеры (D_{cp}) к среднему диаметру долки хлопка-сырца (d_{cp}).

Согласно результатам относительно несложных расчетов для разработанной и исследуемой сушильной камеры [7], и которой $D_{cp} = 0,9$ м; при возможных значениях $d_{cp} = 0,03$ м соответствующие значения $n_o = 28,0$ определенные по (31), соответствующие значения ε_{cp} определенные по формуле (30) 0,3909; 0,3914; 0,3919; и 0,3925. Принимая для расчетов среднее (0,39....) из указанных значений ε_{cp} и подставляя его в (25) и (26) получим:

$$Sh = 0,976 Re^{0,64} Sc^{1/3} \quad (32)$$

$$Nu = 0,976 Re^{0,64} Pr^{1/3} \quad (33)$$

На основе критериальных уравнений (32) и (33) можно получить аналитическое выражение для отношения, $\frac{\beta}{\alpha_k}$, которое необходимо для определения средней по высоте сушильной камеры ($\ddot{\xi}_{вл}$) и относительной (N) скорости конвективной сушки влажного хлопка-сырца, т.е.

$$\frac{\beta}{\alpha_k} = \frac{D}{\lambda} \left(\frac{a}{D} \right)^{1/3} \quad (34)$$

С учетом зависимости коэффициента температуропроводности (λ) удельной теплоемкости (c_p) и плотности (ρ)

$$\lambda = a c_p \rho \quad (35)$$

отношение (34) можно переписать в виде:

$$\frac{\beta}{\alpha_k} = \frac{1}{c_p \rho} * \frac{D^{\frac{2}{3}}}{a^{\frac{2}{3}}} = \frac{1}{c_p \rho L_e^{2/3}} \quad (36)$$

где $L_e = a/D - \quad (37)$

число Льюиса-Семенова [3].

Подставляя (36) в решения

$$\ddot{\mathcal{G}}_{\text{ВЛ}} = 0,2205 \frac{v \rho_c d_{\text{CP}}}{\alpha_K (1 - \varepsilon_{\text{CB}}) L_{\text{CB}}} \left(\frac{10^{\frac{7,45 * t_0}{235 + t_0}}}{T_0} - \varphi_1 \frac{10^{\frac{7,45 * t_0}{235 + t_0}}}{T_0} \right), \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}}$$

(12) и с учетом среднего значения $\varepsilon_{\text{ХЛ}} = 0,39 \dots$ для значений $\ddot{\mathcal{G}}_{\text{ВЛ}}$ и N при сушки высоких сортов хлопка-сырца в период сушки получим:

$$\ddot{\mathcal{G}}_{\text{ВЛ}} = 0,3625 \frac{v}{L_{\text{ХЛ}}} \frac{d_{\text{CP}}}{Le^{2/3}} \left(\frac{10^{\frac{7,45 * t_0}{235 + t_0}}}{T_0} - \varphi_1 \frac{10^{\frac{7,45 * t_0}{235 + t_0}}}{T_1} \right), \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}} \quad (38)$$

$$N = 217,4914 \frac{v(1 + \beta_x \frac{W_x}{100})}{\rho_c L_{\text{ХЛ}} Le^{2/3}} \left(\frac{10^{\frac{7,45 * t_0}{235 + t_0}}}{T_0} - \varphi_1 \frac{10^{\frac{7,45 * t_0}{235 + t_0}}}{T_1} \right), \frac{\%}{\text{с}} \quad (39)$$

Из равенства аналитических выражений для разности абсолютной влажности сушильного агента на входе в сушильную камеру и на выходе из нее $-X$ и $x_u - x_o = (0,3217t_1 - 4,104)10^{-3} \text{ кг/м}^3$ в период постоянной скорости сушки, т.е.

$$(0,3217t_1 - 4,104) * 10^{-3} = 1,323 * \left(\frac{10^{\frac{7,45 * t_0}{235 + t_0}}}{T_0} - \varphi_1 \frac{10^{\frac{7,45 * t_0}{235 + t_0}}}{T_1} \right) \quad (40)$$

определим, что $\frac{10^{\frac{7,45 * t_0}{235 + t_0}}}{T_0} - \varphi_1 \frac{10^{\frac{7,45 * t_0}{235 + t_0}}}{T_1} = (0,243t_1 - 3,102) * 10^{-3}$,

Подставляя полученный результат в решение (38) и (39) с учетом выражения (23) для значений $\ddot{\mathcal{G}}_{\text{ВЛ}}$ и N , соответственно имеем

$$\ddot{\mathcal{G}}_{\text{ВЛ}} = 0,0881565 \frac{v}{L_{\text{ХЛ}}} \frac{d_{\text{CP}}}{Le^{2/3}} (t_1 - 12,76) * 10^{-3} \quad (41)$$

$$N = 52,8939 \frac{v(t_1 - 12,76)}{\rho_c L_{\text{ХЛ}} Le^{2/3}} \left(1 + \beta_x \frac{W_x}{100} \right) 10^{-3}, \frac{\%}{\text{с}} \quad (42)$$

Для удобства в дальнейших расчетах решения (41) и (42) могут быть переписаны как:

$$\ddot{\mathcal{G}}_{\text{ВЛ}} = 0,3174 \frac{v}{L_{\text{ХЛ}}} \frac{d_{\text{CP}}}{Le^{2/3}} (t_1 - 12,76) * 10^{-3}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 * \text{с}}, \quad (43)$$

$$N = 190,418 \frac{v(t_1 - 12,76)}{\rho_c L_{\text{ХЛ}} Le^{2/3}} \left(1 + \beta_x \frac{W_x}{100} \right), \frac{\%}{\text{ч}} \quad (44)$$

Выводы:

Из полученных решений (43) и (44) следует, что:

-среднее по высоте сушильной камеры значение скорости конвективной сушки высоких сортов хлопка-сырца в первый период сушки ($\ddot{\xi}_{вл}$), как и ожидалось, зависит главным образом от скорости сушильного агента в свободном от высушиваемых хлопка-сырца сечении сушильной камеры (U), температуры сушильного агента на входе в сушильную камеру (t_1), размера долки хлопка-сырца ($d_{ср}$), а также общей высоты слоя высушиваемого хлопка-сырца в сушильной камере $L_{хл}$;

- относительная скорость конвективной сушки высоких сортов хлопка-сырца в первый период сушки (N), как и $\ddot{\xi}_{вл}$, зависит главным образом от температуры сушильного агента U , и $L_{хл}$, на входе в сушильную камеру (t_1), но, в отличие от $\ddot{\xi}_{вл}$, не зависит от размеров долки хлопка-сырца ($d_{ср}$).

Литературы:

1. Аэрров М.Э., Толес О.М., Наривский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. Л. Химки, 1979. 176 с..
2. Цой Ф.В. Особенности функционирования средств механизации и обоснование их конструктивных параметров при сушки селхозпродукт теплоносителем с переменной температурой. Дисс. канд. техн. наук. Алма-Ата. 1988. 176 с.
3. Рашковский Н.Б. Сушки в химической промышленности. Л. Химки. 1977. 78 с.
4. Искандаров З.С. Комбинированные солнечно-топливные сушильные установки. Ташкент. Изд. Фан. 2005. 67-75с.
5. Nazirjon Safarof., Ilkhomjon Mirsultonov. Development Of Mathematical Model Of Drying The Raw Cotton During Transportation In Pipeline By Hot Air Flow. Participated in the II International Scienific Conference on

“ASEDU-II 2021: Advances in Science, Engineering Digital Education” on Oktober 28. 2021 / Krasnoyarsk. Russia.

6. Nazirjon Safarof., Iroda Mukhammadjanova, Mukhammad Tulkinov
Mathematical model of the process of vertical drying of raw cotton in the hot airflow Participated in the II International Scientific Conference on “ASEDU-II 2021: Advances in Science, Engineering Digital Education” Krasnoyarsk. Russia.
7. 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).
8. 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/))
9. Safarov N.M. Matemactical 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