



МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Рахматов Ф.О.

магистр-преподаватель,

Рахматов О.

д.т.н., профессор

Гулистанский государственный университет

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8053958>

Аннотация. В статье приводится методика расчета по определению теплового баланса сушильной камеры, к.п.д. установки, аэродинамический расчет сушильного комплекса, а также расчет параметров сушильной камеры. Сделан вывод о том, что зная общую рабочую площадь сушильной камеры и, задаваясь размерами тележек с жердями, удобных при эксплуатации, можно определить количество тележек в сушильной камере.

Ключевые слова: сушка, камера, температура, параметр, аэродинамика, тепловой баланс, энергия, сушильный агент, тепла, теплообмен, воздух.

Введение. Сушка плодов и овощей – это сложный технологический процесс, который должен обеспечить не только сохранения качественных показателей высушиваемого продукта, но и ряде случаев и улучшить эти показатели. Поэтому выбор методов и рациональных режимов процесса должен базироваться на научных основах технологии сушки: от изучения свойств продукта, как объекта сушки так и выбора метода и обоснования режимов процесса и на этом основе перейти к созданию рациональных конструкций сушильных установок [1].

Методика исследований. В камерно- конвективной сушильной установке сушка продукта происходит за счет тепла аккумулированного в двух горизонтальных теплообменниках, поверхность которых обработана селективным покрытием типа «чёрный никель» с поглотительной способностью для солнечной радиации $\varphi = 0,89$ и прямого попадания солнечных лучей на фронтальную поверхность сушильной камеры [2].

В задачи исследования включили:

1. Обоснование методики инженерного теплотехнического расчёта;
2. Аэродинамический расчёт сушильной установки;
3. Расчёт параметров сушильной камеры.

Результаты исследований. Для определения количества необходимого тепла для сушки произведем материальный расчёт. Количество влаги, испарившейся в сушильной камере, определяется из материального баланса

$$m = \frac{G_1 W_1 - G_2 W_2}{100}, \quad (1)$$

где G_1 и G_2 соответственно масса продукта в начале и в конце процесса сушки, кг;
 W_1 и W_2 – влажность продукта до и после сушки, %.



Для испарения такого количества влаги необходимо определенное количество тепла, равное

$$Q = \frac{1000mi_0}{d_2 - d_1}, \quad (2)$$

где i_0 - энтальпия воздуха, ккал /кг;

d_1 и d_2 - влагосодержание воздуха до и после сушильной камеры, г/кг;

$$i_0 = ct_0 + 0,000d_0(2500 + 1,82t_0), \quad (3)$$

здесь d_0 - влагосодержание сухого воздуха, г/кг.

(Значения i_0 , d_1 и d_2 можно найти с помощью $Y - d$ диаграммы Рамзина).

Расход воздуха на сушку определяется по формуле:

$$G_s = \frac{1000m}{d_2 - d_1}. \quad (4)$$

Для упрощения расчетов, учитывая (3) вместо уравнения (2) можно записать

$$Q = G_s \cdot i_0 \quad (5)$$

Тепловой баланс сушильной камеры в общем виде определяется уравнением

$$Q_{\text{вх}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (6)$$

где Q_1 - расход тепла на нагрев продукта G_1 , Дж;

Q_2 - расход тепла на испарение влаги, Дж;

Q_3 - расход тепла в окружающую среду, Дж;

Q_4 - расход тепла с отходящим воздухом, Дж;

Q_5 - количество аккумулированного тепла, Дж;

Q_6 - количество солнечной энергии, входящее прямо в камеру.

Расшифруем слагаемые входящие в (6).

Расход тепла на нагрев продукта

$$Q_1 = G_1 c (t_c - t_n), \quad (7)$$

где t_c , t_n - соответственно температура продукта при сушке и до сушки, °C;

c - теплоемкость продукта, ккал /кг. °C.

Расход тепла на испарение влаги

$$Q_2 = rm, \quad (8)$$

где r - удельная теплота парообразования.

Значение тепловых потерь сушильной камеры определяется по формуле

$$Q_3 = \sum (K_n + K_{\text{н}}) F \Delta t, \quad (9)$$

где K_n и $K_{\text{н}}$ - коэффициенты теплопередачи через прозрачную и непрозрачную поверхность сушильной камеры;

F - поверхность теплообмена;

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (10)$$

где α_1 и α_2 - коэффициенты теплоотдачи внутри установки и снаружи;



$\sum \frac{\delta}{\lambda}$ - термическое сопротивление элементов конструкции.

Поскольку сушильная камера работает в осциллирующем режиме (75% сушильного агента возвращается в цикл и 25% выбрасывается наружу), то потеря тепла с отходящим воздухом составит

$$Q_4 = \frac{1}{4} G_e \cdot i_{om}, \quad (11)$$

где G_e - расходов воздуха;

i_{om} - энтальпия отходящего воздуха.

Для инженерных расчетов при определении количества тепла, генерируемого от солнечной радиации поверхностью теплообменников можно пользоваться зависимостью

$$Q_5 = J_n \cdot \cos i R l \lambda_m K \quad (12)$$

где J_n - плотность солнечной радиации, $\text{кВт}/\text{м}^2$;

R - радиус теплообменника, м ;

L - длина поверхности теплообменника, м ;

K - коэффициент, учитывающий потери генерирующего тепла;

λ_m - угол падения лучей солнца.

Количество солнечной энергии входящее через прозрачную поверхность ограждения камеры

$$Q_6 = J_0 F K \cos i, \quad (13)$$

где J_0 - плотность солнечной радиации на перпендикулярную к лугам поверхность, $\text{кВт}/\text{м}^2$; F - поверхность прозрачной изоляции, м^2 .

Значение $\cos i$ угла падения солнечных лучей для установок, ориентированных на юг

$$\cos i = \sin(\delta - m) \sin \delta + \cos(\varphi - m) \cos \delta \cdot \cos \tau, \quad (14)$$

где φ - географическая широта местности; δ - склонение солнца; τ - часовой угол солнца.

Одним из основных характеристик камерно-конвективной сушильной установок является К.П.Д. установки. Усредненный К.П.Д. сушилki определяется по формуле

$$\eta = \frac{r m_{y0}}{Q_{nad}}, \quad (15)$$

где m_{y0} - суммарное количество удаляемой влаги при сушки;

r - удельная теплота парообразования $Q_{nod} = Q_5 + Q_6$.

Аэродинамический расчет сушильной установки

Сушка продукта в камерно-конвективной сушильной установок основана на продувке сушильного воздуха через слой высушиваемого продукта. Для вынужденной циркуляции воздуха в камере необходимо иметь вентилятор, выбор которого основывается на обеспечении оптимального расхода воздуха G и перепада $P_{общ.}$, который должен преодолеть сопротивление всей системы и обеспечить заданную скорость тепло агента в сушильной камере [3].



Полный перепад давления в сушилке составляет

$$P = \sum P_{TP} + \sum P_M + \sum P_{np}, \quad (16)$$

где P_{TP} – сопротивление трения в воздухопроводах, Па;

P_M – потеря давления на местное сопротивление, Па;

P_{np} – потеря давления для слоя высушиваемого продукта, Па.

Рассмотрим каждый из слагаемых в (16)

$$P_{TP} = \sum \frac{P}{2} \left(\xi \frac{1}{d_T} g^2 \right),$$

где $P=1,29 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха при $t=20^\circ\text{C}$;

d_T – диаметр трубопровода, м;

g – скорость истечения воздуха в трубопроводе, м/с;

ξ – коэффициент сопротивления трения для каждого участка трубопровода.

Для турбулентного режима движения при $Re = \frac{d_{TP}}{g} \geq 10000$

$$\xi = \frac{1}{(1,82 \lg Re - 1,6)^2}, \quad (17)$$

$\sum P_M$ – состоит из суммы сопротивление при сужении потока в переходниках, поворотах на 90° и прохода через шлюзовые затворы

$$\sum P_M = \sum \left(\xi \frac{P}{2d} \right) g^2, \quad (18)$$

где P_M – коэффициент местного сопротивления зависит от конфигурации каналов течения воздуха. Потеря давления P_{np} для слоя высушиваемых продуктов равна

$$\Delta P_{np} = \xi_{np} \frac{1}{d} \rho \frac{g^2}{2}, \quad (19)$$

где ξ_{np} – коэффициент сопротивления для слоя продуктов в сушильной камере зависит от вида продукции, высоты укладки на поддон и плотности его укладки. Для винограда справедлива формула

$$\xi_{np} = 4,4 Re^{-0,25}. \quad (20)$$

Для разработанного сушилке рекомендуется использовать для воздухопроводов стандартные трубы диаметром $D = 100$ мм. Тогда, зная общий расход воздуха, рассчитанный по формуле (4), можно найти среднюю скорость потока в воздухопроводе

$$v = \frac{G_6}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{G_6 \cdot 4}{\pi d^2 \cdot \rho \cdot 3600} \text{ м/с}, \quad (21)$$

где G_6 – массовый расход воздуха, кг; ρ_6 – плотность воздуха, кг/м³; d – диаметр воздуха прохода, м.

Зная расход тепла на сушку по формуле (6) и задаваясь КПД сушилки $\eta_c = 0,5$, можно найти общее количество тепла, необходимое для сушилки

$$Q = \frac{Q_{ex}}{\eta_c} = 2Q_{ex}. \quad (22)$$

Площадь лучевоспринимающей поверхности

$$F = \frac{Q}{\eta_e J_0 \Delta \tau} m^2, \quad (23)$$

где J_0 - мощность солнечной радиации, Вт/м²;

$\eta_e = 0,5$ – к.п.д. теплоаккумулирующих устройств;

$\Delta \tau = 10$ ч - среднее время солнечной инсоляции.

Рассчитав объемный расход воздуха по формуле

$$g = \frac{G_e}{\rho_e} \quad (24)$$

и зная потерю давления в сушилке по (16), можно по каталогу выбрать центробежный вентилятор из серии ЦН – 70.

Расчет параметров сушильной камеры

Найдём сначала рабочую площадь сушильной камеры по формуле

$$S_k = \frac{m}{\tau \cdot N_{cp}} \quad (25)$$

где m – масса испаряемой влаги, кг/м (формула 1); $N_{cp} = 0,1$ кг/м² ч – средняя скорость сушки (опытный), для рассыпчатых ягод (абрикос, вишня, виноград, слива при удельной плотности загрузки на сетчатые поддоны $q=10:12$ кг/м²); τ – время сушки, ч (принимается из рекомендуемых источников).

Выводы: Зная общую рабочую площадь сушильной камеры и, задаваясь размерами тележек с жердями, удобных при эксплуатации, можно определить количество тележек в сушильной камере.

Использованная литература:

1. Рахматов О. Совершенствование технологии и технических средств для сушки и очистки ягод винограда. Дисс. ...докт. техн. наук. – Гулистан, 2019. -266с.
2. Рахматов О., Рахматов О.О., Рахматов Ф.О. Совершенствование технологии переработки дынь в условиях Республики Узбекистан // –Ташкент: Фан, 2018. -160 с.
3. Искандаров З.С. Научные основы регулирующего теплового процесса сушки пищевых продуктов высокой влажности. –Ташкент, 1995. -185с.

