

«М.А.Гендельманнның 110 жылдығына арналған «Сейфуллин окулары – 19» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 19», посвященной 110 - летию М.А. Гендельмана». - 2023. - Т.1, Ч.1.- С. 319-323.

**№УДК 664.047**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ СУШКИ ЛИСТЬЯ ТУТОВНИКА**

*Сунил Верма, соискатель  
Сафаров Ж.Э., т.ф.д., доцент.  
Султанова Ш.А., т.ф.д., доцент.  
Усенов А.Б., ассистент*

*Ташкентский государственный технический университет им. И.Каримова,  
г.Ташкент*

Уравнение сушки тонкого слоя можно использовать для прогнозирования кривой сушки в целом. Математические модели и моделирование сушки в различных условиях важны для лучшего контроля над операциями сушки и общего улучшения качества конечного продукта [1,2].

Целью данного исследования было изучение характеристик и математической модели кривой сушки листьев шелковица. Ожидается, что результаты этого исследования будут использованы для разработки эффективной сушилки для листьев шелковица.

Прежде всего, мы сравнили продукт, высушив его тремя разными способами: естественный, гелио и конвективный [2,3].

Лабораторная сушилка, в которой мы будем проводить процесс сушки, выполнена в виде прямоугольной призматической коробки размерами 35 см x 30 см x 25 см, снаружи покрытой алюминиевым листом с толщиной стенки 1 мм.

В ходе эксперимента необходимо знать и контролировать температуру материала, его точек входа и выхода, окружающей среды [4]. Для температуры окружающей среды данные переносились с термодатчика, помещенной в окружающую среду, на компьютер. С другой стороны, в колпаке термодатчика размещается непосредственно под точкой входа контрольного объема, и таким образом контролируется температура входящего воздуха [3,5,6].

В каждом эксперименте сушилку включали примерно за полчаса до начала эксперимента, чтобы стабилизировать сушильную камеру в желаемых экспериментальных условиях. Экспериментальные условия, проведенные в этом исследовании, где обработка в процессе сушки листьев шелковица состоит из двух факторов, а именно температурного фактора и фактора относительной влажности. Температура, при которой изменялась относительная влажность, составляла 60 °С, в то время как относительная

влажность, при которой изменялась температура, составляла 35%, что было температурой и средней относительной влажностью, используемой при сушке листьев шелковица. Каждый эксперимент проводился при скорости осушающего воздуха 0,45 м/с.

Температура сушки, используемая в этом исследовании, составляла 45-65 °С. Между тем, относительная влажность, используемая в этом исследовании, составляла 25-65%. Сушка сельскохозяйственных продуктов с использованием хорошего потока воздуха для сушки осуществляется при температуре от 45 °С до 65 °С. Сушка при температуре ниже 45 °С приводит к тому, что микробы и грибки, которые повреждают продукт, остаются живыми, поэтому долговечность и качество продукта низкие. Тем не менее, температура сушильного воздуха выше 65 °С приводит к повреждению химической и физической структуры продукта из-за переноса тепла и воды, что влияет на изменения клеточной структуры.

Во время сушки через каждые 10 мин регистрировали массу, температуру и влажность сушильного воздуха. Процесс сушки продолжался до тех пор, пока масса листьев шелковица не стала постоянной. Изменение массы образца измеряли автоматически с помощью цифровых весов (емкость до 5000 г с точностью до 0,1 г). Во время взвешивания установка автоматически выключается, чтобы в сушильную камеру не поступал воздух.

Параметры наблюдения и обработки данных в этом исследовании включают:

- а. При сушке масса листьев шелковица меняется каждые 5 минут.
- б. Конечное содержание влаги/равновесное содержание влаги.

Измерение конечного содержания влаги проводят после того, как масса материала станет постоянной. Окончательное измерение содержания влаги проводилось с использованием сушильной печи.

- в. Изменение содержания воды при сушке.

Изменения содержания воды (за 10 минут) в процессе сушки обрабатывали на основании данных о конечной влажности и данных об изменении массы листьев шелковица каждые 10 минут. Уравнения следующие:

$$\text{Вес}(t+10) = \text{Вес} \frac{(t) * 100 - \text{влажность}(t)}{100 - \text{водное содержание}(t+5)} \quad (1)$$

где,  $t$  - время;  $t+10$  – каждый 10 минут.

- д. Скорость сушки (% массы/мин).

Скорость сушки определяют путем расчета разницы сухой массы материала во время сушки со временем.

$$V_{kh} = \frac{m_T - m_{t,\Delta t}}{\Delta t} \quad (2)$$

$(m_T - m_{t,\Delta t})$  - Скорость сушки для обозначения количества влаги, удаленной из образца за интервал времени  $\Delta t$ ;

$V_{kh}$  - Скорость сушка продукта (г/мин).

- е. Коэффициент влажности ( $W$ )

Коэффициент влажности ( $W$ ) можно рассчитать с помощью следующего уравнения [2-6]

$$W = \frac{W_c - W_{ce}}{W_{co} - W_{ce}} \quad (3)$$

где,  $W$  - коэффициент влажности;  $W_{ce}$  - равновесное содержание влаги;  $W_{co}$  - начальное содержание влаги;  $W_c$  - содержание влаги в указанное время.

Математическая модель сушки листьев шелковица была рассчитана на основе экспериментальных данных  $W$ . Данные  $W$  эксперимента были связаны со временем на графике, и было рассчитано математическое уравнение для получения констант сушки  $c$ ,  $b$  и  $m$ . Значения результатов моделирования  $c$ ,  $b$  и  $m$  используются для генерации значений модели  $W$ . Экспоненциальный регрессионный анализ был выполнен с помощью электронной таблицы Microsoft Excel (Microsoft Office 2019).

Таблица 1 - Математические модели, используемые для описания тонкослойной сушки

Модель	Уравнение
Льюис	$W = \exp(-ct)$ $\ln(W) = -ct$
Пейджа	$W = \exp(-ctm)$ $\ln(-\ln(W)) = \ln(c) + m \ln(t)$
Хендерсон-Пабис	$W = b \exp(-ct)$ $\ln W = -ct + \ln(b)$

Примечания:  $W$  - коэффициент влажности;  $c$ ,  $b$ ,  $m$  – константа сушки.

В целом температура и относительная влажность во время исследования были достаточно стабильными и соответствовали настройкам прибора. Среднее значение погрешности измерения температуры составляет 1-1,5%, а среднее значение погрешности измерения относительной влажности составляет 2,5-3%. Наибольшая погрешность измерения относительной влажности возникает при установке максимальной температуры 65 °С и 35% относительной влажности. Сложность инструмента, достигающего относительной влажности 35%, понятна, потому что чем выше температура, тем ниже должна быть относительная влажность. Неопределенность образца можно избежать за счет защиты образца во время транспортировки и хранения. До эксперимента образцы хранились при низких температурах, чтобы избежать повреждений.

Влияние условий сушки на снижение содержания влаги в сухой основе листьев шелковица показано на рис. 1. Снижение содержания влаги происходит быстро в первые минуты сушки и замедляется с увеличением времени сушки.

В этом исследовании было обнаружено, что снижение относительной влажности более эффективно снижает содержание воды, чем повышение температуры. При низкой относительной влажности 25% снижение содержания воды на 45% достигается за 50-55 минут, что в 2 раза быстрее,

чем при относительной влажности 65%, т.е. 75-80 минут, при этом для снижения содержания воды на 75% требуется 90 минут. у быстрее, чем при относительной влажности 55 %, что составляет 150 минут. При самой высокой температуре, которая составляет 65 °С, требуется 60 минут, чтобы уменьшить содержание воды на 45%, и 120 минут, чтобы уменьшить содержание воды на 75%, по сравнению с температурой 45 °С, разница составляет всего лишь на 12 минут быстрее при снижении содержания воды на 45% и на 45 °С быстрее при снижении содержания воды на 75%.

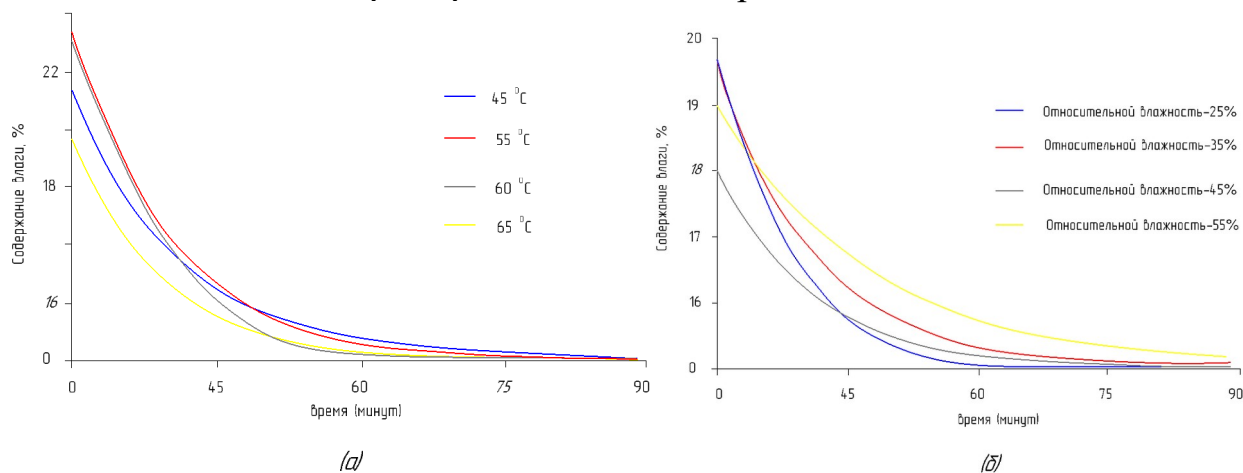


Рис. 1. Зависимость между временем и содержанием влаги при (а) относительной влажности 35% (б) температуре 60 °С

Скорость сушки показывает количество водяного пара, испаряющегося в единицу времени. На скорость сушки или скорость сушки материала влияет природа материала и рабочие условия сушки. Рабочие условия, которые становятся переменными параметрами сушки, состоят из расхода сушильного газа, температуры, рабочего давления, влажности воздуха, направления и времени потока сушильного воздуха.

На рис. 2 показано, что скорость сушки листьев шелковица имеет тенденцию к снижению со временем, поэтому можно сказать, что скорость сушки листьев шелковица снижается. При уменьшении скорости сушки процесс диффузии является доминирующим физическим механизмом перемещения содержания воды в материале.

На рис. 3 видно, что скорость сушки на начальном этапе, а именно первые 10 минут, увеличивалась, а затем уменьшалась, это указывает на то, что скорость сушки листьев шелковица при относительной влажности 40% с колебаниями температуры претерпела начальный период адаптации, а именно начальный период, в котором скорость сушки быстро увеличивалась или уменьшалась.

Из рис. 2 видно, что значение скорости сушки на начальной стадии выше, чем значение скорости сушки на конечной стадии. Чем выше скорость сушки, тем большее количество испаряется в минуту. То, что вызывает относительно большое уменьшение содержания воды в начале сушки, заключается в том, что в начале сушки содержание свободной воды на поверхности материала все еще велико, так что массоперенос происходит из

материала в воздух в виде водяного пара до тех пор, пока давление водяного пара на поверхности не уменьшится. На следующем этапе происходит перенос воды из материала на поверхность путем диффузии, что приводит к более медленному уменьшению массы воды. После того, как количество воды в материале уменьшится, давление водяного пара в материале будет уменьшаться до тех пор, пока не установится баланс с окружающим воздухом и не прекратится перенос воды.

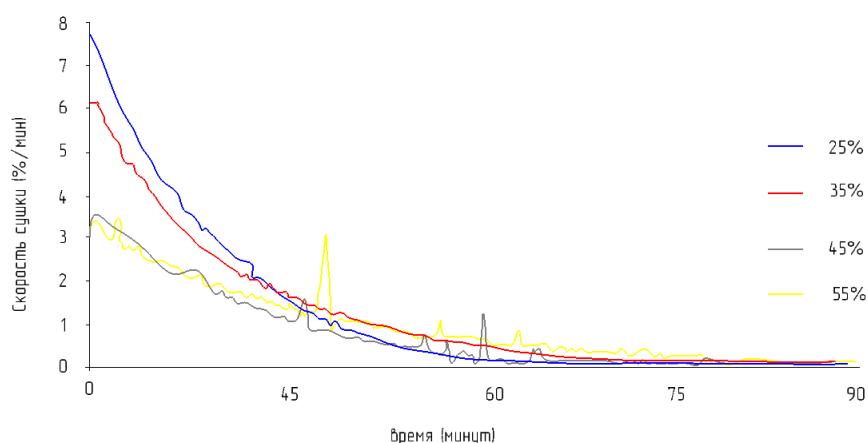


Рис. 2. Зависимость между временем и скоростью сушки при температуре 65 °C

В результате этого исследования была поставлена цель спроектировать экспериментальную установку сушки, в которой можно получить разумные результаты по сравнению с различными моделями сушки, а также сравнить экспериментальные результаты с моделями сушки и созданной нами математической моделью.

Предполагая, что контрольный объем, созданный с высушиваемым образцом, состоит из двух частей, твердой и газовой частей, поочередно рассчитываются балансы массы и энергии для газовой и твердой частей контрольного объема и получается математическая модель.

Результаты, полученные в результате экспериментальных исследований, были сопоставлены с различными моделями сушки, и было установлено, что результаты, полученные в результате экспериментов с моделью Хендерсона-Пабиса, среди них находятся в гармонии.

#### Список использованной литературы

1. T.T. Rakhmanova, Sh.A. Sultanova, Sunil Verma, J.E. Safarov, G.T. Dadayev. A method to study and analyse the drying process of raw materials. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 868 (2021) 012080. doi:10.1088/1755-1315/868/1/012080
2. E.O. Akoy, Effect of drying temperature on some quality attributes of mango slices, Intern. J. Innov. Sci. Res. 4 (2) (2014) 91–99.

3. A.A. Bouba, N.Y. Njintang, G.B. Nkouam, Y.D. Mang, A.H. El-Sayed Mehanni, J. Scher, D. Montet, C.M. Mbofung, Desorption isotherms, net isosteric heat and the effect of temperature and water activity on the antioxidant activity of two varieties of onion (*Allium cepa* L), *Int. J. Food Sci. Tech.* 49 (2) (2014) pp.444–452.

4. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Инновационный метод сушки лекарственных растений. Монография. –Ташкент: «ILM ZIYO ZAKOVAT», 2019. -148 с.

5. Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э., Самандаров Д.И. Программное обеспечение математической модели для сушки лекарственных растений. Заявка программный продукт DGU 20191191 от 24.09.2019 г.

6. D. Arslan, M.M. Özcan, Food and bioproducts processing dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): change in drying behavior, colour and antioxidant content, *Food Bioprod. Process.* 89 (4) (2010) 504–513, doi: 10.1016/j.fbp.2010.09.009.