

Изучение распределения влаги в семенах тыквы при сушке

Фролов Д.И.

Аннотация. В статье изучен процесс распределения влаги в семенах тыквы при высыхании, смоделированный с помощью уравнения диффузии. Анализ сделан для естественной сушки при постоянной температуре окружающей среды. Данные были получены с помощью программного обеспечения Comsol Multiphysics при моделировании сушки семян тыквы в течение от 1 до 30 часов методом анализа конечных элементов. Исследования показали, что скорость высыхания семян тыквы падает со временем. Результаты моделирования показывают хорошее согласие с экспериментальными результатами других исследователей.

Ключевые слова: моделирование, сушка, тыквенные семечки, диффузия.

Для цитирования: Фролов Д.И. Изучение распределения влаги в семенах тыквы при сушке // Инновационная техника и технология. 2019. № 3 (20). С. 52–55.

Studying the moisture distribution in pumpkin seeds during drying

Frolov D.I.

Abstract. The article studies the process of moisture distribution in pumpkin seeds upon drying, modeled using the diffusion equation. The analysis was done for natural drying at a constant ambient temperature. Data were obtained using Comsol Multiphysics software for simulating drying of pumpkin seeds for 1 to 30 hours by finite element analysis. Studies have shown that the drying rate of pumpkin seeds decreases over time. The simulation results show good agreement with the experimental results of other researchers.

Keywords: modeling, drying, pumpkin seed, diffusion.

For citation: Frolov D.I. Studying the moisture distribution in pumpkin seeds during drying. Innovative Machinery and Technology. 2019. No.3 (20). pp. 52–55. (In Russ.).

Введение

Сушка является одним из распространенных методов консервирования пищевых продуктов. В процессе сушки необходимо учитывать не только качество продукта, но и экономию энергии. Исследование процессов, происходящих при сушке, а также массообменные механизмы сушки являются привлекательной темой изучения и использования в других отраслях промышленности. Проведенные исследования в области механизма массопереноса, выявили то, что модели диффузии жидкости в целом достаточны для объяснения процесса сушки пищевых продуктов.

Обычно сушка гигроскопичных материалов происходит в два-три этапа. Первая стадия называется стадией постоянной скорости, вторая и третья стадии являются стадиями падения скорости. В конце первой стадии сушки скорость сушки начинает уменьшаться, потому что требуется время, чтобы влага достигла поверхности материала, где происходит испарение. В данном исследовании сушка

семян тыквы моделируется уравнением диффузии. Тыквенное семя обычно высушивается естественной конвекцией, также называемой естественной сушкой, и принудительной конвекцией, называемой принудительной сушкой. Также широко начинает использоваться инфракрасная сушка семян овощных культур с выделенной длиной волны [1].

Некоторые исследователи, высушивая семена тыквы без шелухи, используют в основном ме-

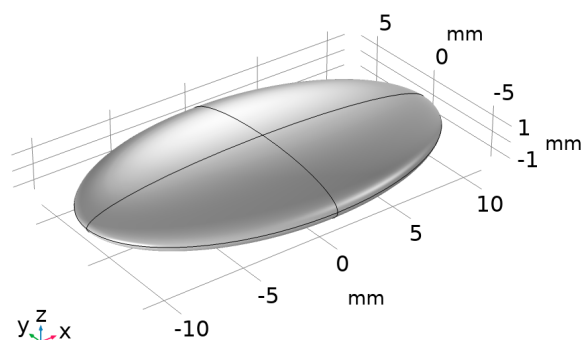


Рис. 1. Модель семени тыквы

тоды сушки горячим воздухом или естественной сушки. При этом используя диффузионную модель Фика для моделирования переноса влаги внутри семян тыквы, и рассчитывают эффективные коэффициенты диффузии для каждого метода сушки, представляя эффективный коэффициент диффузии типа Аррениуса как функцию температуры, применяя экспериментальные результаты к некоторым известным моделям и определяя соответствующие коэффициенты [2].

Другие исследователи сушат тыкву принудительной конвекцией внутри сушильной камеры. Ими получен коэффициент влажности в зависимости от времени. Результаты показывают, что температура сушильного воздуха оказывает сильное влияние на время сушки, то есть при 30°C сушка занимает 8 часов, при повышении температуры от 30°C до 70°C требуется всего 2 часа. Также показано, что модель Пейджа является удобной моделью среди рассмотренных других моделей [3].

Также были проведены исследования сушки в тонком слое предварительно обработанной и необработанной тыквы с использованием сушилки горячего воздуха. Были определены эффективные коэффициенты диффузии влаги для каждого исследованного условия. В исследовании было показано, что в то время как логарифмическая модель является лучшей удобной моделью для принудительной конвекционной сушки, а модель Мидилли и Кучука является лучшей моделью для естественной конвекции [4].

Проведенное экспериментальное исследование по сушке тыквы с использованием конвективной сушилки горячего воздуха показало, что образцы тыквы, высушенные при 50°C, 60°C и 70°C хорошо коррелирует с моделями Льюиса, Хендерсона и Пабиса и они являются лучшими удобными моделями, в отличие от модели Пейджа [5].

Целью работы являлось изучение модели распределения влаги у семян тыквы с помощью уравнения диффузии.

Объекты и методы исследований

Изучение распределения влаги внутри модели семян тыквы, подвергнутых естественной сушке, исследовано с помощью программного обеспечения COMSOL Multiphysics методом конечных элементов. Были измерены размеры 20 семян тыквы. Были взяты средние значения в качестве измерений исследуемого тыквенного семени. Значения полуосей модели сфероида составляют 11,3 мм, 6,5 мм и 1,6 мм.

Основным уравнением, применяемым при исследовании процесса сушки, является уравнение диффузии. Значения начального и равновесного содержания влаги, а также уравнение диффузии для естественной сушки приведены ниже. Следует отметить, что температура окружающей среды колеблется в пределах от 10 до 45°C.

$$\bar{\nabla} \cdot (D_{eff} \bar{\nabla} X) = \frac{\partial X}{\partial t} \quad (1)$$

где D_{eff} – эффективный коэффициент диффузии (m^2/c);

t – время (с)

$$D_{eff} = 1,66 \cdot 10^{-11} \quad (2)$$

$$X_o = 0,67 \quad (3)$$

$$X_e = 0,06 \quad (4)$$

где X_o – начальное содержание влаги, %;

X_e – равновесное содержание влаги, %;

При определении граничных условий предполагается, что поверхность семян тыквы находится в равновесном состоянии влажности. Граничные и начальные условия определяются как заданные в уравнении 5 и 6 соответственно.

$$X|_s = X_e \quad (5)$$

$$X|_{t=0} = X_o \quad (6)$$

Результаты и их обсуждение

Распределение влаги внутри семян тыквы в основном влияет на качество продукта. Были получены результаты моделирования, основанные на уравнении диффузии. На рисунке 2 представлены результаты через 1 ч, 2 ч. Следует отметить, что сушка начинается с поверхности, внешняя область

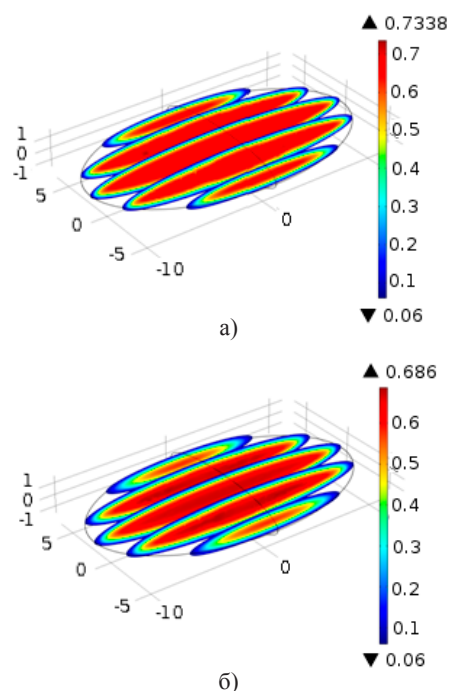


Рис. 2. Распределение влаги внутри семян тыквы через а) 1 ч, б) 2 ч

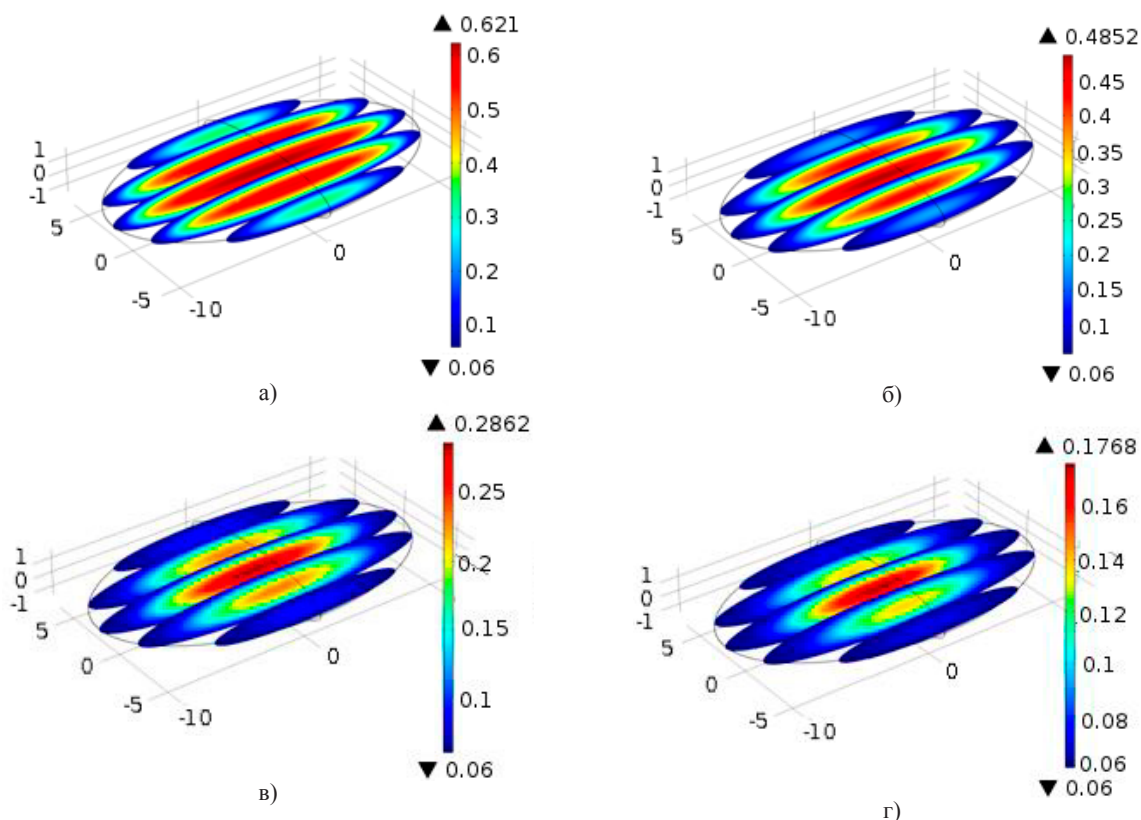


Рис. 3. Распределение влаги внутри семян тыквы через а) 5 ч, б) 10 ч, в) 20 ч, г) 30 ч

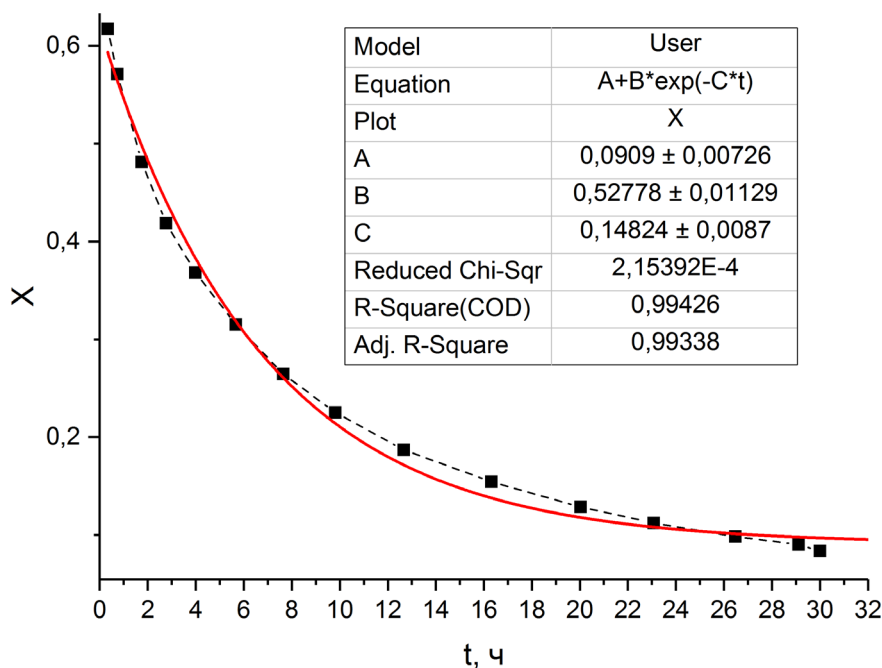


Рис. 4. Средняя влажность семян тыквы

тыквенного семени достигает равновесного содержания влаги сначала по отношению к внутренней области.

На рисунке 3 представлены результаты через 5 ч, 10 ч, 20 ч, 30 ч.

С другой стороны, получается что среднее содержание влаги является функцией времени, и это обстоятельство показывает хорошее согласие с экспериментальными результатами других авто-

ров. Из рисунка 4 видно, что сушка семян тыквы происходит в период падения. Явление сушки моделируется диффузией, скорость сушки пропорциональна градиенту влажности. С течением времени градиент влажности уменьшается, соответственно уменьшается скорость сушки.

Поскольку семена тыквы естественным образом высыхают, требуется около 30 часов для того, чтобы семена тыквы достигли приблизительно со-

держания влаги 10% (сухой остаток). Наконец, в соответствии с результатами процесс сушки семян тыквы может быть смоделирован с помощью экспоненциального затухания кривой (рисунок 3), представленной как уравнение 7.

$$X = 0,0909 + 0,5277e^{-0,1482 \cdot t} \quad (7)$$

Выводы

Следствием выполненной работы явилось то, что скорость высыхания семян тыквы падает со временем экспоненциально. Результаты моделирования показывают хорошее согласие с экспериментальными результатами других исследователей.

Список литературы

- [1] Демидов А.С., Вороненко Б.А., Демидов С.Ф. Сушка семян подсолнечника инфракрасным излучением // Новые Технологии. 2011. № 3. С. 25–30.
- [2] Sacilik, K. (2007). Effect Of Drying Methods On Thin-Layer Drying Characteristics Of Hull-Less Seed Pumpkin (Cucurbita Pepo L.). Journal of Food Engineering, 79, 23–30.
- [3] Guiné, R. P. F., Pinho, S., & Barroca, M. J. (2011). Study Of The Convective Drying Of Pumpkin (Cucurbita Maxima). Food and Bioproducts Processing, 89, 422-428.
- [4] Kavak Akpınar, E., & Bicer, Y. (2008). Mathematical Modelling Of Thin Layer Drying Process Of Long Green Pepper In Solar Dryer And Under Open Sun. Energy Conservation and Management, 49, 1367-1375.
- [5] Hashim, N., Daniel, O., & Rahaman, E. (2014). A Preliminary Study: Kinetic Model Of Drying Process Of Pumpkins (Cucurbita Moschata) In A Convective Hot Air Dryer. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2, 345-352.

References

- [1] Demidov A.S., Voronenko B.A., Demidov S.F. Sushka semyan podsolnechnika infrakrasnym izlucheniem, Novye Tekhnologii. 2011. No. 3. pp. 25–30.
- [2] Sacilik, K. (2007). Effect Of Drying Methods On Thin-Layer Drying Characteristics Of Hull-Less Seed Pumpkin (Cucurbita Pepo L.). Journal of Food Engineering, 79, 23–30.
- [3] Guiné, R. P. F., Pinho, S., & Barroca, M. J. (2011). Study Of The Convective Drying Of Pumpkin (Cucurbita Maxima). Food and Bioproducts Processing, 89, 422-428.
- [4] Kavak Akpınar, E., & Bicer, Y. (2008). Mathematical Modelling Of Thin Layer Drying Process Of Long Green Pepper In Solar Dryer And Under Open Sun. Energy Conservation and Management, 49, 1367-1375.
- [5] Hashim, N., Daniel, O., & Rahaman, E. (2014). A Preliminary Study: Kinetic Model Of Drying Process Of Pumpkins (Cucurbita Moschata) In A Convective Hot Air Dryer. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2, 345-352.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Фролов Дмитрий Иванович кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>	<p>Frolov Dmitriy Ivanovich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>
---	---