

Демидов Сергей Федорович

канд. техн. наук, преподаватель, старший научный сотрудник

Пелевина Лидия Федоровна

директор

Акуличева Олеся Юрьевна

преподаватель

Колледж бизнеса и технологий ФГБОУ ВО

«Санкт-Петербургский государственный

экономический университет»

г. Санкт-Петербург

СУШКА ТЫКВЕННЫХ СЕМЯН В ИНФРАКРАСНОМ МАЛОГАБАРИТНОМ АППАРАТЕ

Аннотация: проведены экспериментальные исследования процесса сушки тыквенных семян инфракрасным излучением выделенной длинной волны 1,5–3,0 мкм в малогабаритном аппарате с 16 излучателями при мощности излучателей от 140 до 160 Вт, высоте слоя продукта на поддоне аппарата от 21 до 27 мм и достижении конечных значений высушенных семян тыквы влагосодержания 8,1 кг/кг и температуры 850–900 С.

Ключевые слова: аппарат, сушка, исследование, инфракрасное излучение, тыквенные семечки, мощность.

Данная статья посвящена исследованию процесса сушки тыквенных семян в малогабаритном аппарате с инфракрасным излучением выделенной длинной волны 1,5–3,0 мкм без принудительной вентиляции воздуха. Тыквенные семена размещали на сетчатом поддоне аппарата высотой слоя 21–27 мм. Начальное влагосодержание тыквенных семян составляло 733–750 кг/кг. Меняли величину мощности инфракрасных излучателей от 140 Вт до 160 Вт, высоту слоя продукта от 21мм до 27 мм. Достигали конечных значений высушенных тыквенных семян влагосодержания 8,1 кг/кг и температуры 85°–90° С. Аппарат имел габаритные размеры: длину 500 мм, ширину 360 мм, высоту 680 мм, длину инфракрасного излучателя 500 мм.

Количество инфракрасных излучателей в аппарате составляло 16 штук [1], в ряду 4 штуки, расположены сверху и снизу каждого поддона на расстоянии 75 мм. Расстояние между излучателями составляло 75 мм. Расстояние от поддона до стенки аппарата составляло 50 мм, что обеспечило естественную конвекцию воздуха в аппарате. Три сетчатых поддона использовались для сушки продукта, нижний с металлической подложкой для создания заданного температурного распределения инфракрасного излучения на сетчатых поверхностях поддонов. В ходе эксперимента мощность инфракрасных излучателей менялась от 140 Вт до 160 Вт. Для измерения мощности инфракрасного излучателя использовали ваттметр, для изменения мощности инфракрасного излучателя – тиристор. Температуру поверхности тыквенных семян, находящихся на сетчатом поддоне аппарата, измеряли неконтактным инфракрасным термометром Raytek MiniTemp MT6. Для измерения влагосодержания тыквенных семян применялся анализатор влажности ЭЛВИЗ-2. В качестве источника излучения длиной волны 1,5–3,0 мкм использовались линейные кварцевые излучатели диаметром 0,012 м со специальной керамической функциональной оболочкой, излучающие инфракрасное излучение 1,5–3,0 мкм [1]. Применение нами инфракрасных излучателей с выделенной длиной волны 1,5–3,0 мкм определено резонансной сопоставимостью с частотой собственных колебаний воды, что способствует интенсивному испарению структурно связанный влаги тыквенных семян.



Рис. 1. Экспериментальный аппарат для исследования процесса сушки тыквенных семян.

Основными факторами, в наибольшей степени влияющими на время процесса сушки инфракрасным излучением выделенной длины волны до конечного влагосодержания 11,1 кг/кг и качественный состав тыквенных семян, являются: высота слоя тыквенных семян, расположенных на поддоне сушилки, мощность инфракрасного излучателя сушильного аппарата и их начальная влажность. Для проведения экспериментальных исследований были выбраны значения уровней каждого фактора, с учетом диапазонов технологических параметров. Рассматриваемые факторы имеют количественную природу. Кодирование этих количественных факторов и определение их уровней проводилось с использованием безразмерных переменных по следующим формулам перехода [2]:

– по мощности инфракрасного излучателя,

$$X_1 = \frac{Z_1 - 150}{10}$$

– по высоте слоя тыквенных семян, размещенных на поддоне аппарата,

$$X_2 = \frac{Z_2 - 24}{3}$$

Таблица 1.

Значения уровней изучаемых факторов ПФЭ при сушке тыквенных семян.

Обозначение	Наименование факторов	Уровень		
		нижний -1	основной 0	верхний +1
X ₁	Мощность одного инфракрасного излучателя, Вт	140	150	160
X ₂	Высота слоя тыквенных семян, мм	21,0	24,0	27,0

Все две кодированные переменные Z₁, Z₂ принимают значения в диапазоне от -1 до +1. Таким образом, для достоверного учета влияния каждого из факторов требуется двухуровневый план, в котором реализованы все возможные комбинации факторов на всех уровнях. В таблице 2 приведена матрица планирования полного факторного эксперимента 2.

Таблица 2.

ПФЭ 2² при сушке тыквенных семян

Факторы в натуральном масштабе			
Номер опыта	X ₁	X ₂	Y, мин
1	140	21,0	67,0
2	160	21,0	55,0
3	140	27,0	72,0
4	160	27,0	60,0

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались в виде уравнения регрессии для расчета времени сушки тыквенных семян инфракрасным излучением выделенной длинной волны в зависимости от высоты слоя тыквенных семян, расположенных на поддоне, мощности одного излучателя до влагосодержания 8,1 кг/кг.

Определение истинных значений измеряемых величин проведено согласно методам математической обработки экспериментальных данных. Необходимое число повторности эксперимента определено по методике, изложенной в работах [2] с помощью распределения Стьюдента при уровне надежности 0,95 и допустимой ошибке 5%. Адекватность полученных уравнений проверена по критерию Фишера.

В результате статистической обработки результатов экспериментов получено уравнение регрессии, адекватно описывающее процесс сушки тыквенных семян инфракрасным излучением при действии выбранных факторов:

$$Y=133,5 -0,6 Z_1 + 0,83Z_2 \quad (1)$$

где:

X₁ – мощность инфракрасного излучателя, от 140 до 160 Вт,

X₂ --высота слоя тыквенных семян, расположенных на поддоне сушильного аппарата, от 21 до 27 мм.

Анализ уравнения регрессии (1) позволил получить информацию о степени влияния факторов на рассматриваемый процесс. Как видно из уравнения, наибольшее влияние из входных параметров оказывала высота слоя тыквенных семян, расположенных на поддоне аппарата, следующим по значимости

оказалась мощность инфракрасного излучателя. Факторы X_2 по мере их роста повышают, а фактор X_1 снижает значение функции отклика Y .

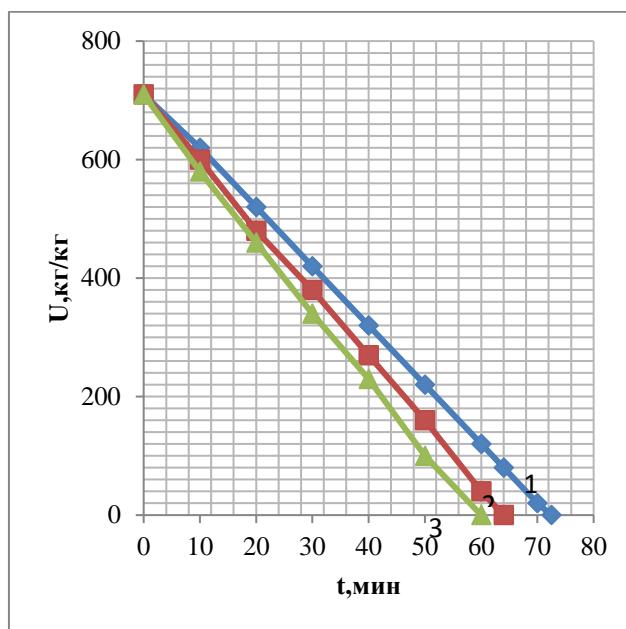


Рис. 2. Экспериментальные зависимости изменения влагосодержания тыквенных семян при начальном влагосодержании объекта сушки 733 кг/кг, достижении конечного значения влагосодержания 8,10 кг/кг, температуры 85–90⁰С от мощности излучателя инфракрасного излучения 140 Вт (прямая 1), 150 Вт (прямая 2), 160 Вт (прямая 3) при высоте слоя продукта 20–21 мм.

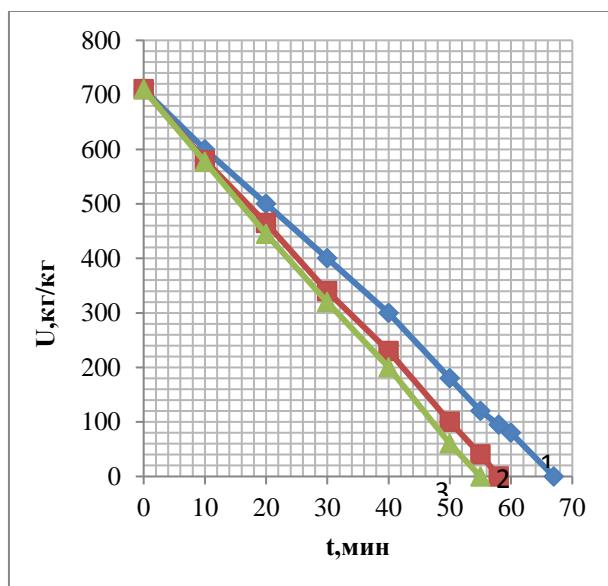


Рис. 3. Экспериментальные зависимости изменения влагосодержания тыквенных семян при начальном влагосодержании объекта сушки 733 кг/кг,

достижении конечного значения влагосодержания 8,1 0 кг/кг, температуры 85–90⁰С от мощности излучателя инфракрасного излучения 140 Вт (прямая1), 150 Вт (прямая2), 160 Вт (прямая3) при высоте слоя продукта 27 мм.

Из анализа рисунков 2 и 3 видно, что влагосодержание тыквенных семян на протяжении всего процесса сушки уменьшается с течением времени по линейному закону. Скорость сушки при изменении высоты слоя семян на поддоне аппарата от 21 до 27 мм и мощности излучателя 140 Вт составляет 10,18–10,94 кг/кг в минуту, при мощности излучателя 160 Вт составляет 12,22–13,32 кг/кг в минуту. Таким образом, зная начальную влажность тыквенных семян, можно определить время сушки материала до конечной влажности в зависимости от мощности инфракрасного излучателя при выбранных оптимальных значениях высоты слоя тыквенных семян. Эти данные могут быть использованы при инженерном расчете сушильного аппарата для тыквенных семян.

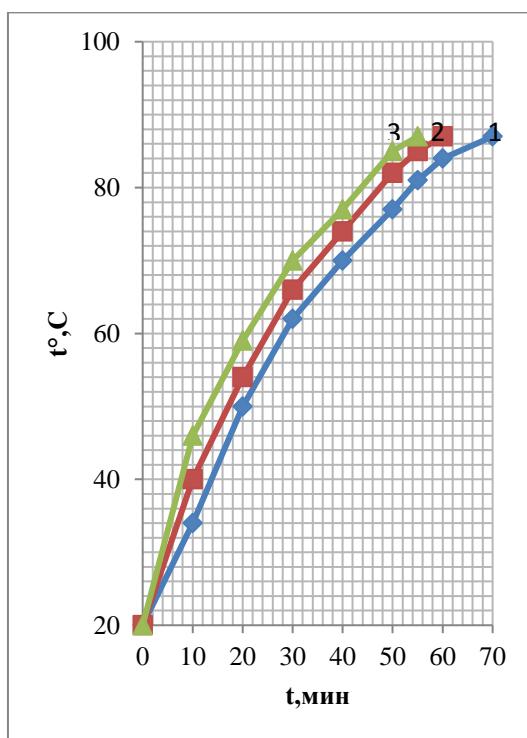


Рис. 4. Температурные кривые поверхности тыквенных семян при сушке в малогабаритном аппарате с инфракрасными излучателями при начальном влагосодержании объекта сушки 733 кг/кг, при высоте слоя продукта 27 мм, достижении конечного значения влагосодержания 8,1 кг/кг от мощности инфракрасного излучения 140 Вт (прямая1), 150 Вт (прямая2), 160 Вт (прямая3).

Выполнение инфракрасных излучателей с длиной волны 1,5–3,0 мкм обусловлено тем, что она соответствует частоте собственных колебаний молекулы воды в составе ядра тыквенной семени, которая при облучении избирательно нагревается и резонансно испаряется. Это инфракрасное излучение беспрепятственно проникает через плотную оболочку тыквенных семян и поглощается его ядром, которое интенсивно разогревается.

При инфракрасной сушке тыквенных семян происходит перемещение прочно связанной влаги из колloidного ядра семени к поверхности влажной оболочки с открытыми порами, а затем интенсивное удаление слабо связанной поверхностной влаги из капиллярно-пористой оболочки. При сушке не происходит растрескивания оболочки семян, обладающей большой гигроскопичностью и влажностью, превышающей влажность ядер тыквенных семян, и которая служит механической защитой от действия микроорганизмов, органической сорной примеси. Пористая оболочка тыквенных семян остается влажной, так как испаряясь изнутри влага (при движении от более нагретого тела к менее нагретому) в атмосферу беспрепятственно удаляется через открытые поры.

Данные результаты исследования будут использованы при разработке исходных требований и технического задания на разработку промышленного аппарата с инфракрасным излучением 1,5–3,0 мкм периодического действия для сушки тыквенных семян.

Список литературы

1. Демидов С.Ф. Источники инфракрасного излучения с электроподводом для термообработки пищевых продуктов / С.Ф. Демидов, А.С. Демидов, С.С. Беляева [и др.]. // Научный журнал НИУ ИТМО. 2011 – №1.
2. Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технике: учеб. пособие для хим.-технол. Вузов / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.