ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

УДК 635.078

DOI 10.36461/NP.2020.2.55.016

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СУШКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

*О. Н. Кухарев, доктор техн. наук, профессор; И. Н. Сёмов, канд. техн. наук, доцент;
Н. К. Тимергазин, аспирант; В. С. Оськин инженер*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет»,
Россия, тел: +7 (8412) 62-83-59, e-mail:kucharev.o.n@pgau.ru

Хозяйства и операторы розничной сети не всегда могут сохранить полученный урожай в связи с необходимостью постройки овощехранилищ и сложности с соблюдением технологии хранения.

В этих условиях выходом из сложившегося положения является сушка овощей. Применение сушки позволяет сохранить все вкусовые качества и почти все витамины. В этих условиях в ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ» разработан опытный образец устройства для сушки сельскохозяйственных культур, позволяющего проводить сушку в кипящем слое. Однако, необходимо провести исследования для совершенствования процесса сушки овощей пневмомеханической сушилкой с обоснованием её конструктивных и технологических параметров. В работе использовались экспериментальные методы: моделирование, наблюдение, эксперимент. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на основе общепринятых методик в соответствии с действующими отраслевыми стандартами, а также разработанных частных методик исследований. Обработка результатов исследований проводилась на ПЭВМ с использованием стандартных компьютерных программ Microsoft Excel, Statistica, КОМПАС-3D. В результате была получена модель процесса сушки и определены оптимальные параметры предлагаемого устройства.

Ключевые слова: сушка, овощи, кипящий слой, сушилка, исследования.

Введение

Овощи – одни из самых важных и незаменимых продуктов питания, которые занимают особое место в продовольственном балансе, так как обеспечивают организм человека полезными пищевыми веществами. Их называют источником здоровья за высокие пищевые, вкусовые, диетические и лечебные свойства. Хозяйства и операторы розничной сети не всегда могут сохранить полученный урожай в связи с необходимостью постройки овощехранилищ и сложности с соблюдением технологии хранения [1-3].

Вопросом сушки сельскохозяйственных культур в разное время занимались такие

ученые, как Авроров В. А., Бочаров В. А., Маматов Ш. М., Курбанова М. Ж., Додаев К. О., Курбанов Ж. М., Jin X., Zhang Y., Tang D.-B., Raponi F., Moschetti R. и др. [4-9].

Однако, процесс сушки в «кипящем слое» или флюидизационная сушка, а также параметры процесса недостаточно изучены [10].

В этих условиях в ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ» разработан опытный образец устройства для сушки сельскохозяйственных культур, позволяющего проводить сушку в кипящем слое. Однако, необходимо провести исследования для совершенствования процесса сушки овощей пневмомеханической сушилкой с обоснованием

её конструктивных и технологических параметров [11].

Объектом исследований явился процесс сушки лука в пневмомеханической сушилке.

Предметом исследований служили закономерности, условия и режимы сушки лука в пневмомеханической сушилке, а также качество обработки лука.

Методы и материалы

Экспериментальные исследования проводятся с целью определения оптимальных конструктивных и режимных параметров пневмомеханической сушилки лука. Для написания программы исследований воспользовались задачами исследований, физико-механическими свойствами лука, результатами теоретических исследований устройства, а также общей программой исследований с учетом рекомендаций на экспериментальной установке (рис. 1) [12, 13].

Рис. 1. Экспериментальная установка для сушки лука:

1 – рама; 2 – электродвигатель; 3 – вибростол; 4 – выгрузное окно; 5 – патрубок теплогенератора; 6 – сушильный бункер; 7 – металлические пластины

Устройство для сушки сельскохозяйственных культур (рис. 1) включает в себя раму (1) с установленным на ней вибростолом (3), привод которого осуществляется от электродвигателя (2). На вибростоле

установлен сушильный бункер (6) имеющий в своей нижней части выгрузное окно (4) и патрубок теплогенератора (5). Внутри сушильного бункера (6) смонтированы наборы наклоненных от основания до вершины металлических пластин (7) с рядами отверстий.

Внутри сушильного бункера (9) (рис. 2) смонтированы наборы наклоненных от основания до вершины металлических пластин (18) с рядами отверстий, при этом они установлены так, что между нижним краем верхней пластины и верхним краем смежной нижней пластины имеется зазор. Выходной патрубок (13) теплогенератора (14) смонтирован в нижней части сушильного бункера (9). Для управления процессом сушки на раме (1) установлен блок управления (2).

Последовательность проведения опытов следующая. Предварительно производят настройку и подготовку устройства к проведению эксперимента. Для этого устанавливают необходимый угол наклона пластин, амплитуду колебаний и температуру сушки. После этого приступают к проведению опытов.

Материал, подвергающийся сушке, поступает в дозатор (7), после чего блоком управления (2) включается виброплощадка (10). При установившемся режиме работы виброплощадки (10) проводят запуск электродвигателя (16) и теплогенератора (14) и горячий воздух под давлением поступает через выходной патрубок (13) в сушильный бункер (9).

Далее открывают заслонку (8) дозатора (7) и блоком управления (2) проводят запуск электродвигателя (3), который передает крутящий момент через цепную передачу (4) на приводную звездочку (5) и приводит в движение транспортер (6).

По транспортеру (6) через заслонку (8) материал, подвергающийся сушке, поступает в сушильный бункер (9), где попадает на набор металлических пластин. В результате наклона металлических пластин и колебаний виброплощадки (10) высушиваемый материал начинает перемещаться по поверхности металлических пластин в направлении к нижней части сушильного бункера (9) через зазор между нижним краем верхней пластины и верхним краем смежной нижней пластины. Горячий воздух поступающий под давлением из выходного патрубка (13) движется от нижней части сушильного бункера (9) в верхнюю и проходя в ряды отверстий между пластинами взаимодействует с высушиваемым материалом отбирая влагу. Высушенный материал из

Рис. 2. Технологическая схема устройства для сушки сельскохозяйственных культур:
1 – рама; 2 – блок управления; 3 – электродвигатель дозатора; 4 – цепная передача;
5 – приводная звездочка; 6 – транспортер; 7 – дозатор; 8 – заслонка дозатора; 9 – сушильный бункер; 10 – виброплощадка; 11 – выгрузной патрубок; 12 – выгрузная заслонка;
13 – выходной патрубок; 14 – теплогенератор; 15 – вентилятор; 16 – электродвигатель

нижней части сушильного бункера (9) через выгрузное окно и выгрузной патрубок (11) с выгрузной заслонкой (12) поступает на выгрузку.

Качество обработки лука в сушилке определяется множеством факторов [13-15]. В связи с этим, лабораторные исследования проводили при помощи методики планирования многофакторного эксперимента. Для планирования эксперимента изначально был выбран критерий оптимизации – параметр, по которому производится оценка исследуемого объекта и сведение факторов в математическую модель. Критерий оптимизации должен быть один, иметь ясный физический смысл и количественную оценку. За критерии оптимизации процесса сушки принимали процент качественно высушенного лука после обработки, под которым понимается процент лука соответствующего ГОСТ 32065-2013 Овощи суше-

ные. Общие технические условия [16].

Результаты

В результате обработки полученных экспериментальных данных были выделены наиболее значимые факторы X_1 (α – угол наклона пластин, град), X_2 (A – амплитуда колебаний, мм) и X_3 (t – температура сушки, град).

При описании поверхности отклика уравнением второго порядка воспользовались центральным композиционным ортогональным планированием второго порядка. Оно просто и удобно в расчетах, при этом позволяет проводить минимально возможное количество опытов [17, 18].

При проведении исследований невозможно определить влияние всех факторов на процесс и их взаимодействия между собой. Руководствуясь конкретными задачами исследований и на основании априорной информации, выбрали основные ин-

Таблица 1
Факторы, влияющие на процесс шлифования исследуемым устройством

Обозначение и наименование фактора	Уровень фактора			Интервал варьирования
	Нижний	Основной	Верхний	
X_1 – α – угол наклона пластин, град	30	40	50	10
X_2 – A – амплитуда колебаний, мм	1	2	3	1
X_3 – t – температура сушки, град	60	70	80	10

Рис. 3. Двумерное сечение поверхности отклика, которое характеризует зависимость процента качественно высушенного лука от α – угла наклона пластин, град., и A – амплитуды колебаний, мм

тервалы выделенных факторов и уровни их варьирования (табл. 1).

При проведении многофакторного эксперимента значения определенных параметров были установлены в оптимальном диапазоне. После проведения многофакторного эксперимента результаты обрабатывались на ПК и позволили получить адекватную математическую модель второго порядка, описываемую в закодированном виде зависимостью $P = f(\alpha, A, t)$:

$$P = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_3 \cdot X_3 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + a_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + a_{11} \cdot (X_1)^2 + a_{22} \cdot (X_2)^2 + a_{33} \cdot (X_3)^2 \quad (1)$$

$a_0 = 99.6325$
 $a_1 = -0.01$
 $a_3 = -0.01$
 $a_{12} = -0.005$
 $a_{13} = -0.005$
 $a_{23} = -0.005$
 $a_{11} = -0.0225$
 $a_{22} = -0.0125$
 $a_{33} = -0.0225$

Далее, составляя и решая систему уравнений, можно определить значения факторов, которые могут обеспечить наибольший процент качественного обработанного лука.

Система уравнений, полученная дифференцированием по переменным X_1 , X_2 и X_3 :

$$\begin{cases} a_1 + a_{12} \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_3 + 2 \cdot a_{11} \cdot X_1 = 0 \\ a_{12} \cdot X_1 + a_{23} \cdot X_3 + 2 \cdot a_{22} \cdot X_2 = 0 \\ a_3 + a_{13} \cdot X_1 + a_{23} \cdot X_2 + 2 \cdot a_{33} \cdot X_3 = 0 \end{cases}$$

Решение системы:

$$\begin{aligned} & -0.208 \\ \text{Find}(X_1, X_2, X_3) = & 0.083 \\ & -0.208 \end{aligned}$$

В таблице 2 приведены оптимальные значения исследуемых факторов.

Получив оптимальные значения факторов, с помощью способа двумерных сечений определяют зоны оптимальных значений факторов [20-22].

На рисунке 3 представлено двумерное сечение поверхности отклика, которое характеризует зависимость процента качественно высушенного лука от α – угла наклона пластин, град и A – амплитуды колебаний, мм.

На рисунке 4 представлено двумерное сечение поверхности отклика, которое характеризует зависимость процента качественно высушенного лука от A – амплитуды колебаний, мм и t – температуры сушки, град.

Оптимальные значения исследуемых факторов

№ п/п	Исследуемый фактор	Оптимальное значение фактора	
		В закодированном виде	В раскодированном виде
1	X1 – α – угол наклона пластин, град	-0,208	37,92
2	X2 – A – амплитуда колебаний, мм	0,083	2,083
3	X3 – t – температура сушки, град	-0,208	67,92

Рис. 4. Двумерное сечение поверхности отклика, которое характеризует зависимость процента качественно высушенного лука от A – амплитуды колебаний, мм, и t – температуры сушки, град.

Рис. 5. Двумерное сечение поверхности отклика, которое характеризует зависимость процента качественно высушенного лука от α – угла наклона пластин, град, и t – температуры сушки, град.

На рисунке 5 представлено двумерное сечение поверхности отклика, которое характеризует зависимость процента качественно высушенного лука от α – угла наклона пластин, град и t – температуры сушки, град.

Для проведения инженерных расчетов уравнение (1) необходимо раскодировать, учитывая значимость коэффициентов регрессии. Тогда оно примет вид:

$$Y = 87,24845 + 0,39319 \times \alpha + 2,86366 \times$$

$$A - 0,10987 \times t - 0,00616 \times \alpha^2 + 0,32984 \times A^2 + 0,00032 \times t^2 + 0,02933 \times \alpha \times A + 0,00193 \times \alpha \times t + 0,00651 \times \alpha \times t \quad (2)$$

Заключение

Анализ графических изображений двумерных сечений (рис. 3-5), показывает, что наивысшего значения качества высушенного лука $P = 96\%$ возможно достигнуть при угле наклона пластин $\alpha = 35-41$ град, амплитуде колебаний $A = 1,6-2,5$ мм и температуре сушки $t = 64-70$ град.

Литература

1. Мачнев А. В. Стружкин Н. И., Ларюшин Н. П. [и др.]. Технологии и средства механизации сельского хозяйства. Пенза, 2016, 254 с.
2. Фролов Д. И., Фудин К. П. Влияние конвективной сушки и температурного режима на содержание химических веществ в репчатом луке. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего, 2016, № 1, с. 84-89.
3. Фролов Д. И., Чекайкин С. В., Терентьев А. Б. Исследование тепловых процессов при сушке твердых сыпучих материалов в восходящем потоке продуктов горения биогаза. Инновационная техника и технология, 2017, № 2, с. 17-23.
4. An K.-J., Wei L., Tang D.-B., Yu Y.-S., Bu Z.-B., Zhang Y., Xu Y.-J. Application And Research Progress Of Pretreatment Technology For Drying Of Fruits And Vegetables. Modern Food Science and Technology, 2019, № 6, p. 314-321.
5. Lu W., Li D., Lu H., Su D., Jin X., Han Q., Wang Y. Recent Development Of Microwave Fluidization Technology For Drying Of Fresh Fruits And Vegetables. Trends in Food Science & Technology, 2019, p. 59-67.
6. Алтухов И. В., Очиров В. Д., Федотов В. А. Экспериментальная ик-установка для сушки плодов и овощей. Вестник ИРГСХА, 2017, № 81-2, с. 90-96.
7. Бочаров В. А. Выбор оптимального способа сушки для получения быстро развариваемых сушеных овощей. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета, 2010, № 1, с. 89-91.
8. Курбанова М. Ж., Додаев К. О., Курбанов Ж. М. Изменение структурно-механических свойств плодов и овощей в процессе сушки. Хранение и переработка сельхозсырья, 2016, № 10, с. 11-15.
9. Кац З. А. Производство сушеных овощей, картофеля и фруктов. Москва, 1984, 216 с.
10. Членов В. А., Михайлов Н. В. Виброкипящий слой. Москва, 1972, 327 с.
11. Кухарев О. Н., Семов И. Н., Тимергазин Н. К. Анализ способов сушки сельскохозяйственных культур. Образование, наука, практика: инновационный аспект: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки. Пенза: РИО ПГСХА, 2015, с. 9-11.
12. Тимергазин Н. К., Семов И. Н. Устройство аппарата для сушки сельскохозяйственных культур. Научно-техническое творчество студентов по процессам и оборудованию пищевых производств: сборник тезисов XI Международной научно-практической студенческой интернет-конференции. Донецк, 2019, с. 33-35.
13. Кухарев О. Н., Семов И. Н., Тимергазин Н. К. Анализ сил, действующих на частицу в устройстве сушки овощных культур. Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: сборник статей Международной научно-практической конференции молодых ученых. Пенза: РИО ПГСХА, 2016, с. 116-119.
14. Evranuz E. O. Drying vegetables: new technology, equipment, and examples. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing, 2011, p. 299-315.
15. Khanali M., Rafiee S. Investigation of Hydrodynamics, kinetics, energetic and exergetic aspects of fluidized bed Drying of rough rice. International Journal of Food Engineering, 2013, № 1, p. 39-50.
16. Raponi F., Moscetti R., Massantini R., Monarca D., Colantoni A. Monitoring and Optimization of the Process of drying fruits and Vegetables using Computer vision: A. Review. Sustainability, 2017, № 11, p. 2009.
17. ГОСТ 32065-2013. Овощи сушеные. Общие технические условия. Москва, 2014, 15 с.
18. Маматов Ш. М. Математическая обработка результатов экспериментального исследования сушки овощей. Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки, 2013, № 5-2, с. 2594-2596.
19. Onwude D. I., Hashim N., Janius R. B., Nawi N. M., Abdan K. Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2016, № 3, p. 599-618.

20. Ahmed J., Alam T. Minimal processing and novel technologies applied to vegetables. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing, 2011, p. 317-333.

21. Deng L.-Z., Wang J., Zheng Z.-A., Gao Z.-J., Xiao H.-W., Mujumdar A. S., Zhang Q., Yang X.-H. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: effects on drying characteristics and quality attributes a comprehensive Review Critical. Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, № 9, p. 1408-1432.

22. Izadifar M., Mowla D. Simulation of A Cross-Flow continuous fluidized bed dryer for paddy rice. Journal of Food Engineering, 2003, № 4, p. 325-329.

23. Hatamipour M. S., Mowla D. Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. Journal of Food Engineering, 2002, № 3, p. 247-252.

UDC 635.078

DOI 10.36461/NP.2020.2.55.016

RESEARCH RESULTS OF THE DEVICE FOR DRYING AGRICULTURAL CROPS

O. N. Kukharev, Doctor of Technical Sciences, professor; I. N. Semov, Candidate of Technical Sciences, assistant-professor; N. K. Timergazin, a post-graduate student; V. S. Oskin, an engineer

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Penza State Agrarian University»,
Russia, phone: +7 (8412) 62-83-59, e-mail: kucharev.o.n@pgau.ru

Farms and retailers are not always able to preserve the harvest due to the need to build vegetable stores and the difficulty in observing storage technology.

Under these conditions, the way out of this situation is the drying of vegetables. The use of drying allows saving all the taste and almost all the vitamins. Under these conditions, Penza State Agrarian University has developed a prototype device for drying crops, allowing for fluidized-bed drying. However, it is necessary to conduct research to improve the drying process of vegetables with a pneumatic-mechanical dryer with justification for its design and technological parameters. The experimental methods were used in the work: modeling, observation, experiment. Experimental studies were carried out in laboratory conditions on the basis of generally accepted methods in accordance with current industry standards, as well as developed private research methods. Processing of the research results was carried out on a PC using standard computer programs Microsoft Excel, Statistica, KOMPAS-3D. As a result, a model of the drying process was obtained and the optimal parameters of the proposed device were determined.

Keywords: drying, vegetables, fluidized-bed, dryer, research.

References:

1. Machnev A. V. Struzhkin N. I., Laryushin N. P. [et al.]. Technologies and Means of Mechanization of Agriculture. Penza, 2016, 254 p.
2. Frolov D. I., Fudin K. P. The Effect of Convective Drying and Temperature on the Content of Chemicals in Onions. XXI century: results of the past and problems of the present, 2016, № 1, p. 84-89.
3. Frolov D. I., Chekaykin S. V., Terentyev A. B. Investigation of Thermal Processes during Drying of Solid Bulk Materials in an Upward Flow of Biogas Combustion Products. Innovative Machinery and Technology, 2017, № 2, p. 17-23.
4. An K.-J., Wei L., Tang D.-B., Yu Y.-S., Bu Z.-B., Zhang Y., Xu Y.-J. Application And Research Progress Of Pretreatment Technology For Drying Of Fruits And Vegetables. Modern Food Science and Technology, 2019, № 6, p. 314-321.
5. Lu W., Li D., Lu H., Su D., Jin X., Han Q., Wang Y. Recent Development Of Microwave Fluidization Technology For Drying Of Fresh Fruits And Vegetables. Trends in Food Science & Technology, 2019, p. 59-67.
6. Altukhov I. V., Ochirov V. D., Fedotov V. A. An Experimental IR Unit for Drying Fruits and Vegetables. Bulletin of Irkutsk State Agricultural Academy, 2017, № 81-2, p. 90-96.
7. Bocharov V. A. Choosing the Best Drying Method to Get Quickly Digested Dried Vegetables. Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University, 2010, № 1, p. 89-91.
8. Kurbanova M. Zh., Dodaev K. O., Kurbanov Zh. M. Change in the Structural and Mechanical Properties of Fruits and Vegetables in the Drying Process. Storage and Processing of Farm Products, 2016, № 10, p. 11-15.
9. Katz Z. A. Production of Dried Vegetables, Potatoes and Fruits. Moscow, 1984, 216 p.
10. Chlenov V. A., Mikhailov N. V. Vibrofluidized bed. Moscow, 1972, 327 p.
11. Kukharev O. N., Semov I. N., Timergazin N. K. Analysis of Methods for Drying Crops. Education, Science, Practice: innovative aspect: a collection of materials of the International scientific-practical conference dedicated to the Day of Russian Science. Penza: RIO PSAA, 2015, p. 9-11.

12. Timergazin N. K., Semov I. N. A Device for drying Agricultural Crops. Scientific and Technical Creativity of Students on the Processes and Equipment of Food Production: a collection of abstracts of the XI International Scientific and Practical Student Internet Conference. Donetsk, 2019, p. 33-35.
13. Kukharev O. N., Semov I. N., Timergazin N. K. Analysis of the Forces Acting on the Particle in the Device for Drying Vegetable Crops. Innovative Ideas of Young Researchers for the Agro-industrial Complex of Russia: a collection of articles of the International scientific-practical conference of young scientists. Penza: RIO PSAA, 2016, pp. 116-119.
14. Evranuz E. O. Drying vegetables: new technology, equipment, and examples. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing, 2011, p. 299-315.
15. Khanali M., Rafiee S. Investigation of Hydrodynamics, kinetics, energetic and exergetic aspects of fluidized bed Drying of rough rice. International Journal of Food Engineering, 2013, № 1, p. 39-50.
16. Raponi F., Moscetti R., Massantini R., Monarca D., Colantoni A. Monitoring and Optimization of the Process of drying fruits and Vegetables using Computer vision: A. Review. Sustainability, 2017, № 11, p. 2009.
17. GOST 32065-2013. Dried Vegetables. General Specifications. Moscow, 2014, 15 p.
18. Mamatov Sh. M. Mathematical Processing of the Results of an Experimental Study of Drying Vegetables. Bulletin of Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences, 2013, № 5-2, p. 2594-2596.
19. Onwude D. I., Hashim N., Janius R. B., Nawi N. M., Abdan K. Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2016, № 3, p. 599-618.
20. Ahmed J., Alam T. Minimal processing and novel technologies applied to vegetables. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing, 2011, p. 317-333.
21. Deng L.-Z., Wang J., Zheng Z.-A., Gao Z.-J., Xiao H.-W., Mujumdar A. S., Zhang Q., Yang X.-H. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: effects on drying characteristics and quality attributes a comprehensive Review Critical. Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, № 9, p. 1408-1432.
22. Izadifar M., Mowla D. Simulation of A Cross-Flow continuous fluidized bed dryer for paddy rice. Journal of Food Engineering, 2003, № 4, p. 325-329.
23. Hatamipour M. S., Mowla D. Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. Journal of Food Engineering, 2002, № 3, p. 247-252.