

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Facultatea Inginerie Mecanică Industrială și Transporturi

Departamentul Inginerie Mecanică

Programul de master „Inginerie Mecanică”

Admis la susținere

Șef departament

dr., conf. univ. N. Țislinscaia

„_____”_____2022

STUDIUL EXPERIMENTAL ȘI MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE USCARE A MATERIEI PRIME AGRICOLE

Teză de master

Masterand:

Mironov Vladislav, gr. IM-211M

Conducător:

conf. univ., dr. N. Țislinscaia

Chișinău, 2023

Аннотация

Магистерская работа на тему: Исследование процесса сушки, сочетающий стадию нагрева горячим воздухом, за счет контролируемого мгновенного расширения.

Структура работы: 9 глав, 9 таблиц, 21 диаграмм, 10 рисунков.

Предметом исследования является исследованием процесса сушки.

Метод исследования, использованный в работе: наблюдательное исследование, основанное на наблюдении за процессом сушкой фруктов (яблоко и морковь).

Основной целью работы является изучение процесса сушки под давлением, в отношении положительного влияния температуры воздуха, отрицательного влияния относительной влажности воздуха и толщины продукта на время сушки.

Цель исследования конкретизируется следующими задачами:

- анализ сушильных технологий;
- принцип контролируемого мгновенного расширения DIC;
- математические моделирование при сушке;
- изучаемое сырье;
- влияние обработки DIC под перепадом давления на примере сушеной морковки;
- экспериментальный и фундаментальный критический анализ диффузионной модели сушки воздушного потока;
- эмпирические зависимости между температурой, пористостью и содержанием воды, а также эффективной диффузионной способностью влаги в феноменологической модели сушки CWD;

Теоретическая значимость работы заключается в возможности изучения условий сушки.

Практическая значимость результаты исследования поможет изучить преимущества, как удовлетворительное реагирование на ограничения безопасности пищевых продуктов за счет обеззараживания продукта, хорошая адаптация к современной кулинарии (быстрое приготовление, простота использования) и возможность значительного сохранения питательной ценности.

Annotation

Master's thesis on the topic: Study of the drying process, combining a stage of heating with hot air, due to controlled instantaneous expansion.

Structure of the work: 9 chapters, 9 tables, 21 diagrams, 10 figures.

The subject of the study is the study of the drying process.

Research method used in the work: observational study based on observation of the process of drying fruit (apple and carrot).

The main purpose of the work is to study the process of drying under pressure, with regard to the positive effect of air temperature, the negative effect of relative humidity and the thickness of the product on the drying time.

The purpose of the study is concretized by the following tasks:

- analysis of drying technology;
- the principle of controlled instantaneous DIC expansion;
- mathematical modulations during drying;
- the raw material under study;
- Effect of DIC processing under differential pressure using dried carrots as an example;
- experimental and fundamental critical analysis of the diffusion model of airflow drying;
- empirical relationships between temperature, porosity and water content, and effective moisture diffusivity in the CWD phenomenologic drying model;

The theoretical significance of the work lies in the possibility of studying the drying conditions.

The practical significance of the results of the study will help to explore the benefits as a satisfactory response to food safety constraints through product decontamination, good adaptation to modern cooking (quick preparation, ease of use) and the possibility of significant preservation of nutritional value.

CUPRINS

Введение.....	10
2. Преимущества и недостатки сушки.....	15
3 Сушильные технологии.....	15
3.1 Солнечные сушилки.....	16
3.2 Сушка горячим воздухом.....	17
3.3 Сублимационная сушка.....	18
4. Принцип контролируемого мгновенного расширения DIC.....	22
5. Математические моделирование при сушке.....	25
5.1 Теория диффузии.....	26
5.2 Теория испарения.....	27
5.3 Анализ кинетики сушки.....	29
6. Изучаемое сырье.....	32
7. Влияние обработки DIC под перепадом давления на примере сушеной морковки.....	36
7.1 Метод эксперимента.....	38
7.2 Кинетика сушки.....	42
8. Экспериментальный и фундаментальный критический анализ диффузионной модели сушки воздушного потока.....	45
8.1 Материалы и методы.....	49
8.2 Описание и принципы работы установленной сушки.....	51
8.3 Заключение.....	58
9. Эмпирические зависимости между температурой, пористостью и содержанием воды, а также эффективной диффузионной способностью влаги в феноменологической модели сушки CWD.....	59
9.1 Материалы и технологии.....	62
9.2 Методы вычисления.....	64
9.3 Заключение.....	65
10 Вывод.....	67
11 Источники.....	68

INTRODUCERE

В сушке фруктов и овощей остается много нерешенных вопросов. «Swell Drying» представляет собой процесс сушки, сочетающий стадию нагрева горячим воздухом с текстурированием за счет контролируемого мгновенного расширения (КМР). В рамках этой исследовательской работы морковь и яблоки используются в качестве модельных пищевых продуктов для сушки большинства растений.

Научная литература по сушке агро материалов согласна в отношении положительного влияния температуры воздуха, отрицательного влияния относительной влажности воздуха и толщины продукта на время сушки. Однако, несмотря на большое количество исследований, отмечаются противоречивые выводы о корреляциях между кинетикой сушки и скоростью движения воздуха, что, по мнению некоторых авторов, не приводит к какой-либо модификации процесса сушки; в то время как в некоторых работах предпринимались попытки установить эмпирические модели между эффективной диффузией и скоростью воздуха; что в корне неверно.

Целью работы является анализ процесса сушки и выявление ограничивающего явления между внутренним и внешним теплообменом. Эта работа приводит к выявлению критической скорости воздуха (КСВ), способной сделать внутреннюю диффузию воды лимитирующим явлением. Таким образом, КСВ должен зависеть от эффективной диффузионной способности и размера продукта. На основе экспериментальных результатов, охватывающих широкий диапазон температур воздуха, содержания воды и абсолютной скорости расширения, была создана эмпирическая модель.

Большие исследовательские работы предлагают сушку фруктов и овощей несколькими способами. Каждый год экспериментальные результаты и математическое моделирование пытаются с помощью традиционных и инновационных технологических процессов защитить сельскохозяйственную продукцию от сезонного изменения рыночных цен. Тем не менее, по-прежнему существуют значительные проблемы для улучшения и контроля этого стратегического сельскохозяйственного сектора. Сушка набуханием является очень актуальным процессом сушки, сочетающим обдув горячим воздухом с мгновенным контролируемым падением давления. В данной работе в качестве фруктово-овощной модели использовались морковь и яблоко. Научная литература по сушке утверждает в том, что время сушки уменьшается с повышением температуры воздуха, уменьшением относительной влажности воздуха и уменьшением размеров. Однако влияние скорости воздушного потока приводит к противоречивым выводам. Некоторые авторы утверждают, что это не вызывает каких-либо модификаций сушки; в то время как в некоторых статьях пытались установить эмпирические модели зависимости эффективной диффузии от скорости воздушного потока; что в корне неверно.

Bibliografie

1. Rao, M.A., Rizvi, S.S.H., Datta, A.K. Engineering Properties of Foods, Third Edition. CRC Press, 2010.
2. Khazaei, J., Daneshmandi, S. Modeling of thin-layer drying kinetics of sesame seeds: mathematical and neural networks modeling. *International agrophysics*, 2007, 21, 335–348.
3. Menges, H.O., Ertekin, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. *Journal of Food Engineering*, 2006, 77, 119–125.
4. Sacilik, K., Elicin, A.K. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *Journal of Food Engineering*, 2006, 73, 281–289.
5. Goyal, R.K., Kingsly, A.R.P., Manikantan, M.R., Ilyas, S.M. Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. *Biosystems Engineering*, 2006, 95, 43–49.
6. Yaldiz, O., Ertekin, C., Uzun, H.I. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 2001, 26, 457–465.
7. Doymaz, I.I. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 2004, 61, 359–364.
8. Toğrul, İ.T., Pehlivan, D. Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*, 2002, 55, 209–216.
9. Allaf, K., Vidal, P. Feasibility study of a new process of swell-drying by instant decompression toward vacuum of in pieces vegetables in view of a rapid rehydration. Gradient activity plotting University of Technology of Compiègne UTC N° CR/89/103, 1988.
10. Debs-Louka, E., Louka, N., Abraham, G., Chabot, V., Allaf, K. Effect of compressed carbon dioxide on microbial cell viability. *Appl. Environ. Microbiol*, 1999, 65, 626–631.
11. Besombes, C. Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydro-thermo-mécanique d'herbes aromatiques, PhD Thesis, University of La Rochelle, 2008.
12. Allaf, T., Tomao, V., Ruiz, K., Chemat, F. Instant controlled pressure drop technology and ultrasound assisted extraction for sequential extraction of essential oil and antioxidants. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2013, 20, 239–246.
13. Haddad, J., Louka, N., Gadouleau, M., Juhel, F., Allaf, K. Application du nouveau procédé de séchage/ texturation par Détente Instantanée Contrôlée (DIC) aux poissons : impact sur les caractéristiques physicochimiques du produit fini. *Sciences des Aliments*, 2001, 21, 481–498.
14. Duong, T.C. Etude de l'application du procédé hydrothermique dans le traitement de différents types de riz : procédé d'étuvage et micro-expansion par détente instantanée contrôlée et impact sur les propriétés fonctionnelles, PhD Thesis, University of La Rochelle, France, 2003.

15. Albitar, N., Mounir, S., Besombes, C., Allaf, K. Improving the drying of onion using the Instant Controlled Pressure Drop technology. *Drying Technology*, 2011, 29, 993–1001.
16. Mounir, S., Schuck, P., Allaf, K. Structure and attribute modifications of spray-dried skim milk powder treated by DIC (instant controlled pressure drop) technology. *Dairy Sci. Technol*, 2010, 90, 301–320.
17. Mounir, S., Halle, D., Allaf, K. Characterization of pure cheese snacks and expanded granule powders textured by the instant controlled pressure drop (DIC) process. *Dairy Science & Technol.*, 2011, 91, 441–455.
18. Haddad, M.A., Mounir, S., Sobolik, V., Allaf, K. Fruits and Vegetables Drying Combining Hot Air, DIC Technology and Microwaves. *International Journal of Food Engineering*, 2008,