

Effect of drying methods and regimes of microstructure change in plant materials

Vitaliy Shutyuk

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

ABSTRACT

Keywords:

Drying
Microstructure
Apple
Pomace
Carrot

Article history:

Received 21.07.2013
Received in revised form
31.08.2013
Accepted 03.09.2013

Corresponding author:

Vitaliy Shutyuk
E-mail:
schutyuk@i.ua

Introduction. Study of the kinetics of drying with change of the products microstructure at the same time, allows to simulate the change of their physical and biological properties more efficiently.

Materials and methods. Apples "Symyrenko" and carrots "Abaco" were investigated. Convective drying in an oven DNG-9035A was conducted. Temperature drying agent was $65 \pm 2^\circ\text{C}$, microwave power field - 250 watts. Microstructure of raw materials was determined per microscope Konus Biorex-3 with size increasing 40... 100. Photomicrographs were made per camera Sigeta UCMOS 5100 5.1MP

Result. Analysis of research microstructural changes of plant material during drying per most common ways of dehydration in laboratory conditions is conducted. Changing of microstructure of apple and carrot pomace during convective and microwave drying methods are defined. At convective drying raw materials is dried more evenly as opposed to tributaries high frequency drying. The using only microwave drying for apple and carrot pomace significantly shortens the duration of process, but the quality of the resulting product deteriorates due to partial charring. The results allow to reduce the number of experimental studies for optimize the process.

УДК 664.854

Вплив способів та режимів сушіння на зміну мікроструктури рослинної сировини

Віталій Шутюк

Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина

Вступ

Процес сушіння харчових продуктів супроводжується фізичними й хімічними змінами. До фізичних змін головним переважно належать макро- та мікросміни розміру, форми та внутрішньої структури продукту [8, 11]. Ступінь та характер даних змін залежить від режимів та способів сушіння. Так конвективний спосіб сушіння рослинної сировини супроводжується численними розривами стінок клітин, формуванням великої кількості мікропорожнин та зменшенням поперечного перерізу клітин порівняно з сирими продуктами [2, 7, 9]. Структура висушених сублімацією продуктів складається з нерегулярно розміщених порожнин, порушених стінок клітин. [18]. Інтенсивність переміщення молекул розчиненої речовини впливає на утворення структури поверхні порожків, що в свою чергу визначає їхню функціональність [14].

Матеріали та методи

Досліджувались яблучні вичавки і морква під час сушіння конвективним і мікрохвильовим способами.

Досліди з сушіння конвективним способом проводилися в сушильній шафі DNG-9035A з об'ємом камери 30 л. Сушарка дає змогу забезпечити температуру сушильного агента в діапазоні +5...300 °С з дискретністю її завдання 0,1 °С та стабільністю ± 1 °С. Для мікрохвильового оброблення використовувалась модернізована мікрохвильова піч Scarlett SC-1701 з робочим об'ємом 17 л і максимальною споживчою потужністю НВЧ-випромінювача 700 Вт. Установка має шість рівнів регулювання потужності НВЧ-випромінювача та можливість подавати в камеру нагріте повітря з сушильної шафи DNG-9035A для спільного процесу сушіння.

Мікроструктура сировини вивчалась за допомогою на мікроскопу Konus Biogex-3 з величиною збільшення 40...100х, а мікрофотографії виконувались за допомогою професійної цифрової фотокамери Sigeta UC MOS 5100 5.1MP з розширенням 2592×1944 пікселів.

Досліджувались яблука сорту Симиренко, які зберігались за температури 5 °С. В усіх експериментах протягом певного періоду часу використовували яблука однієї партії. З огляду на ефект дозрівання для експериментів вибирали тверді яблука, які промивали, натирали та вичавлювали сік. Моркву сорту Абако типу Шантанне, зберігали за температури 5 °С. Перед сушінням її мили і нарізали кружечками (діаметр 0,02 м, товщина 0,005 м).

Температура сушильного агента в усіх дослідах становила (65 ± 2) °С, потужність мікрохвильового поля – 250 Вт. Витрати сушильного агента дорівнювала $(0,001\pm 0,0002)$ м³/с з початковою температурою (19 ± 1) °С та відносною вологістю 40...45 % повітря. Початковий вміст сухих речовин в яблучних вичавках сорту Симиренко становив 15, моркві сорту Абако – 18 %. Сушіння здійснювалось до рекомендованої кінцевої вологості згідно з відповідними технічними умовами (для яблучних вичавок – не більше 8 %, моркви – 14 %).

Результати та обговорення

Процес сушіння істотно позначається на будову тканини сирого яблука [1, 3, 10, 16]. Так під час конвективного сушіння усадкові напруження викликають численні пориви стінок клітин і формування малих порожнин (рис. 1). В наслідок цього розмір клітин значно зменшується порівняно з клітинами сирого яблука. Як видно з мікрофотографій (див. рис. 1), порожнини висушеного зразка мають подовжену форму, а стискання і руйнування клітин призводить до їхнього фальцювання й жолоблення. В одночас кінцева будова яблука, висушеного сублімацією, формується під час заморожування, характеризується значним порушенням клітин і крихкою структурою без будь-якої домінуючої форми.

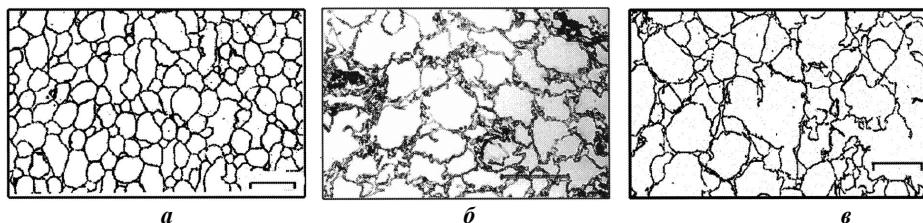


Рис. 1. Мікроструктура яблука:

a – свіжого (маркер – 300 мкм);
б, в – висушеного відповідно в конвективній (маркер – 100 мкм) та сублімаційній сушарці (маркер – 150 мкм).

Режими сушіння також значно впливають на мікроструктуру картоплі [11, 12]. Процес відбілювання, який передує сушінню, спричиняє роздування клітин за рахунок драгливання крохмалю (рис. 2, *б*). Але, як видно з фотографії, не всі клітини заповненні крохмалем повністю. Конвективне сушіння супроводжується стисканням клітин, проте їх серйозного їхнього ушкодження не спостерігається. Порушується цілісність приблизно 12 % клітин, інші ж просто під час сушіння скорочуються. Цей ефект пояснюється невеликим розміром клітин і наявністю крохмалю, який зміцнює їхню будову. Під час сублімаційного сушіння картоплі, основний руйнівний вплив на мікроструктуру продукту справляє процес заморожування (див. рис. 2, *г*). У результаті сублімаційного сушіння утворюється пористий і тендітний продукт високої якості.

Ступінь руйнування тканин картоплі залежить від режимів оброблення значно більше ніж тканини яблука. Тому вибір режимів попереднього оброблення і сушіння позначається на властивостях готового продукту.

Зміни мікроструктури клітин моркви [13, 17, 20], висушеної гарячим повітрям та перегрітою парою значно відрізняються (рис. 3). Клітина моркви висушеної гарячим повітрям зазнала більшу деформацію клітини ніж перегрітою парою низького тиску. Це спричинено сильним ушкодженням клітин гарячим повітрям, тоді як сушіння парою розширює клітини, в результаті чого утворюється пористий продукт.

Ефект сушіння рослинної сировини конвективним і мікрохвильовим способами вивчали численні дослідники [3, 4, 5, 6, 15, 19]. Доведено, що коротший час сушіння мікрохвильовим способом сприяє меншому стисканню тканин продуктів завдяки створенню внутрішнього тиску пари (рис.4). Формування шару кірки на поверхні

висушених матеріалів у результаті переміщення розчинених речовин збільшує механічну міцність висушених матеріалів, особливо суниці [3].

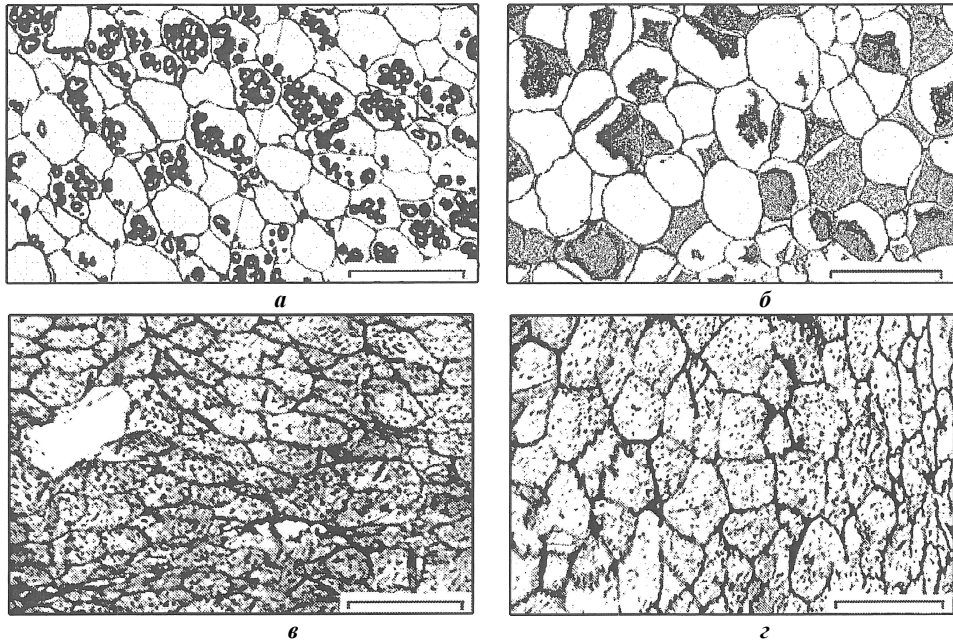


Рис. 2. Мікроструктура картоплі (маркер – 300 мкм):
a – сирої;
б – відбіленої;
в, г – висушеної відповідно у конвективній та сублимаційні сушарках

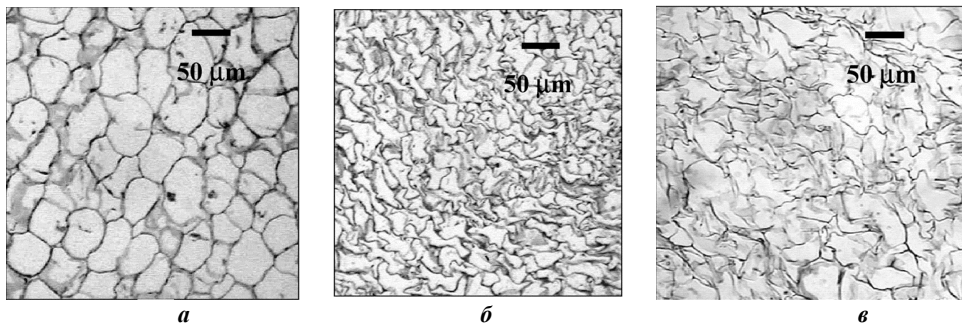


Рис. 3. Мікроструктура моркви:
a – свіжої;
б, в – висушеної відповідно повітрям в конвективній сушарці та перегрітою парою низького тиску

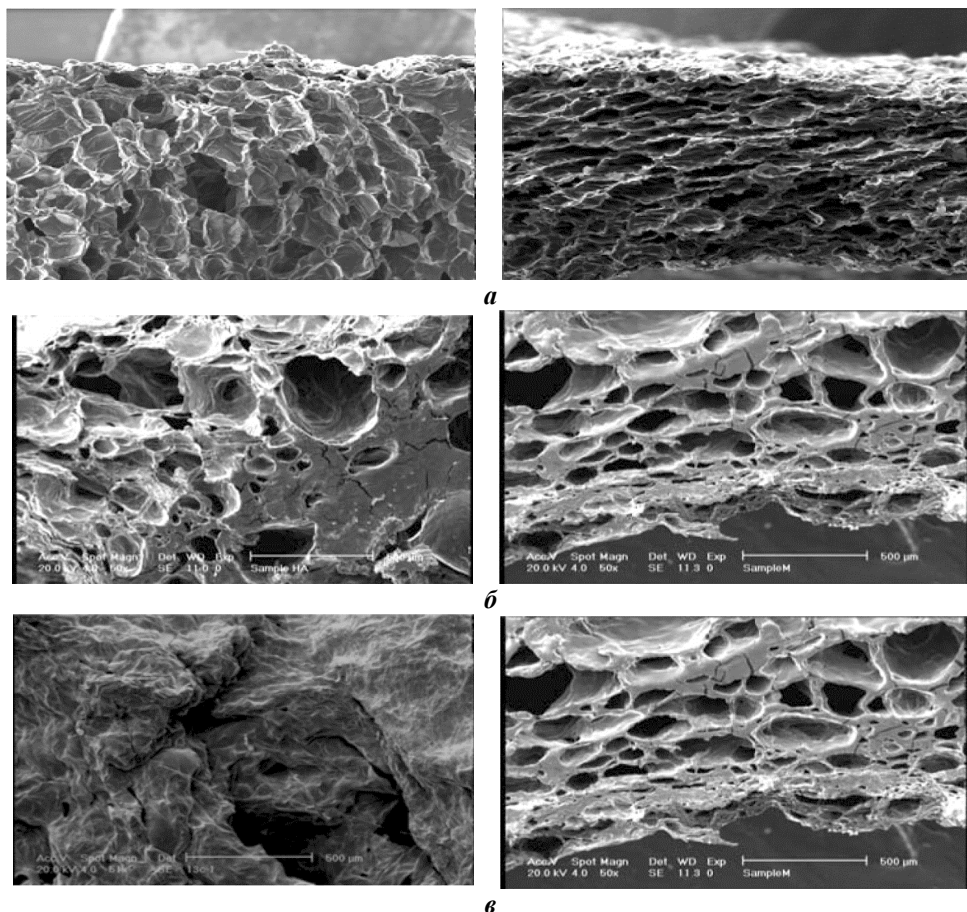


Рис. 4. Мікроструктура плодів і ягід, висушених конвективним способом (фото ліворуч) та мікрохвильовим способом (фото праворуч):

a – яблуко

б – суниця

в – томат

Проведені дослідження з сушіння моркви та яблучних вичавок (рис. 5). Досліди з сушіння моркви показали, що у процесі конвективного сушіння тканина просушується більш нерівномірно (див. рис. 5, б) на відміну від сушіння струмами високої частоти (див. рис. 5, в). Така закономірність простежується і під час сушіння яблучних вичавок (див. рис. 5, д, е). Це пов'язано з особливостями процесу вилучення вологи даними способами. Як відомо, при сушінні СВЧ матеріал нагрівається одночасно по всьому об'єму, тому волога рівномірніше вилучається з продукту. У разі сушінні конвективним способом нерівномірно руйнується цитоплазматична оболонка рослинних клітин, відбувається частковий гідроліз протопектину й інактивуються ферменти.

Використання виключно мікрохвильового сушіння для яблучних вичавок і моркви значно скорочує тривалість процесу, проте через часткове обуглення тканин

якість отриманої продукції погіршується. У даному разі однією з основних причин, що впливає на якість сушеної продукції, є необхідність зміни діапазону потужності НВЧ-випромінювача, зумовленої періодичністю роботи установки. НВЧ-випромінювач лабораторної установки має дискретне шестипозиційне регулювання потужності, що не може достатньою мірою забезпечити необхідну зміну режиму сушіння.

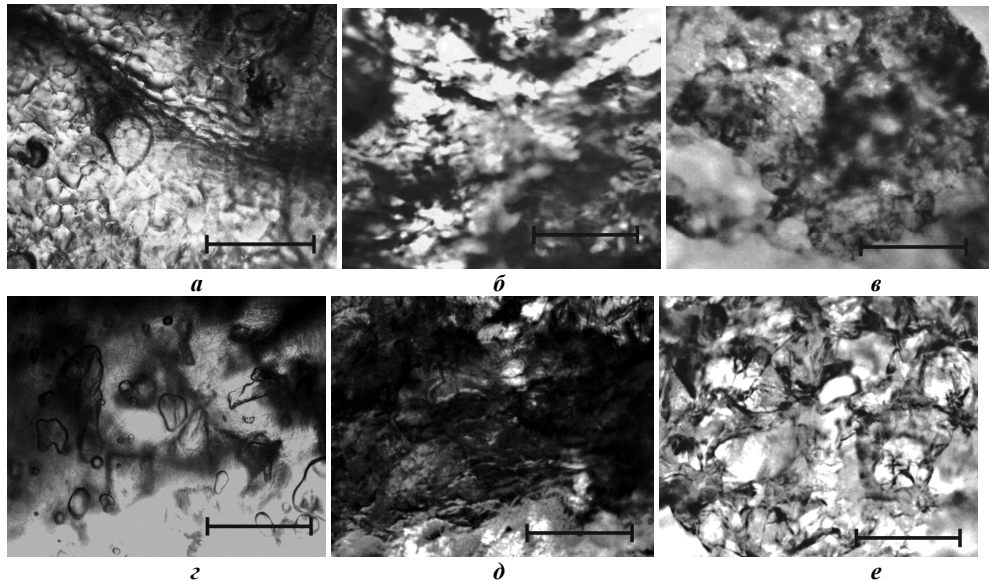


Рис. 5. Мікроструктура (маркер – 100 мкм):
морква – сирі (а), висушена конвективним способом (б)
та струмами високої частоти (в);
яблучні вичавки – сирі (з), висушені конвективним способом (д)
та токами високої частоти (е)

Висновки

Дослідження кінетики сушіння одночасно зі зміною мікроструктури продукту сприяє якіснішому моделюванню зміни його фізичних і біологічних властивостей. Пропоновані математичні моделі, сприятимуть значному скороченню кількості експериментальних досліджень для оптимізації процесу сушіння.

Усвідомлення того, як змінюється чи формується типова мікроструктура продукту під час сушіння, як впливає зміна мікроструктури на морфологію, поверхневі властивості та якість продукту, дає змогу конкретніше зрозуміти основні принципи сушіння харчових продуктів, контролю їхньої якості, відновлення, відбору умов проведення процесу й більш ефективного проектування сушильних установок.

Література

1. Askari G.R., Emam-Djomeh Z., Mousavi S.M. Investigation of effect of microwave treatment on the optical properties of apple slices during drying / *Drying Technology* 2008.– 26.– P. 1362–1368.
2. Castro L., Aguilera J.M. Fracture Properties and Microstructure of Low-Moisture Starch Probes / *Drying Technology* 2007.– 25. P. 147–152.
3. Contreras C., Marti'n-Esparza M.E., Chiralt A., Marti'nez-Navarrete N. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry / *Journal of Food Engineering*, 2008.– 88 (1). P. 55–64.
4. Drying technologies in food processing/edited by Xiao Dong Chen, Arun S. Mujumdar / 2008 Blackwell Publishing Ltd. P. 350.
5. Doymaz I. Air-drying characteristics of tomatoes / *Journal of Food Engineering* 2007.– 78 (4). P. 1291–1297.
6. Giri S.K., Prasad S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms./ *Journal of Food Engineering*. 2007.– 78. P. 512–521.
7. Guine R. DE P.F. Influence of drying method on density and porosity of pears / *Food and Bioproducts Processing* 2006.– 84 (3). P. 179–185.
8. Heidenreich S., Jaros D., Rohm H., Ziems A. Relationship between water activity and crispness of extruded rice crisps / *Journal of Texture Studies*, 2004.– 35. P. 621–633.
9. Krokida M., Marouli Z. Quality changes during drying of food materials.– *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences*; Mujumdar, A., Ed.; Science Publishers, Inc.: Enfield, NH, USA. 2000. P. 61–98.
10. Lewicki P.P., Grzegorz P. Effect of Drying on Microstructure of Plant Tissue / *Drying Technology*, 2003.– 21. P. 657–683.
11. Lewicki P., Pawlak G. Effect of mode of drying on microstructure of potato / *Drying Technology*, 2005.– 23. P. 847–869.
12. Markowski M., Stankiewicz I., Zapotoczny P., Borowska J. Effect of variety on drying characteristics and selected quality attributes of dried carrots / *Drying Technology* 2006.– 24. P. 1011–1018.
13. Marques L.G., Prado M.M., Freire J.T. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits / *LWT-Food Science and Technology*, 2009.– 42. P. 1232–1237.
14. Piotrowski D., Lenart A., Wardzynski A. Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries / *Journal of Food Engineering*, 2004.– 65 (4). P. 519–525.
15. Prothon F., Ahrne' L., Funebo T., Kidman S., Langton M., Sjolholm I. Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics / *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. - 2001.– 34. P. 95–101.
16. Reyes A., Vega R., Bustos R., Araneda C. Effect of Processing Conditions on Drying Kinetics and Particle Microstructure of Carrot.– *Drying Technology*, 2008.– 26. P. 1272–1285.
17. Tao T., Peng X.F., Lee D.J. Structure of crack in thermally dried sludge cake / *Drying Technology*, 2005.– 23. P. 1555–1568.
18. Zhanga M., Tangb J., Mujumdar A.S., Wang S. Trends in microwave related drying of fruits and vegetables / *Trends in Food Science & Technology*, 2006.– 17. P. 524–534.
19. Zielinska M.; Markowski M. Drying behavior of carrots dried in a spout-fluidized bed dryer / *Drying Technology*, 2007.– 25. P. 261–270.
20. Шутюк В.В., Василенко С.М., Бессараб О.С. Математичне моделювання сушіння харчових продуктів перегрітою парою / *Наукові праці НУХТ*. - 2013. - № 49. - С. 120-126.

References

1. Askari G.R., Emam-Djomeh Z., Mousavi S.M. (2008), Investigation of effect of microwave treatment on the optical properties of apple slices during drying, *Drying Technology*, 26, pp. 1362–1368.
2. Castro L., Aguilera J.M. (2007), Fracture Properties and Microstructure of Low-Moisture Starch Probes, *Drying Technology*, 25, pp. 147–152.
3. Contreras PP., Marti'n-Esparza M.E., Chiralt A., Marti'nez-Navarrete N. (2008), Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry, *Journal of Food Engineering*, 88(1), pp. 55–64.
4. Arun S. Mujumdar. (2008), Drying technologies in food processing.
5. Doymaz I. (2007), Air-drying characteristics of tomatoes, *Journal of Food Engineering*, 78(4), pp. 1291–1297.

6. Giri S.K., Prasad S. (2007), Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms, *Journal of Food Engineering*, 78, pp. 512–521.
7. Guine R. DE P.F. (2006), Influence of drying method on density and porosity of pears, *Food and Bioproducts Processing*, 84(3), pp. 179–185.
8. Heidenreich S., Jaros D., Rohm H., Ziemas A. (2004), Relationship between water activity and crispness of extruded rice crisps, *Journal of Texture Studies*, 35, pp. 621–633.
9. Krokida M., Marouli Z. (2000), Quality changes during drying of food materials. *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences; Mujumdar, A., Ed, Science Publishers, USA*, pp. 61–98.
10. Lewicki P.P., Grzegorz P. (2003), Effect of Drying on Microstructure of Plant Tissue, *Drying Technology*, 21, pp. 657–683.
11. Lewicki P., Pawlak G. (2005), Effect of mode of drying on microstructure of potato, *Drying Technology*, 23, pp. 847–869.
12. Markowski M., Stankiewicz I., Zapotoczny P., Borowska J. (2006), Effect of variety on drying characteristics and selected quality attributes of dried carrots, *Drying Technology*, 24, pp. 1011–1018.
13. Marques L.G., Prado M.M., Freire J.T. (2009), Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits, *LWT-Food Science and Technology*, 42, pp. 1232–1237.
14. Piotrowski D., Lenart A., Wardzynski A. (2004), Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries, *Journal of Food Engineering*, 65(4), pp. 519–525.
15. Prothon F., Ahrne' L., Funebo T., Kidman S., Langton M., Sjöholm I. (2001), Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 34, pp. 95–101.
16. Reyes A., Vega R., Bustos R., Araneda P.P. (2008), Effect of Processing Conditions on Drying Kinetics and Particle Microstructure of Carrot, *Drying Technology*, 26, pp. 1272–1285.
17. Tao T., Peng X.F., Lee D.J. (2005), Structure of crack in thermally dried sludge cake, *Drying Technology*, 23, pp. 1555–1568.
18. Zhanga M., Tangb J., Mujumdar A.S., Wang S. (2006), Trends in microwave related drying of fruits and vegetables, *Trends in Food Science & Technology*, 17, pp. 524–534.
19. Zielinska M., Markowski M. (2007), Drying behavior of carrots dried in a spout-fluidized bed dryer, *Drying Technology*, 25, pp. 261–270.
20. Shutiuk V.V., Vasylenko S.M., Bessarab O.S. (2013), Matematychni modeliuvannia sushinnia kharchovykh produktiv perehritoiu paroiu / *Naukovi pratsi NUHT [Scientific works of NUFT]*, 49, pp. 120-126.