



---

---

2015

# НАУКОВІ ПРАЦІ

## НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Том 21 № 2**

*Журнал «Наукові праці НУХТ»  
засновано в 1993 році*

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2015

Articles with the results of fundamental theoretical developments and applied research in the field of technical and economic sciences are published in this journal. The scripts of articles are reviewed beforehand by leading specialists of corresponding branch.

The journal was designed for professors, tutors, scientists, post-graduates, students of higher education establishments and executives of the food industry.

Journal “Scientific Works of National University of Food Technologies” is included into the list of professional editions of Ukraine of technical and economic sciences (Ballot-paper of Higher Attestation Commission of Ukraine #1, 2010), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

The Journal “Scientific Works of National University of Food Technologies” is indexed by the following scientometric databases:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- CABI Full Text
- Universal Impact Factor
- Google Scholar
- The Journal is recommended for publication of research results by the Ministry of Science and Higher Education of Poland.

**Editorial office address:**

National University  
of Food Technologies  
Volodymyrska str., 68  
Ukraine, Kyiv 01601

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. *Minutes of meeting # 7 of February 19, 2015*

© NUFT, 2015

У журналі публікуються статті за результатами фундаментальних теоретичних розробок і прикладних досліджень у галузі технічних та економічних наук. Рукописи статей попередньо рецензуються провідними спеціалістами відповідної галузі.

Для викладачів, наукових працівників, аспірантів, докторантів і студентів вищих навчальних закладів, керівників підприємств харчової промисловості.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних та економічних наук (Бюлетень ВАК України № 1, 2010), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» індексується наукометричними базами:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- CABI Full Text
- Universal Impact Factor
- Google Scholar
- Журнал рекомендовано Міністерством науки та вищої освіти Польщі для публікації результатів наукових досліджень.

**Адреса редакції:**

Національний університет  
харчових технологій  
вул. Володимирська, 68  
Київ 01601

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій.  
Протокол № 7 від 19 лютого 2015 року

© НУХТ, 2015

## Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу «Наукові праці»  
Національного університету харчових технологій

<b>Головний редактор</b> <b>Editor-in-Chief</b>	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Анатолій Українець</b> <b>Anatoliy Ukrainets</b>	
<b>Заступник головного редактора</b> <b>Deputy chief editor</b>	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Тетяна Мостенська</b> <b>Tatiana Mostenska</b>	
<b>Відповідальний секретар</b> <b>Accountable secretary</b>	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Юрій Пенчук</b> <b>Yuriy Penchuk</b>	

## Члени редакційної колегії:

<b>Анатолій Зайнчковський</b> <b>Anatoly Zainchkovskiy</b>	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Анатолій Король</b> <b>Anatoly Korol</b>	д-р фіз.-мат. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Анатолій Ладанюк</b> <b>Anatoly Ladanyuk</b>	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Анатолій Сайганов</b> <b>Anatoly Sayganov</b>	д-р екон. наук, проф., Білорусь Ph. D. Hab., Prof., Institute of System Research in Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, Belarus
<b>Анжей Ковальський</b> <b>Anzhey Kowalski</b>	д-р екон. наук, проф., Польща Ph. D. Hab., Prof., Institute of Agricultural and Food Economics, Poland
<b>Аннетта Зелінська</b> <b>Anetta Zielinska</b>	д-р екон. наук, проф., Польща Ph. D. Hab., Prof., Wroclaw University of Economics, Poland
<b>Брайан Мак Кенна</b> <b>Brian McKenna</b>	д-р техн. наук, проф., Ірландія Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland
<b>Віктор Доценко</b> <b>Victor Dotsenko</b>	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Віра Оболкіна</b> <b>Vera Obolkina</b>	д-р техн. наук, Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Володимир Піддубний</b> <b>Vladimir Piddubnyi</b>	д-р техн. наук, Україна Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Галина Чередниченко</b> <b>Galina Cherednichenko</b>	канд. педагог. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Герхард Шльонінг</b> <b>Gerhard Schleining</b>	д-р техн. наук, Австрія Ph. D. Hab. Prof., University of Natural Resources, Austria

<b>Дайва Лескаускайте</b> <b>Daiva Leskauskaite</b>	д-р техн. наук, проф., Литва Ph. D. Hab., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania
<b>Єлизавета Костенко</b> <b>Jelyzaveta Kostenko</b>	д-р хім. наук, Україна Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Єлизавета Смірнова</b> <b>Jelyzaveta Smirnova</b>	канд. філол. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Іван Малєжик</b> <b>Ivan Malezhuk</b>	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Кристина Сильва</b> <b>Cristina L.M.Silva</b>	д-р техн. наук, проф., Португалія Ph. D. Hab. Prof., University de Catolica, Portuguesa
<b>Лариса Арсенєвса</b> <b>Larisa Arsenyeva</b>	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Леонід Дегтярьов</b> <b>Leonid Dehtyaryov</b>	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Микола Прядко</b> <b>Mykola Pryiadko</b>	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Мирослава Штокало</b> <b>Miroslava Shtokalo</b>	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Михайло Мартиненко</b> <b>Michail Martynenko</b>	д-р фіз.-мат. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Олександр Бараненко</b> <b>Oleksandr Baranenko</b>	д-р техн. наук, проф., Росія Ph. D. Hab., Prof., National Research University of Information Technologies, mechanics and optics, Russia
<b>Олександр Бутнік-Сіверський</b> <b>Oleksandr Butnik-Siverskyi</b>	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Олександр Карпов</b> <b>Oleksandr Karpov</b>	д-р біол. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Олександр Перепелиця</b> <b>Oleksandr Perepelitsa</b>	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Олександр Полумбрик</b> <b>Oleksandr Polumbryk</b>	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Паола Піттія</b> <b>Paola Pittia</b>	д-р техн. наук, проф., Італія Ph. D. Hab. Prof., University of Teramo, Italy
<b>Петро Шнян</b> <b>Petro Shyian</b>	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Саверіо Манніно</b> <b>Saverio Mannino</b>	д-р хім. наук, проф., Італія Ph. D. Hab. Prof., University of Milan, Italy
<b>Тамара Говорушко</b> <b>Tamara Govorushko</b>	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Хууб Лелієвельд</b> <b>Huub Lelieveld</b>	Нідерланди Ph. D. Hab. Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, Netherlands

## ЗМІСТ

### Автоматизація

Лобок О.П., Гончаренко Б.М., Слезенко А.М. Дослідження динаміки мінімаксного керування і спостереження температурного режиму пекарної камери

### Безпека харчових продуктів

Гуменюк Г.Д., Слива Ю.В. Стандарти на харчові продукти та їх гармонізація з міжнародними і європейськими вимогами

### Біотехнологія, мікробіологія

Панасюк К.В., Пирог Т.П. Вплив позаклітинних метаболітів *Rhodococcus erythropolis* IMB AC-5017, *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 та *Nocardia vacinii* IMB B-7405 на фітопатогенні бактерії *Pseudomonas syringae* pv. *coronafaciens* ІКМ B-1154

Салюк А.І., Жадан С.О., Шаповалов Є.Б. Напівбезперервне метанове бродиння курячого посліду в термофільному режимі

### Економіка і соціальний розвиток

Лисенко О.А. Аналіз взаємозв'язку показників самозабезпеченості і збалансованості споживання основних видів продукції харчування в Україні

Котков С.В. Економічні засади визначення доданої вартості в цукровій промисловості України

Березянко Т.В. Оцінка рівня добropopядної практики в олігопольному ядрі оліе-жирового комплексу

Ніколаєнко С.М. Теоретичні аспекти і передумови створення кластеру молочної промисловості

Якимчук Т.В. Розвиток і стан підприємств плодовоочеконсервної галузі України в контексті забезпечення продовольчої безпеки

Соломчук Л.М. Дослідження сучасного стану сировинної бази і ринку м'ясної продукції в Україні

### Інформаційні технології

Маковецька С.В., Седих О.Л., Фоменко І.А. Розв'язок стаціонарної задачі рівняння теплопровідності

### Менеджмент і стратегічне управління

Яровий Л.В. Теоретичні підходи до оцінювання інформаційних ресурсів

Момот Л.В. Розвиток факторингу в Україні

Корж Н.В., Юрій Е.О. Функції і характеристики фінансового капіталу як складової капіталу корпорації

Осадчук О.П. Світові тенденції впровадження систем управління якістю відповідно до вимог ISO 9001

## CONTENTS

### Automation

Lobok O., Goncharenko B., Slyzenko A. Investigation of minimax control and observation of baking chamber temperature regime

### Food Products Safety

Gumenyuk G., Sliva Y. Food standards and their harmonization with international and european requirements

### Biotechnology and Microbiology

Panasyuk K., Pirog T. Effect of extracellular methabolites *Rhodococcus erythropolis* IMB Ac-5017, *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 and *Nocardia vacinii* IMB B-7405 on phytopathogenic bacteria *Pseudomonas syringae* pv. *coronafaciens* UKM B-1154

Saliuk A., Zhadan S., Shapovalov E. Semicon- tinuous methane fermentation of chicken manure in thermophilic mode

### Enterprise Economy and Social Development

Lysenko O. Analysis of interrelation of indicators of self-reliance and balance of consumption of main types of food products in Ukraine

Kotkov S. Economic fundamentals of determining value added in Ukraine sugar industry

Berezianko T. Assessment of good practice level in oligopolistic nucleus of oil and fat complex

Nikolaienko S. Theoretical aspects and background of dairy industry cluster

Iakymchuk T. Development and condition of Ukrainian fruit-and-vegetable processing and canning enterprises in context of food security

Solomchuk L. Current state of raw materials and market of meat in Ukraine

### Information Technology

Makovetska S., Seidykh O., Fomenko I. Solution of heat equation stationary problem

### Business Administration and Strategic Management

Yarovy L. Theoretical approaches of information resources evaluation

Momot L. Development of factoring in Ukraine

Korz N., Yuriy E. Functions and characteristics of financial capital as a component of corporate capital

Osadchyk O. The world's tendencies of quality management system providing according to the ISO 9001 requirements

## Охорона праці

*Євтушенко О.В.* Комплекс засобів автоматизації управління охороною праці для підприємств харчової промисловості

## Процеси і апарати харчових виробництв

*Юхно М.І., Захаревич В.Б., Куєвда В.П., Куєвда Ю.В.* Електромагнітний сепаратор барабанного типу

*Погорилій Т.М.* Об'ємна геометрична модель міжкристального розчину сахарози в системі комірок кристали цукру–міжкристальні розчини сахарози–парова бульбашка

*Цуркан О.В., Герасимов О.О., Полєвода Ю.А., Римап Т.І. Станіславчук О.В.* Узагальнення кінетики першого періоду фільтраційного зневоднення свіжоочищеного насіння гарбуза з вібраційно-пневматичною активацією

*Ратушина І.І.* Дослідження шнекових екструдерів для виробництва сухих сніданків

## Тепло- і енергопостачання

*Прядко М.О., Глоба О.В., Форсюк А.В., Глоба В.З.* Плівкові течії в трубах випарних апаратів для яблучного соку

## Технології гостинності

*Руднева М.Г., Ємцев В.І., Басюк Д.І.* Винний туризм Молдови

## Харчові технології

*Прісс О.П.* Формування біологічно-активних речовин у плодах перцю під впливом абіотичних факторів

*Сімахіна І.О., Гойко І.Ю.* Виробництво сухого грибного напівфабрикату для збагачення харчових раціонів

*Маєвська Т.М.* Амінокислотна сбалансованість білків промитих рибних фаршів

*Малежик І.Ф., Бандуренко Г.М., Писарев М.Г., Мисюра Т.Г.* Інноваційні рішення в технології сушіння картоплі

*Сильчук Т.А., Назар М.І., Карпенко Т.С., Доценко В.Ф.* Дослідження впливу клітковини гороху на біохімічні процеси в тісті

*Бондарева В.Й., Манк В.В., Мірошников О.М.* Отримання ліпідного комплексу з фолікулярних яєць курей методом осадження гексаном

*Сабадаш Н.І., Грабовська О.В.* Дослідження процесу зцукрювання розрідженого крохмалю ферментним препаратом β-амілази

*Королюк Т.А., Усатиук С.І., Попова А.В.* Технологія олії з волоського горіха з використанням ферментних препаратів

*Волнянська О.В., Ткач В.І., Подобій О.В., Толстенко Ю.В.* Визначення тіабендазолу в субстанції харчової добавки E233 і харчових продуктах електрохімічними методами

## Occupational Safety

122 *Evtushenko O.* Automation system of labor protection management for food industry

## Processes and Equipment for Food Industries

132 *Yukhno M., Zakharevych V., Kuievda V., Kuievda Y.* Drum-type electromagnetic separator

139 *Pogorilyi T.* Volume geometric model of inter-crystalline sucrose solutions in the cell systems: sugar crystals–intercrystalline sucrose solutions–steam bubble

151 *Tsurkan O., Gerasimov A., Poljevoda Y., Rimar T., Stanislavchuk O.* Generalization of the kinetics of the first stage of filtration dehydration of freshly peeled pumpkin seeds with vibro-pneumatic activation

160 *Ratushna I.* Research of screw extruders for dry breakfasts production

## Heat and Electricity

168 *Pryadko M., Globa O., Forsiuk A., Globa V.* Film flows in tubes of apple juice evaporators

## Hospitality Technologies

176 *Rudneva M., Yemtsev V., Basyuk D.* Wine tourism in Moldova

## Food Technology

183 *Priss O.* Formation of bioactive compounds in pepper fruits under the influence of abiotic factors

190 *Simakhina G., Goyko I.* Production of dry mushroom semiproduct aimed at enriching the diet

197 *Maevskaya T.* Amino acid balance of proteins of washed minced fish

203 *Malezhyk I., Bandurenko G., Pisarev M., Misura T.* Innovative solutions of potato drying technology

211 *Silchuk T., Nazar M., Karpenko T., Dotsenko V.* Influence of pea fiber on biochemical processes in the dough

217 *Bondarev V., Mank V., Miroshnikov A.* Obtaining lipid complex from follicular chicken eggs using the method of hexane precipitation

223 *Sabadash N., Grabovska O.* Study of liquefied starch saccharification using β-amylase enzyme preparations

*Koroliuk T., Usatiuk S., Popova A., Cherstva A.* Technology of making walnut oil using enzyme preparation

235 *Volnyanska O., Tkach V., Podobiy O., Tolstenko U.* Determining thiabendazole content in food additive E233 and food products using electrochemical methods

УДК 633.1: 631.536.24

## **GENERALIZATION OF THE KINETICS OF THE FIRST STAGE OF FILTRATION DEHYDRATION OF FRESHLY PEELED PUMPKIN SEEDS WITH VIBRO-PNEUMATIC ACTIVATION**

**O. Tsurkan, A. Gerasimov, Y. Poljevoda**

*Vinnitsia National Agrarian University*

**T. Rimar**

*Lviv Polytechnic National University*

**O. Stanislavchuk**

*Lviv State University of Life Safety*

---

**Key words:**

*Filtration dehydration  
Kinetics  
Pumpkin seeds  
Vibrations*

**Article history:**

Received 24.12.2014

Received in revised form

13.01.2015

Accepted 07.02.2014

---

**Corresponding author:**

O. Tsurkan

**Email:**

rector@vsau.org

---

**ABSTRACT**

The dependence of critical time and speed of filtration dehydration of highlymoist freshpeeled pumpkin seeds (FPPS) on the basic parameters of the process in the first stage of drying is shown in the article. The dominant influence of pressure drop and the ratio of vertical and horizontal components of the amplitude of vibration on dehydration intensity is demonstrated. A comparison of calculated and experimental values is presented.

## **УЗАГАЛЬНЕННЯ КІНЕТИКИ 1-ГО ПЕРІОДУ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ СВІЖООЧИЩЕНОГО НАСІННЯ ГАРБУЗА З ВІБРАЦІЙНО-ПНЕВМАТИЧНОЮ АКТИВАЦІЄЮ**

**О.В. Цуркан, О.О. Герасимов, Ю.А. Полєвода**

*Вінницький національний аграрний університет*

**Т.І. Римар**

*Національний університет «Львівська політехніка»*

**О.В. Станіславчук**

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

*У статті наведено залежність критичного часу та швидкості фільтраційного зневоднення високовологого свіжоочищеного насіння гарбуза (СОНГ) у першому періоді сушіння від основних параметрів процесу. Обґрунтовано домінуючий вплив перепаду тисків і переважно вертикальних коливань на інтенсивність зневоднення. Проведено зіставлення розрахункових та експериментальних значень.*

**Ключові слова:** фільтраційне зневоднення, кінетика, насіння гарбуза, вібрації.

**Постановка проблеми.** Враховуючи харчову та лікувальну цінність гарбузового насіння і позитивні економічні показники його виробництва, намітився стійкий ріст попиту як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках, що вимагає збільшення виробництва якісного насіння. Зважаючи на це, вирішення проблеми високоефективного конкурентоспроможного виробництва посівного та харчового насіння гарбузів є актуальним завданням і потребує створення науково обґрунтованої концепції організації інтенсивного енергоощадного процесу зневоднення як найбільш енергоємної та затратної стадії виробництва, що вимагає пошуку нових рушійних та інтенсифікаційних факторів, зокрема застосування гідродинамічних (фільтраційних) і вібраційних ефектів.

Конвективне сушіння насиченого незв'язаною вологою шару СОНГ, схильного до злипання, налипання й утворення кірки, в нерухомому шарі, за аналогією із сушінням насіння злакових культур, яке знаходить застосування у значній кількості сільгоспвиробників [1, 2] погіршує кінцеві якісні показники насіння, робить процес невиправдано тривалим, а через значне подорожчання енергоносіїв особливо енергозатратним, що впливає на собівартість продукції і зменшує її конкурентоспроможність. Інтенсифікація процесу сушіння шляхом підвищення температури сушильного агента лімітується гранично допустимими температурою нагріву та швидкістю зневоднення [3, 4], перевищення яких призводять до втрати посівних і харчових якостей насіння як термолабільного матеріалу.

Застосування вібраційних технологій у процесах сушіння високовологих насінневих матеріалів, до яких висуваються вимоги збереження посівних якостей і врахування суттєвих змін їх властивостей зі зміною вологості, стримуються необхідністю теоретичних та експериментальних напрацювань, що дозволяють визначити закономірності комплексного впливу вібраційних, гідродинамічних і теплових факторів та на їх основі визначення раціональних робочих параметрів процесів і конструктивних параметрів сушильного обладнання.

**Аналіз останніх досліджень.** За результатами досліджень фільтраційного сушіння матеріалів різної природи та структури [5, 6, 7] і вивчення механізму сушіння створені математичні моделі процесу зневоднення та спроектовані відповідні сушильні агрегати. Також одержані позитивні ефекти від використання цього методу сушіння для досліджуваних матеріалів. З наукової точки зору актуальними є дослідження кінетики зневоднення високовологих термолабільних матеріалів, зокрема СОНГ, методом фільтрації теплоносія через шар матеріалу під дією перепаду тиску у напрямку поверхня матеріалу — перфорована перегородка.

Проведені дослідження гідродинаміки процесу [8] дозволили встановити залежність гідродинамічного опору від основних факторів: сушильного агента (швидкості руху, густини потоку, динамічної в'язкості теплоносія), шару матеріалу (еквівалентного діаметра МНК, висоти та неоднорідність шару), матеріалу (розміру та фактору форми насінини СОНГ), зовнішніх факторів впливу на стан шару СОНГ (віброприскорення та частоти обертів перемішувача).

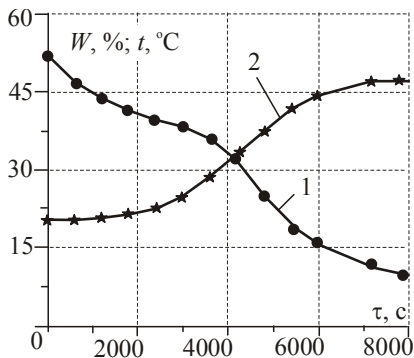
З урахуванням питомої енергоємності та продуктивності визначено раціональні значення основних параметрів процесу [8]: температуру сушильного



агента  $t_{\text{cal}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ; коефіцієнт заповнення об'єму сушильної камери  $K_3 = 0,75$ ; частота обертів перемішувача-очишувача  $n = 1,2 \text{ об/хв}$ ; віброприскорення  $A\omega^2 = 55 \text{ м/с}^2$  та визначено раціональне значення перепаду тиску над і під шаром СОНГ  $\Delta p = 1250 \text{ Па}$ .

**Мета дослідження.** Дослідження процесу фільтраційного зневоднення СОНГ та обґрунтування доцільності вібраційної активації як вагатого інтенсифікуючого чинника на основі отриманих математичних залежностей, підтвердження адекватності запропонованих моделей порівнянням аналітичних та експериментальних результатів досліджень.

**Виклад основного матеріалу.** У загальному процес фільтраційного зневоднення СОНГ, з урахуванням кута нахилу кривих залежностей (рис. 1), можна розділити на два умовних періоди.



**Рис. 1.** Зміна вологості СОНГ (крива 1) і температури шару насіння (крива 2) від тривалості фільтраційно-конвективного зневоднення в інтервалі вологості насіння 38—52 % за умов:  $K_3 = 0,75$ ;  $t_{\text{cal}} = 30^\circ\text{C}$ ;  $\Delta p = 1250 \text{ Па}$ ;  $n = 1,2 \text{ об/хв}$ ;  $A\omega^2 = 55 \text{ м/с}^2$ ;  $A_v/A_r = 2,4$

У першому періоді зневоднення СОНГ в інтервалі вологості 44—52 % характерне механічне видалення вологи з наскрізних міжнасінневих каналів (МНК) — макропор шару СОНГ та попереднє незначне прогрівання насіння. Спостерігається інтенсивне видалення вільної вологи за сталої швидкості зневоднення за рахунок гідродинамічних процесів (витіснення, зрив), так і за рахунок випаровування, тому в цьому інтервалі вологості кінетичні криві зображені прямими нахиленими лініями, кут нахилу яких залежить від швидкості проходження процесу зневоднення. На початку цієї стадії механічне винесення вологи домінує над

процесом випаровування. У процесі зневоднення інтенсивність механічного винесення вологи зменшується, а кількість випарованої вологи збільшується. Спільне проходження даних процесів відбувається таким чином, що протягом усього періоду сумарна кількість видаленої вологи за одиницю часу залишається практично постійною.

Для другого періоду фільтраційного зневоднення СОНГ у межах вологості 38—44 % характерна спадна швидкість сушіння, на кінетичних кривих (рис. 1) зображується криволінійними ділянками, кут нахилу яких свідчить про сповільнення процесу зневоднення.

Експериментальні дослідження проводились із застосуванням дослідно-промислового зразка вібраційної фільтраційно-конвективної сушарки [9]. На кінетику процесу фільтраційного зневоднення СОНГ впливають як мікро-, так і макрофактори [10], які повністю врахувати під час аналітичного опису процесу досить складно.

Для визначення значень критичних вологостей насіння  $W_{\text{кр}}$  за різної температури сушильного агента, перепаду тисків, співвідношення верти-

кальної та горизонтальної складових амплітуди вібрацій і висот шару СОНГ, а також часу сушіння у першому періоді  $\tau_{кр}$  скористаємось методом, описаним А.В. Ликовим [11], який полягає в побудові кінетичних кривих у координатах  $\lg(W - W_p) = f(\tau)$ .

За отриманими результатами експериментальних досліджень (рис. 2, 4, 6, 8) графоаналітичним методом визначили критичну вологість та час її досягнення для змінних параметрів сушильного агента й геометричних параметрів шару матеріалу (рис. 3, 5, 7, 9).

Перший і другий періоди фільтраційного сушіння СОНГ (рис. 3, 5, 7, 9) узагальнено прямими лініями, ордината точки перетину яких відповідає критичній вологості  $\lg(W_{кр})$ , а абсциса — часу сушіння СОНГ у першому періоді  $\tau_{кр}$ . Критичну вологість  $W_{кр}$  можна розрахувати за залежністю:

$$W_{кр} = 10^x + W_p, \quad (1)$$

де  $x$  — ордината точки перетину двох прямих, що відповідають першому та другому періодам фільтраційного сушіння;  $W_p$  — рівноважне значення вологості матеріалу, %.

Тривалість сушіння СОНГ у першому періоді  $\tau_{кр}$  зменшується із збільшенням співвідношення вертикальної та горизонтальної складових амплітуди вібрацій (рис. 2, 3). Так, для  $A_v/A_r = 2,4$  вона становить 1580 с, а для  $A_v/A_r = 0$  — 2510 с, значення критичної вологості становить  $W_{кр} \approx 42\%$ . Тобто надання переважно вертикальних коливань днищу сушильної камери призводить до збільшення кількості винесеної вологи з МНК та поверхні СОНГ.

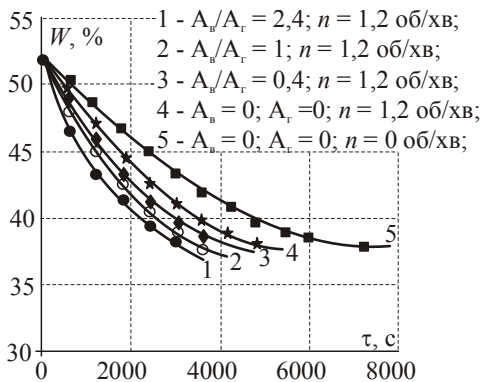


Рис. 2. Зміна вологості СОНГ від тривалості фільтраційного зневоднення за різних значень співвідношення вертикальної і горизонтальної складових амплітуди вібрацій за умов:  $A\omega^2 = 55 \text{ м/с}^2$ ;  $t_{cal} = 30^\circ\text{C}$ ;  $K_3 = 0,75$ ;  $\Delta p = 1250 \text{ Па}$

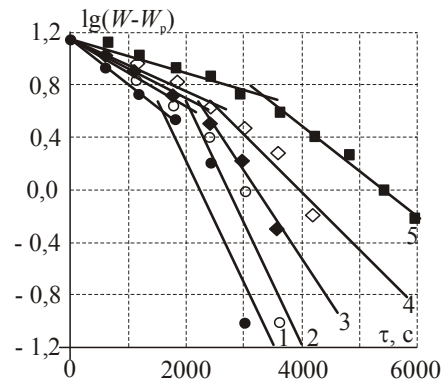
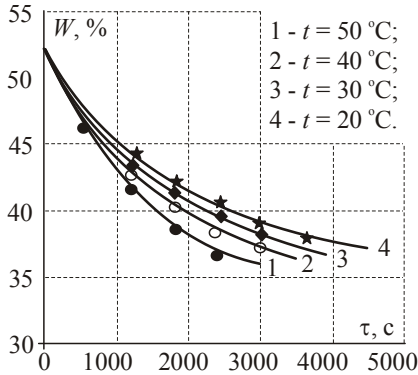


Рис. 3. Визначення критичної вологості СОНГ і часу її досягнення за різних значень співвідношення вертикальної і горизонтальної складових амплітуди вібрацій за умов:  $A\omega^2 = 55 \text{ м/с}^2$ ;  $t_{cal} = 30^\circ\text{C}$ ;  $K_3 = 0,75$ ;  $\Delta p = 1250 \text{ Па}$

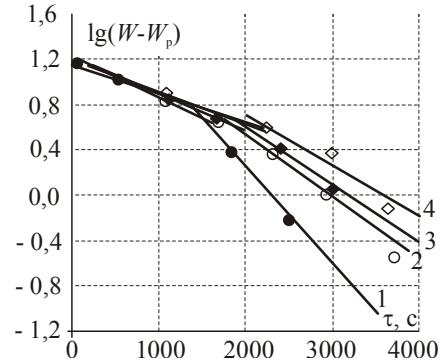
Варто зазначити, що спостерігається вплив частоти обертання перемішувача-очишувача на значення критичної вологості матеріалу: за  $n = 1,2$  об/хв —

$W_{кр} = 42,5\%$ , а за  $n = 0$  об/хв —  $W_{кр} = 43,25\%$ . Тобто спостерігається вплив зовнішніх сил перемішування на процес зневоднення СОНГ.

Збільшення температури сушильного агента (рис. 4, 5) від 20 до 50 °С (у 2,5 раза) призводить до зменшення критичного часу сушіння від 2230 до 1500 с (у 1,5 раза) і тривалості першого періоду сушіння.

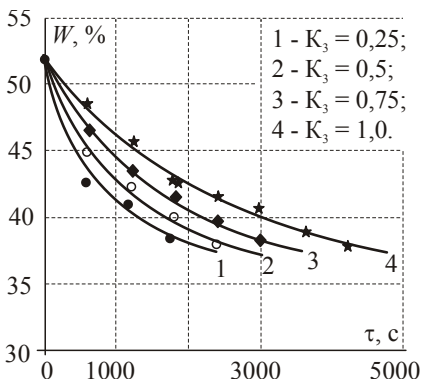


**Рис. 4.** Зміна вологості СОНГ від тривалості фільтраційного зневоднення за різних значень температури сушильного агента за умов:  $K_3 = 0,75$ ;  $\Delta p = 1250$  Па;  $n = 1,2$  об/хв;  $A\omega^2 = 55$  м/с<sup>2</sup>;  $A_b/A_r = 2,4$

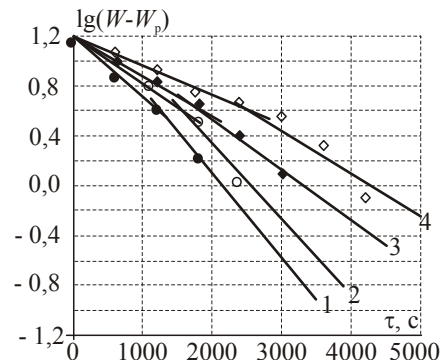


**Рис. 5.** Визначення критичної вологості СОНГ та часу її досягнення за фільтраційного зневоднення за різних значень температури сушильного агента за умов:  $K_3 = 0,75$ ;  $\Delta p = 1250$  Па;  $n = 1,2$  об/хв;  $A\omega^2 = 55$  м/с<sup>2</sup>;  $A_b/A_r = 2,4$

Збільшення коефіцієнта заповнення об'єму сушильної камери в межах  $K_3 = 0,25 \dots 0,75$ , тобто висоти шару СОНГ від 0,008 до 0,03 м (приблизно утричі) (рис. 6, 7) за критичної вологості  $W_{кр} = 41,07\%$  призводить до збільшення часу її досягнення від 1250 до 2500 с (удвічі).



**Рис. 6.** Зміна вологості СОНГ від тривалості фільтраційного зневоднення за різних значень коефіцієнта заповнення  $K_3$  сушильної камери за умов:  $t_{cal} = 30^\circ\text{C}$ ;  $\Delta p = 1250$  Па;  $n = 1,2$  об/хв;  $A\omega^2 = 55$  м/с<sup>2</sup>;  $A_b/A_r = 2,4$



**Рис. 7.** Визначення критичної вологості СОНГ і часу її досягнення за фільтраційного зневоднення за різних значень коефіцієнта заповнення  $K_3$  сушильної камери за умов:  $t_{cal} = 30^\circ\text{C}$ ;  $\Delta p = 1250$  Па;  $n = 1,2$  об/хв;  $A\omega^2 = 55$  м/с<sup>2</sup>;  $A_b/A_r = 2,4$

Зростання перепаду тисків над і під шаром СОНГ від 750 до 1750 Па (у 2,33 раза) за критичної вологості  $W_{кр} \approx 41,4\%$  призводить до зменшення часу її досягнення від 3440 до 1450 с (у 2,37 раза). Варто зазначити, що у діапазоні зміни перепаду тиску 1250—1750 Па (у 1,4 раза) сприяє зменшенню часу сушіння від 1650 до 1450 с (у 1,14 раза); а на ділянці перепаду тисків у діапазоні 750—1250 Па зростання перепаду тиску у 1,67 раза має більш інтенсивніший вплив на кінетику процесу (тривалість досягнення критичної вологості зменшується від 3440 до 1650 с (у 2,08 раза).

Швидкість сушіння у першому періоді визначається як тангенс кута нахилу кінетичних кривих, що відповідають ділянці першого періоду. Для визначення тривалості сушіння у першому періоді наведено графічну залежність критичного часу сушіння  $\tau_{кр}$  від швидкості сушіння  $N$  у першому періоді (рис. 8) згідно з виразом:

$$\tau_{кр} = \tau_1 = \frac{28,1}{N^{0,83}} \quad (2)$$

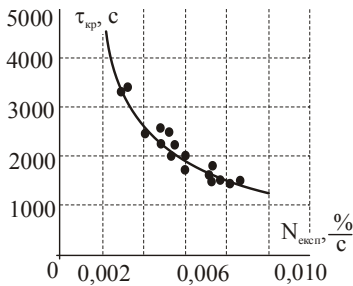


Рис. 8. Залежність швидкості сушіння ( $N$ ) у першому періоді СОНГ від критичного часу фільтраційного зневоднення

Швидкість фільтраційного зневоднення СОНГ у першому періоді залежить від параметрів процесу сушіння, тобто від температури сушильного агента, висоти шару матеріалу (коефіцієнта заповнення сушильної камери  $K_3$ ), перепаду тисків над і під шаром матеріалу та значень співвідношення вертикальної й горизонтальної складових амплітуди вібрацій:  $N = f(t, A_B/A_T, H, \Delta p)$ . Таку залежність можна представити у загальному вигляді рівнянням [12]:

$$N = A \cdot T^m \cdot \left( \frac{A_B}{A_T} \right)^n \cdot H^k \cdot \Delta p^h \quad (3)$$

Коефіцієнт  $A$  та показники степеня  $m, n, k, h$  визначені в результаті розв'язку системи з п'яти рівнянь, одержаних на основі експериментальних даних:

$$\begin{cases} N_1 = A \cdot t_1^m \cdot \left( \frac{A_B}{A_T} \right)_1^n \cdot H_1^k \cdot \Delta p_1^h \\ N_2 = A \cdot t_2^m \cdot \left( \frac{A_B}{A_T} \right)_2^n \cdot H_2^k \cdot \Delta p_2^h \\ N_3 = A \cdot t_3^m \cdot \left( \frac{A_B}{A_T} \right)_3^n \cdot H_3^k \cdot \Delta p_3^h \\ N_4 = A \cdot t_4^m \cdot \left( \frac{A_B}{A_T} \right)_4^n \cdot H_4^k \cdot \Delta p_4^h \\ N_5 = A \cdot t_5^m \cdot \left( \frac{A_B}{A_T} \right)_5^n \cdot H_5^k \cdot \Delta p_5^h \end{cases} \quad (4)$$

Логарифмуючи (4), отримаємо:

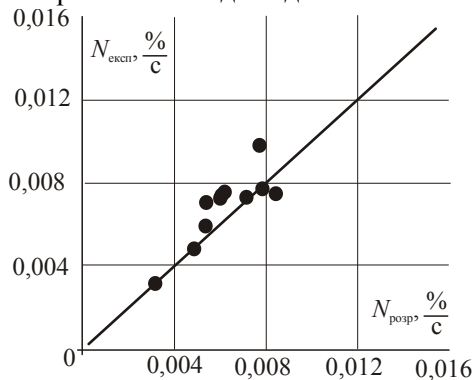
$$\begin{cases} \lg N_1 = \lg A + m \cdot \lg t_1 + n \cdot \lg \left( \frac{A_b}{A_r} \right)_1 + k \cdot \lg H_1 + h \cdot \lg \Delta p_1 \\ \lg N_2 = \lg A + m \cdot \lg t_2 + n \cdot \lg \left( \frac{A_b}{A_r} \right)_2 + k \cdot \lg H_2 + h \cdot \lg \Delta p_2 \\ \lg N_3 = \lg A + m \cdot \lg t_3 + n \cdot \lg \left( \frac{A_b}{A_r} \right)_3 + k \cdot \lg H_3 + h \cdot \lg \Delta p_3 \\ \lg N_4 = \lg A + m \cdot \lg t_4 + n \cdot \lg \left( \frac{A_b}{A_r} \right)_4 + k \cdot \lg H_4 + h \cdot \lg \Delta p_4 \\ \lg N_5 = \lg A + m \cdot \lg t_5 + n \cdot \lg \left( \frac{A_b}{A_r} \right)_5 + k \cdot \lg H_5 + h \cdot \lg \Delta p_5 \end{cases} \quad (5)$$

Підставляючи відповідні значення заданих величин у (5) і розв'язуючи систему рівнянь, отримали коефіцієнт  $A = 3,9 \cdot 10^{-8}$  та показники степеня  $m = 0,048$ ;  $n = 0,22$ ;  $k = -0,17$ ;  $h = 1,62$ , а швидкість зневоднення у першому періоді залежно від зміни параметрів процесу можна розрахувати за залежністю:

$$N = 3,9 \cdot 10^{-8} \cdot t^{0,048} \cdot \left( \frac{A_b}{A_r} \right)^{0,22} \cdot H^{-0,17} \cdot \Delta p^{1,62}. \quad (6)$$

Порівняння розрахункових (за рівнянням (6)) та експериментальних значень швидкості фільтраційного зневоднення СОНГ у першому періоді сушіння наведено на рис. 9.

Отже, із зростанням перепаду тисків над і під шаром дисперсного матеріалу, температури теплоносія та співвідношення вертикальної і горизонтальної складових амплітуди вібрацій  $A_b/A_r$ , швидкість сушіння у першому періоді зростає, а із збільшенням висоти шару матеріалу (коефіцієнта заповнення сушильної камери) зменшується, що підтверджують численні експериментальні дослідження.



**Рис. 9. Порівняння розрахункових (за рівнянням (6)) та експериментальних значень швидкості фільтраційного зневоднення СОНГ у першому періоді сушіння**

Крім того, варто зазначити, що вплив перепаду тисків і відношення  $A_b/A_r$  на швидкість зневоднення СОНГ у першому періоді домінує порівняно з температурою сушильного агента. Аналізуючи рівняння (6), можна зробити висновок, що швидкість зневоднення СОНГ у першому періоді пропорційна перепаду тиску над і під шаром матеріалу у 1,64 степені ( $t \sim \Delta p^{1,62}$ ), що у 34 рази більше, ніж вплив температури сушильного агента, яка є пропорційною швидкості зневоднення  $N$  у 0,048 степені.

### Висновки

1. За отриманими результатами експериментальних досліджень графоаналітичним методом, описаним А.В. Ликовим, визначено критичну вологість і час її досягнення для змінних параметрів сушильного агента та геометричних параметрів шару матеріалу.

2. Отримано залежність швидкості фільтраційного зневоднення СОНГ у першому періоді від основних параметрів процесу, тобто від температури сушильного агента, висоти шару матеріалу (коефіцієнта заповнення сушильної камери  $K_3$ ), перепаду тисків над і під шаром матеріалу та значень співвідношення вертикальної й горизонтальної складових амплітуди вібрацій.

3. Аналіз отриманих рівнянь свідчить, що вплив перепаду тисків і відношення  $A_B/A_T$  на швидкість зневоднення СОНГ у першому періоді домінують порівняно з температурою сушильного агента, зокрема швидкість зневоднення СОНГ у першому періоді пропорційна перепаду тиску над і під шаром матеріалу у 1,64 степені ( $t \sim \Delta p^{1,62}$ ), що у 34 рази більше, ніж вплив температури сушильного агента, яка є пропорційною швидкості  $N$  у 0,048 степені.

4. На основі експериментальних даних у результаті розв'язку системи з чотирьох рівнянь визначені коефіцієнти та степеневі показники для узагальнення результатів дослідження кінетики процесу фільтраційного зневоднення СОНГ.

5. Отримані рівняння надають можливість прогнозувати процес зневоднення СОНГ, а також спроектувати сушильне обладнання відповідно до конкретних гідродинамічних і кінетичних умов процесу.

6. Зіставлення розрахункових та експериментальних значень швидкості фільтраційного зневоднення СОНГ у першому періоді сушіння підтверджує їх адекватність.

### Література

1. *Лихацький В.І.* Баштанництво. Навчальний посібник / В.І. Лихацький. — К.: Вища школа, 2002. — 166 с.

2. *Голубкович А.В.* Сушка высоковлажных семян и зерна / А.В. Голубкович, А.Г. Чижигов. — М.: Росагропромиздат, 1991. — 173 с.

3. *Коненков П.Ф.* Температурные режимы сушки семян бахчевых культур / П.Ф. Коненков, К.Ж. Сейтбаев // Селекция и семеноводство. — 1990. — № 3. — С. 47—49.

4. *Голубкович А.В.* Технологические основы сушки высоковлажных семян овощных и бахчевых культур с обеспечением высокого качества: дис. на соиск. науч. степени докт. техн. наук: 05.20.01 / А.В. Голубкович. — Москва, 1989. — 234 с.

5. *Ханик Я.М., Римар Т.І., Гузьова І.О.* Сушіння дисперсних матеріалів в умовах фільтрації теплоносія // Збірник наукових праць III Всеукраїнської науково-практичної конференції «Теорія і практика сучасного природознавства». — Херсон: П.П. Вишемирський, 2007. — С. 88—90.

6. *Атаманюк В.М.* Гідродинаміка і тепломасообмін під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів: дис. доктора техн. наук: 05.17.08 / Атаманюк Володимир Михайлович. — Львів, 2007. — 312 с.

7. Ханик Я.М., Станіславчук О.В., Дулеба В.П. Энергозбереження і технологічні особливості сушіння біологічно-активних продуктів // Тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми управління якістю підготовки фахівців-екологів у світлі інтеграції освіти України в європейський простір та перспективні природоохоронні технології”. — Львів. — 2003. — С. 68.

8. Цуркан О.В. Гідродинаміка процесу фільтраційного зневоднення свіжоочищеного насіння гарбуза з вібраційною активацією / О.В. Цуркан, О.О. Герасимов, Т.І. Римар, О.В. Станіславчук // Вібрації в техніці і технологіях. — 2014. — № 2 (74). — С. 147—149.

9. Патент 79839 U Україна, МПК<sup>51</sup> F 26 B 17/00. Спосіб сушіння / Цуркан О.В., Коц І.В., Герасимов О.О., Горбатюк В.А.; заявник і патентовласник Вінницький національний аграрний університет. — № а201215176; заявл. 29.12.12; опубл. 13.05.13, Бюл. № 9.

10. Ткаченко И.М. Семена овощных и бахчевых культур. / И.М. Ткаченко, Д.А. Ткаченко. — М.: Колос, 1997. — 140 с.

11. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. — М.: Энергия, 1968. — 472 с.

12. Касаткин Л.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. / Л.Г. Касаткин. — М.: Химия, 1971. — 783 с.

## **ОБОБЩЕНИЕ КИНЕТИКИ 1-ГО ПЕРИОДА ФИЛЬТРАЦИОННОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ СВЕЖЕОЧИЩЕННЫХ СЕМЯН ТЫКВЫ С ВИБРАЦИОННО-ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИЕЙ**

**О.В. Цуркан, А.А. Герасимов, Ю.А. Полевода**

*Винницкий национальный аграрный университет*

**Т.И. Римар**

*Национальный университет «Львовская политехника»*

**А.В. Станіславчук**

*Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности*

*В статье приведена зависимость критического времени и скорости фильтрационного обезвоживания высоковлажных свежоочищенных семян тыквы (СОНГ) в первом периоде сушки от основных параметров процесса. Обосновано доминирующее влияние перепада давлений и преимущественно вертикальных колебаний на интенсивность обезвоживания. Проведено сопоставление расчетных и экспериментальных значений.*

**Ключевые слова:** *фильтрационное обезвоживание, кинетика, семена тыквы, вибрации.*