

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОГРЕСИВНИХ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ГІДРОБІОНТІВ

**Г.В. Дейниченко, Ю.В. Карнаушенко, В.В. Гузенко,
Ю.І. Мар'єнков**

Висвітлено питання щодо існуючих прогресивних процесів сушіння гідробіонтів. Надано порівняльну характеристику різних способів сушіння нерибних продуктів моря. Запропоновано шляхи вдосконалення способів та обладнання з метою розробки енергозберігаючої технології сушіння гідробіонтів. Визначено переваги запропонованого способу інтенсифікації сушіння гідробіонтів.

Ключові слова: гідробіонти, процес, сушіння, псевдозрідження, шар, осцилювання, вібрація.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРОГРЕССИВНЫХ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ГИДРОБИОНТОВ

**Г.В. Дейниченко, Ю.В. Карнаушенко, В.В. Гузенко,
Ю.И. Марьенков**

Освещен вопрос существующих прогрессивных процессов сушки гидробионтов. Представлена сравнительная характеристика различных способов сушки нерыбных продуктов моря. Предложены пути совершенствования способов и оборудования с целью разработки энергосберегающей технологии сушки гидробионтов. Определены преимущества предложенного способа интенсификации сушки гидробионтов.

Ключевые слова: гидробионты, процесс, сушка, псевдоожигение, слой, осциллирование, вибрация.

ANALYTICAL REVIEW OF PROGRESSIVE DRYING PROCESSES FOR HYDROBIONTS

**G.V. Dejnichenko, Y.V. Karnaushenko, V.V. Guzenko,
Y.I. Marenkov**

This article is devoted to the questions of the advanced process for drying hydrobionts. The analysis of theoretical researches concerning different methods of drying hydrobionts is presented. Specific features of technological and physical-chemical properties of hydrobionts during drying in a fixed layer, and the influence of temperature regimes on qualitative indicators of a dried product are considered.

The prospective of applying the method of vibration for drying hydrobionts at the use of fluidized layer with oscillation is formulated. The improvement of the

process and equipment for drying heat-labile shellfish and algae via the process of drying in a fluidizing layer with the vibration will allow intensify the drying process, increase the yield of the dried products and improves quality characteristics of the end product.

Keywords: *hydrobionts, process, drying, fluidization, layer, oscillation, vibration.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Одним із найпоширеніших методів консервування продукції є сушіння. Проте часом сушіння нерибних морепродуктів (гідробіонтів) є несистемним і малодослідженим. Існують відомості про спроби застосувати сушіння для виробництва сушеного криля, кальмара, рибної крупки та муки з мідій, що дали позитивні результати. Роботи в цьому напрямі проводились на підприємствах Далекого Сходу (Росія), м. Одеси (Україна). Одним із завдань рибообробних підприємств є впровадження прогресивних технологій, які дозволять отримувати сушені продукти з гідробіонтів зі збереженням показників їхньої якості [1].

На особливу увагу заслуговують технології сушеної продукції з нерибних морепродуктів. Сушіння продукту дозволяє забезпечити перевезення товару до місця призначення, не вимагаючи спеціального морозильного обладнання, а також тривалий термін зберігання із збереженням показників якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сушіння застосовують у різних галузях народного господарства, проте техніка сушіння залишається проблемною галуззю, оскільки в разі недосушування або в разі пересушування вихідний матеріал може бути зіпсований. Особливо актуальна ця проблема за умов сушіння високовологих матеріалів, оскільки саме вони потребують значних енерговитрат і в більшості технологічних процесів ця операція є найбільш високовартісною [2].

Незважаючи на різноманітність технологій виробництва консервів і кулінарних виробів із гідробіонтів, промислові технології сушіння кальмара, рибного фаршу, м'яса крилю та мідії недостатньо вивчені, що й має стати перспективою в подальшому науковому пошуку [3].

Особливо актуальним напрямом переробки є сушіння гідробіонтів у псевдозрідженому та віброкиплячому шарі, що дозволяє отримувати сушений продукт із високими показниками якості.

Мета статті – є аналіз і характеристика переваг та недоліків використання прогресивних методів сушіння харчових продуктів та

визначення подальших напрямів розробки ресурсозбережного способу та обладнання для сушіння гідробіонтів.

Виклад основного матеріалу дослідження. У переробній промисловості використовують різні способи штучного зневоднення харчових продуктів: конвективний, кондуктивний, радіаційний, струмом високої частоти, сублімаційний, сушіння у псевдозрідженому та віброкиплячому шарі, сушіння змішаним теплопідведенням.

Найбільш прийнятними способами консервування м'яса гідробіонтів є стерилізація, заморожування і сушіння. Найменш дослідженим способом консервування м'яса гідробіонтів залишається його сушіння.

Специфічною особливістю сушіння гідробіонтів (у тому числі м'яса нерибних морепродуктів), обумовленою їх хімічним складом, є термочутливість, яка обмежує можливість застосування підвищених температур для нагрівання матеріалу.

Якість кінцевого продукту багато в чому залежить від властивостей вихідної сировини. Гідробіонти, що піддаються сушінню, мають бути свіжовилловленими, промитими чистою водою, варено-мороженими, потім розмороженими й попередньо підсушеними повітрям, нагрітим до температури не вище 40° С, для запобігання злипанню шматків м'яса гідробіонтів між собою. Втрата деяких показників якості м'яса гідробіонтів після сушіння, зокрема зменшення вмісту термолабільних складових, є неминучим унаслідок тривалого термічного впливу та взаємодії з киснем повітря. Попередня обробка продукту перед сушінням може суттєво знизити ці небажані процеси.

Для сушіння термолабільних матеріалів використовуються сублімаційні сушильні установки, які дозволяють максимально зберегти харчосмакові переваги сировини й отримати сушений продукт низького вологовмісту з високим ступенем відновлення ($\leq 95\%$), проте це вимагає значних енерговитрат. Одним із способів зниження енерговитрат за сублімаційного сушіння є вакуумне концентрування, яке включає в себе комбінований вакуум-сублімаційний спосіб сушіння [4].

Одним із прогресивних способів зневоднення є сушіння змішаним теплопідведенням (ЗТП-сушіння). Сировина, що зазнає зневоднення розміщується в так званих функціональних емностях, виготовлених з твердого газонепроникного матеріалу. У результаті чого більша частина зовнішньої поверхні сировини ізольована за потоком маси від навколишнього середовища, а масообмін відбувається лише з боку торцевих поверхонь сировини, які

безпосередньо контактують з сушильним агентом. Дослідження цього способу показали, що особливістю процесу сушіння є його критичність, за якої ЗТП-сушіння блокується, тобто значно збільшується тривалість процесу зневоднення матеріалу. За низьких швидкостей сушильного агента і температури сушіння зменшується коефіцієнт тепловіддачі, виникає нестача тепла для підтримування умов випаровування у функціональній ємності [5].

Ученими Керченського державного технологічного університету були проведені дослідження сушіння гідробіонтів такими способами:

- 1) у нерухомому шарі;
- 2) у киплячому шарі на нерухомій сітці;
- 3) у віброкиплячому шарі [6; 7].

Недоліком першого варіанта є те, що сушіння є тривалим, саме тому відбувається небажаний вплив ферментів, які містяться в м'ясі крилю, що призводить до погіршення властивостей продукту.

Другий варіант відрізняється швидкістю процесу сушіння м'яса крилю. Недоліком є циклічність і те, що під час сушіння м'ясо гідробіонтів необхідно перемішувати.

Третій варіант сушіння м'яса гідробіонтів враховує недоліки першого та другого варіантів і вимагає досліджень із вибору частоти коливань.

Оцінюючи результати досліджень, можна зробити висновок про те, що високобілковий продукт харчування – м'ясо гідробіонтів – може бути законсервований шляхом сушіння в середовищі киплячого шару.

Тож перспективним напрямом у проектуванні прогресивного сушильного обладнання є створення апаратів з активними гідродинамічними режимами, в яких досягається значна інтенсифікація процесів тепло- і масообміну. До найбільш ефективних апаратів із такими режимами роботи належать сушарки псевдозрідженого шару різних модифікацій. Аналіз основних закономірностей гідродинаміки, тепло- і масообміну за умов сушіння дисперсної продукції в псевдозрідженому стані дозволив зробити висновок, що найбільш повно позитивні властивості псевдозрідженого шару, як технологічного методу, що враховує термолабільність і грудкування м'яса гідробіонтів, можуть бути використані за періодичного режиму процесу [8].

Очевидно, що найбільш ефективним способом конвективного сушіння м'яса мідій у псевдозрідженому шарі можна вважати проведення його в установці періодичного режиму сушіння з безперервною організацією процесу транспортування твердої фази.

Широко застосовуються змінні режими сушіння, що дозволили збільшити інтенсивність процесу зі зниженням витрат тепла та отримання продукції високої якості. Цей спосіб організації сушіння в псевдозрідженому шарі забезпечує поєднання позитивних властивостей періодичного та безперервного сушіння й відповідає сучасним вимогам, що ставляться до процесу сушіння м'яса гідробіонтів. Застосування такого способу можливе шляхом проведення сушіння в камері установки й одночасно витримуванням продукту в зоні відстою (відлежка).

М'ясо нерибних морепродуктів являє собою колоїдний капілярно-пористий матеріал, і сушіння його ускладнене біохімічними перетвореннями, що лежать в основі формування властивостей продукту, що визначають терміни та умови зберігання, показники якості, які у свою чергу лімітуються глибиною гідротермічного розпаду основних речовин – білків, жирів і вуглеводів.

З огляду на викладене вище, урахувуючи переваги й недоліки способів сушіння, а також специфічні властивості м'яса гідробіонтів (схильність вологого м'яса до грудкування, термолабільність, у міру висушування до кінцевої вологості схильність до тріщин і деформації, втрата сухих речовин за умов тривалого сушіння), зазначимо, що необхідний пошук раціональної технології сушіння м'яса гідробіонтів. Тож подальшою метою є вдосконалення процесу сушіння вологого матеріалу в умовах режиму, за якого матеріал періодично піддається впливу сушильного агента (осцилюючий режим). Такий метод сушіння має низку цінних властивостей, які доцільно використовувати в сушильній справі.

Незважаючи на значні переваги сушіння продуктів у псевдозрідженому шарі порівняно з сушінням у нерухомому шарі, йому притаманні й недоліки. Один із головних недоліків киплячого шару – неоднорідність псевдозрідження. У випадку сушіння схильних до злипання продуктів (зокрема, м'ясо гідробіонтів) у шарі утворюються канали, крізь які спрямовується, фактично не контактуючи з матеріалом, значна частина сушильного агента [9].

Відповідно, у разі глибокого сушіння гідробіонтів, особливо термолабільних, виникає необхідність у розробці сушарок, подібних за гідродинамічною моделлю до апаратів ідеального витиснення з регульованим у широкому діапазоні часом перебування продукту в апараті. Найбільш близькі до цих вимог вібраційні сушильні установки, в яких стійкий гідродинамічний режим і напрям переміщення матеріалу створюються за рахунок вібрації та продування відносно невеликої кількості газу [10].

Віброкиплячий шар утворюється або під дією вібраційних коливань матеріалу (теплопідведення до матеріалу може здійснюватися ІЧ-променями чи контактним способом), або поєднанням вібрації газорозподільної решітки з продуванням крізь її отвори гарячого повітря (конвективний метод сушіння). Сушильні установки віброкиплячого шару компактні, вони забезпечують гарне перемішування, турбулізацію межового шару та транспортування матеріалу. У цих установках відсутній винос матеріалу, легко регулюється тривалість його сушіння, забезпечується стає «кипіння» за значно менших швидкостей повітря.

Інтенсифікація процесу сушіння під час вібрації сипкого матеріалу відбувається не тільки внаслідок розпушування шару продукту та збільшення його активної поверхні з сушильним агентом, але й за рахунок зростання коефіцієнтів тепло- і масообміну в ході вібрації окремих часток.

Результати теоретичних досліджень дозволили визначити такі основні переваги застосування процесу сушіння у віброкиплячому режимі:

- збільшення періоду постійної швидкості сушіння відносно загальної тривалості процесу;
- інтенсивне виділення вологи з постійним поновленням поверхні вологообміну;
- зменшення опору проходження газу крізь матеріал;
- можливість регулювання параметрів вібрації гідродинамічних та теплових режимів на всіх стадіях процесу сушіння й охолодження (відлежування);
- зменшення питомих енерговитрат на проведення процесу.

Висновки. Таким чином, актуальним напрямом переробки м'яса гідробіонтів є сушіння в активному аеродинамічному шарі (псевдозрідженому), що дозволяє отримувати сушений продукт із високими показниками якості. Гідробіонти (нерибні морепродукти) є собою термолабільним продуктом, і його перегрів неприпустимий. Сушіння м'яса гідробіонтів у псевдозрідженому шарі забезпечує рівномірне нагрівання продукту до допустимих температур. Удосконалення процесу сушіння гідробіонтів у псевдозрідженому шарі із застосуванням вібрації дозволяє обробляти сировину безпосередньо в місцях видобутку, підвищувати її якість, надає змогу збільшити вихід сушеного продукту та розширює його асортимент.

Розробка й дослідження нових способів та обладнання для здійснення процесу сушіння у віброкиплячому шарі надасть можливість визначити оптимальні параметри проведення процесу,

правильний вибір яких сприятиме покращенню якості вихідної продукції, підвищить ресурсозбереження та інтенсивність процесу сушіння.

Список джерел інформації / References

1. Дейниченко Г. В. Мідії – сировина для виробництва продукції підвищеної харчової цінності / Г. В. Дейниченко, О. І. Звегенцев, Ю. В. Карнаушенко // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. праць. – Донецьк : Дон. нац. ун-т екон. і торг. ім. М. Туган-Барановського, 2013. – Вип. 31. – С. 242–248.

Dejnichenko, G.V., Zvegintsev, O.I., Karnaushenko, Yu.V. (2013), “Mussels as a raw material for high food value production”, *Equipment and technologies of food production* [“Midiyi – syrovyna dlya vyrobnytstva produktsiyi pidvyshchenoyi kharchovoyi tsinnosti”, *Obladnannya ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv: temat. zb. nauk. prats'*], Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Donetsk, Vol. 31, pp. 242–248.

2. Берник П. С. Технологічні випробування вібраційної сушарки / П. С. Берник, А. Б. Навсіковський // Вісник Полтавської аграрної академії. – 2006. – № 4. – С. 17–19.

Bernik, P.S. Navsikovsky, A.B. (2006), “Technological testing of vibration dryer”, *Journal of Poltava Agrarian Academy* [“Tekhnolohichni vyprobuvannya vibratsiynoyi susharky”, *Visnyk poltavskoyi ahrarnoyi akademiyi*], № 4, pp. 17–19.

3. Дейниченко Г. В. Сушіння гідробіонтів у псевдозрідженому шарі / Г. В. Дейниченко, Ю. В. Карнаушенко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць. – Х. : ХДУХТ, 2013. – Вип. 2 (18). – С. 64–69.

Dejnichenko, G.V., Karnaushenko, Yu.V. (2013), “Drying aquatic in fluidized bed”, *Advanced equipment and technology of food production and trade of restaurants* [“Sushynnya hidrobiontiv u psevdozridzhenomu shari”, *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli : zb. nauk. prats'*], Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Vol. 2 (18), pp. 64–69.

4. Кретов И. Т. Вакуумное концентрирование, как способ снижения энергозатрат при сублимационной сушке / И. Т. Кретов, С. Т. Антипов, Г. И. Мосолев // Физико-химические основы пищевых и химических процессов : Всерос. науч.-практ. конф. : тез. докл. – Воронеж, 1996. – 135 с.

Kretov, I.T., Antipov, S.T., Mosolev, G.I. (1996), Vacuum concentration, as a method for reducing power consumption in a freeze-dried: *Russian Scientific Conference* [“Vakuumnoe koncentrirovaniye, kak sposob snizheniya jenergoztrat pri sublimacionnoj sushke”, *Fiziko-himicheskie osnovy pishhevyyh i himicheskikh processov: Vseros. nauchn. prakt. konf. : tez. dokl.*], Voronezh, 135 p.

5. Цуркан Н. М. Разработка рациональных режимов производства сушеного быстровостанавливаемого картофеля : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Цуркан Николай Михайлович ; Харьк. гос. ун-т питания и торговли.

– X., 2000. – 211 с.

Curkan, N.M. (2000), *Development of efficient modes of production recovered quickly dried potatoes [Razrabotka racional'nykh rezhimov proizvodstva sushenogo bystrosvosstanavlivaemogo kartofelja: dis. ... kand. techn. nauk]*, Kharkiv, 211 p.

6. Звєгинцев А. И. Интенсификация процессов сушки и вяления продуктов (мясо- и панцирьсодержащие отходы), получаемых при комплексной переработке антарктической креветки (криля) : дис. ... канд. техн. наук / Звєгинцев А. И. – Одесса, 1986. – 157 с.

Zvegincev, A.I. (1986), *Intensification of the processes of drying and curing products (meat and shell containing waste) generated at complex processing antarctic shrimp (krill) [Intensifikacija processov sushki i vyalenija produktov (m'jaso i pancir'soderzhashhie othody), poluchaemyh pri kompleksnoj pererabotke antarkticheskoy krevetki (krilja): dis. ... kand. techn. nauk]*, Odessa, 157 p.

7. Карнаушенко Ю. В. Удосконалення процесу сушіння м'яса мідії у псевдозрідженому шарі із застосуванням осцилювання та його апаратне оформлення : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю. В. Карнаушенко. – X., 2012. – 18 с.

Karnaushenko, Yu.V. (2012), *Improving the process of drying the meat of mussels in a fluidized bed using ostsylyuvannya and its hardware design: Author's thesis [Udoskonalennya protsesu sushinnya m'jasa midiyi u psevdozridzhenomu shari iz zastosuvannyam ostsylyuvannya ta yoho aparaturne oformlennya: avtoref. dis. ... kand. polit. nauk]*, Kharkiv, 18 p.

8. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / [І. С. Гулій, М. М. Пушанко, Л. О. Орлов та ін.] ; під ред. І. С. Гулого. – Вінниця : Нова книга, 2001. – 576 с.

Gulii, I.S., Pushanko, M.M., Orlov, L.O., Myronchuk, V.H., Ukrainets', A.I., Lisovenko, O.T., Taran, V.M., Hutsalyuk, V.M., Yarovyuy, V.L., Lytovchenko, I.M., Pushanko, N.M. (2001), *“Equipment of processing and food industry”*, [“Obladnannya pidpryemstv pererobnoyi y kharchovoyi promyslovosti ”]. Nova knyha, Vinica, P. 576.

9. Поперечний А. М. Конвективне сушіння топінамбура і плодів глоду у віброкиплячому шарі / А. М. Поперечний // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. праць. – Донецьк : Дон. нац. ун-т екон. і торг. ім. М. Туган-Барановського, 2003. – Вип. 8. – С. 164–172.

Poperechny, A.M. (2003), *“Convective drying artichoke and hawthorn berries in vibro fluidized bed”*, *Equipment and technologies of food production* [“Konvektyvne sushinnya topinambura i plodiv hlodu u vibrokyplyachomu shari”], *Obladnannya ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv : temat. zb. nauk. prats'*, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Donetsk, Vol. 8, pp. 164–172.

10. Сажин Б. С. Аппараты с активными гидродинамическими режимами для сушки дисперсных волокнообразующих полимеров / Б. С. Сажин. – М. : МТИ, 1987. – 43 с.

Sagin, B.S. (1987), *“Devices with active hydrodynamic regimes for drying of dispersed fiber-forming polymers”* [*“Apparaty s aktivnymi gidrodinamicheskimi rezhimami dlja sushki dispersnyh voloknoobrazujushhih polimerov”*], publishing house MTI, Moscow, P. 43.

Дейниченко Григорій Вікторович, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: deynichenkov@rambler.ru.

Дейниченко Григорій Вікторович, д-р техн. наук, професор, зав. кафедрой оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М.И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адресс: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: deynichenkov@rambler.ru.

Deynichenko Gregory, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Kharkov State University of Food Technology and Trade, Department equipment for food and hotel industry after M.I. Belyaeva. Address: Klochkovska str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: deynichenkov@rambler.ru

Карнаушенко Юлія Вікторівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра харчових і рибопереробних виробництв, Керченський державний морський технологічний університет. Адреса: вул. Орджонікідзе, 82, м. Керч, Україна, 98300. Тел.: (06561) 3-42-46; e-mail: yuliyakgmtu@mail.ru.

Карнаушенко Юлия Викторовна, канд. техн. наук, доцент, кафедра пищевых и рибоперерабатывающих производств, Керченский государственный морской технологический университет. Адресс: ул. Орджоникидзе 82, г. Керч, Украина, 98300. Тел.: (06561) 3-42-46; e-mail: yuliyakgmtu@mail.ru.

Karnaushenko Yuliya, Cand. Sci. (Tech.), docent, Department of Food and fish processing production, Kerch State Maritime Technological University. Address: Ordzhonikidze str., 31, Kerch, Ukraine, 98300. Tel.: (06561) 3-42-46; e-mail: yuliyakgmtu@mail.ru.

Гузенко Василь Володимирович, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56, e-mail: Peresada_7@mail.ru.

Гузенко Василий Владимирович: канд. техн. наук, ст. науч. сотруд., кафедра оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М.И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адресс: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: Peresada_7@mail.ru.

Guzenko Vasilii, Cand. Sci. (Tech.), senior researcher of Scientific and research sector HSUFTT, Department equipment for food and hotel industry after

M.I. Belyaeva, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovska str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: Peresada_7@mail.ru.

Мар'єнков Юрій Ігорович, магістрант, кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56, e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Марьєнков Юрий Игоревич, магістрант, кафедра обладнання харчової та готельної індустрії ім. М.И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адресс: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Marenkov Jurij, master student, Department equipment for food and hotel industry after M.I. Belyaeva, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovska str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.
Отримано 15.03.2014. ХДУХТ, Харків.*