

**Ющенко Наталія Михайлівна**, канд. техн. наук, доц., кафедра технології молока та молочних продуктів, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 04033. E-mail: yumm\_nuft@ukr.net.

**Ющенко Наталья Михайловна**, канд. техн. наук, доц., кафедра технологии молока и молочных продуктов, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 04033. E-mail: yumm\_nuft@ukr.net.

**Yushchenko Natalia**, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), Associate Professor, Department of Technology of Milk and Milk Products, Kyiv National University of Food Technologies. Address: Vladimirskaya str., 68, Kyiv, Ukraine, 04033. E-mail: yumm\_nuft@ukr.net.

**Белемец Тетяна Олександрівна**, асп., кафедра технології молока та молочних продуктів, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 04033. E-mail: Tatiana\_Belemets@i.ua.

**Белемец Татьяна Александровна**, асп., кафедра технологии молока и молочных продуктов, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Владимирская, 68, г. Киев, Украина, 04033. E-mail: Tatiana\_Belemets@i.ua.

**Belemets Tatiana**, Postgraduate student, Department of Technology of Milk and Milk Products, Kyiv National University of Food Technologies. Address: Vladimirskaya str., 68, Kyiv, Ukraine, 04033. E-mail: Tatiana\_Belemets@i.ua.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. Ф.В. Перцевим, д-ром техн. наук, проф. В.М. Пасічним, канд. техн. наук Ю.В. Камбуловою. Отримано 1.08.2015. ХДУХТ, Харків.*

УДК 621.664.741

## **ДВОХЕТАПНЕ ВИПІКАННЯ ХЛІБА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОМІЖНОГО ВАКУУМНО-ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ**

**О.В. Ковальов, І.М. Миколів, Є.М. Бабко, Р.Л. Якобчук**

*Розглянуто й охарактеризовано «двохетапне» випікання з використанням проміжного вакуумно-випарного охолодження, що дає змогу допікати хліб безпосередньо на місці реалізації. Для можливості впровадження цієї технології було розроблено фізичну і математичну моделі процесу, що продемонстровано в даній роботі. Визначено оптимальний час попереднього випікання.*

**Ключові слова:** випікання, упікання, усихання, конвекція, вакуум-випарювання, охолодження.

---

© Ковальов О.В., Миколів І.М., Бабко Є.М., Якобчук Р.Л., 2015

## **ДВУХЭТАПНАЯ ВЫПЕЧКА ХЛЕБА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ВАКУУМНО- ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ**

**А.В. Ковалев, И.М. Мыколив, Е.Н. Бабко, Р.Л. Якобчук**

*Рассмотрена и охарактеризована «двухэтапная» выпечка с использованием промежуточного вакуумно-испарительного охлаждения, что позволяет допекать хлеб непосредственно на месте реализации. Для возможности внедрения этой технологии были разработаны физическая и математическая модели процесса, что продемонстрирована в данной работе. Определено оптимальное время предыдущей выпечки.*

**Ключевые слова:** выпечка, упекание, усушка, конвекция, вакуум-выпаривание, охлаждение.

## **TWO STAGE BREAD BAKING WITH INTERIM VACUUM EVAPORATION COOLING**

**O. Kovalev, I. Mykoliv, E. Babko, R. Yakobchuk**

*Technology of bread production is time consuming and quite a long process. Due to the fact that this process includes many manufacturing operations, changes in length which leads to deterioration of product quality, traditional technology remained unchanged for a long time. This led to the limitation of range of bakery products; and the absence of fresh hot bread in the early hours; the creation of night shift and increase the burden on bakers working the night shift; and the lack of fresh bread at remote points of supply and trade. These problems caused by the continuity and long-term process of bakery products division helped to decide on the bread baking process steps for the increase or decrease of the length of intermediate processes that would allow the technology to make more flexible simultaneously reducing the quality of baked bread.*

*"Two-stage" baking with the help of intermediate vacuum evaporative cooling is a technical solution of these problems. A positive feature of vacuum evaporation cooling is simple speed control process. When vacuum-evaporating cooling structure damages ice crystals, it is impossible to get porous products because of positive temperatures for the entire period of cooling.*

*Technical implementation of new technology in bakery is the need to use the existing equipment with the addition of the mechanized complex for vacuum-evaporative cooling.*

*The conducted researches are aimed at identifying kinetic patterns and the development of physical models of heat and mass transfer processes in the interconnected dehydration, cooling, humidity transfer to vacuum evaporating cooling.*

*In this work, the "two-stage" baking by means of intermediate vacuum evaporative cooling, which allows baking bread directly on-site is elaborated. To enable implementation of this technology physical and mathematical model of the process are developed as demonstrated in this paper.*

**Keywords:** baking, drying, convection, vacuum evaporation, cooling.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Технологія виробництва хліба є трудомістким і достатньо тривалим процесом. У зв'язку з тим, що цей процес включає багато технологічних операцій, зміна тривалості яких приводить до погіршення якості продукту, традиційна технологія протягом тривалого часу залишалася незмінною. Це привело до таких наслідків: обмеження асортименту хлібобулочних виробів; відсутність свіжого і гарячого хліба в ранковий час; створення нічних змін і збільшення навантаження на пекарів, які працюють у нічну зміну; відсутність свіжого хліба на віддалених пунктах споживання і торгівлі. Ці проблеми, викликані безперервністю і довготривалістю виробництва хлібобулочних виробів, необхідно було вирішити розділенням процесу випікання хліба на етапи, збільшенням або зменшенням тривалості проміжних процесів, що дозволяло б зробити технологію гнучкішою, не знижуючи водночас якості випеченого хліба.

«Двохетапне» випікання з використанням проміжного вакуумно-випарного охолодження є технічним вирішенням зазначених проблем [3]. Воно включає операції:

- приготування тіста;
- формування;
- вистоювання;
- попереднього випікання;
- швидкого охолодження напівфабрикату виробу у вакуумній камері;
- подальшого його зберігання в холодильній камері;
- допікання частково випеченого й охолодженого хліба.

Технічна реалізація нової технології на хлібозаводах пов'язана з необхідністю використання вже існуючого устаткування з додаванням механізованого комплексу для вакуумно-випарного охолодження.

«Двохетапна» технологія випікання хліба включає: попереднє випікання, яке становить 80% від загального часу випікання виробу за традиційною технологією, причому стандартний температурний режим залишається незмінним для кожного конкретного хлібобулочного виробу; вакуумно-випарне охолодження до температури  $t=0...2^{\circ}\text{C}$ ; пакування і зберігання частково випеченого й охолодженого хліба при температурі  $t = 0...2^{\circ}\text{C}$ ; кінцеве випікання виробу при температурі  $t = 180...210^{\circ}\text{C}$ .

Альтернативою традиційним способам охолодження є вакуумно-випарне. У цьому процесі вільна і розділена в об'ємі продукту волога, випаровується, відбирає теплоту. Процес релаксації між змінами тиску насиченої пари і температури рідини відбувається швидко. З урахуванням систематизації відомостей про фізичні

процеси, що перебігають під час вакуумно-випарного охолодження тіл, фізична модель будувалася на основі таких уявлень і допущень: тіло має пористість 70–80% і високу паропроникність; під час вакуумно-випарного охолодження може відбутися перерозподіл маси вологи за об'ємом заготовки, при цьому вологість охолоджуваного тіла достатня для його вакуумно-випарного охолодження без утворення сухих зон і суцільних меж фазових переходів; фазові переходи «рідина–пара» відбуваються в усьому об'ємі тіла одночасно, відповідно до локальних значень температури і тиску в кожній точці охолоджуваного виробу; фазовий перехід відбувається за відсутності підведення тепла ззовні та за рахунок зменшення внутрішньої енергії виробу і, як наслідок, супроводжується зменшенням температури виробу.

Процеси охолодження і нагрівання вивчаються століттями, проте досі ще не вивчені досконально і повно. Джерела теплоти і способи її підведення різноманітні й за часом перебігом процесу деколи просто незрівнянні, як конвективний поверхневий спосіб нагрівання та нагрівання струмами високої частоти і мікрохвилями. А для відведення теплоти (охолодження) дотепер ґрунтовно розглядали тільки поверхневий спосіб. Останнім часом з'явилися спроби використовувати для об'ємного охолодження вакуумно-випарне охолодження, яке позитивно зарекомендувало себе в разі охолодження овочів і фруктів, хоча в цьому випадку воно використовувалося як швидший поверхневий спосіб охолодження. Цей спосіб охолодження вимагає розміщення виробів у вакуумній камері із залишковим тиском, що відповідає температурі насиченої пари приблизно +2°C. При цьому волога з виробу інтенсивно випаровується, що зумовлюється його охолодженням. Швидкість випаровування вологи і відповідна їй швидкість охолодження визначаються продуктивністю системи вакуумування.

Традиційні способи охолодження харчових продуктів конвективним потоком холодного повітря не завжди можуть бути використані для проміжного охолодження харчових продуктів. Це пов'язано з обмеженнями за температурою охолоджування середовища, яка, будучи достатньо низькою, повинна залишатися позитивною і не допускати заморожування продукту. Унаслідок малих перепадів температур ( $T_{\text{прод}} - T_{\text{камери}}$ ) тривалість процесу зростає (особливо на його останній стадії), стають істотними усихання і нерівномірність розподілу вологи за об'ємом охолоджуваного об'єкта. Усе це призводить до погіршення умов подальшого зберігання і відхилення від стандартних показників якості продукту, таких як зовнішній вигляд, кислотність та мікрофлора.

Альтернативою цим способам є вакуум-випарне охолодження, у якому вологий продукт, що охолоджується, сам по собі є регулятором температури холодоагенту. Тільки одна основна вимога становиться до продукту, який охолоджуватиметься вакуум-випарним способом, - це достатньо велика пористість, що дозволяє парам, утвореним усередині капілярно-пористого тіла, вільно залишати його і віддалятися разом із відкачуванним повітрям.

Вакуум-випарне охолодження відбувається в результаті відбору теплоти від продукту під час випаровування з нього вологи. Завдяки випаровуванню вологи відбувається зниження тиску, до створення вакууму. Унаслідок достатньо рівномірного розподілу вільної вологи у виробх охолодження так само відбувається у всьому об'ємі виробу, що охолоджується. Позитивною властивістю вакуум-випарного охолодження є простота регулювання швидкості процесу. За умов вакуум-випарного охолодження пошкодження кристалами льоду структури пористих виробів неможливі через позитивні температури протягом усього періоду охолодження.

Ці властивості вакуум-випарного охолодження харчових продуктів використовуються для охолодження вологих рослинних продуктів: грибів, салату, городинних культур та ін. У всіх випадках швидкість охолодження була високою, а зневоднення продукту відповідало кількості випареної води і ступеню його охолодження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для повного вивчення процесу вакуум-випарного охолодження необхідно було підібрати харчовий продукт з ідеальною капілярно-пористою структурою, яким є хліб. Були розглянуті публікації про вакуум-випарне охолодження різних харчових продуктів, зокрема напівфабрикатів і готових хлібобулочних виробів [1–3]. У них наголошувалося, що охолодження під вакуумом може прискорити охолодження хлібобулочних виробів. Наприклад, тонкі вироби типу «panettoni» (італійський пиріг) можуть бути охолоджені за чотири хвилини під вакуумом порівняно з двадцяти чотирьох годинним конвективним охолодженням. Це привело до того, що багато італійських виробників зазначеного виробу перейшли на нову технологію охолодження [5]. Проте через структурні зміни, викликані надмірним перепадом тиску пари в області низької газопроникності (хлібної скоринки), необхідний спеціальний режим створення вакууму. Використання змодельованого вакуумного холодильника (MVC) дозволяє одержати швидке охолодження хлібобулочних виробів без несприятливої зміни їх об'єму і структури [3]. Замість того, щоб застосовувати вакуумування з постійною швидкістю відкачування, тиск у герметичній камері змінюється за заданим законом протягом

усього часу охолодження. Вакуум-випарне охолодження хлібобулочних виробів здійснюється в температурному діапазоні 98...30°C, який супроводжується втратою маси виробу приблизно на 1% при зниженні його температури на кожні 10°C або на 6,8% при зниженні температури від 98 до 30°C. Водночас, звичайне конвективне охолодження приводить до втрати маси на 3...5% залежно від швидкості охолоджувального повітря [1; 3]. Різниця між втратами маси незначна. Пшеничний хліб - 2-кілограмові буханці, французькі батони, пироги з м'ясом, печиво і пироги, що охолоджуються традиційно за 1...3 години, можуть бути охолоджені за час від 30 секунд до 5 хвилин у вакуум-випарній установці.

Процес вакуум-випарного охолодження має переваги як за якістю і зовнішнім виглядом виробу, так і за рахунок скорочення часу охолодження, коли зменшується кількість споживаної енергії. Крім того, продукція може тривалий час зберігатися за плюсових температур. Збільшений термін придатності виробів через відсутність зараження мікробами протягом охолодження, поза сумнівом, є великою перевагою вакуум-випарного способу охолодження.

Під час видалення водяної пари з охолоджуваних продуктів, поміщених у герметичну камеру вакуумування, усередині продукту створюються умови для об'ємного адіабатичного випаровування і кипіння рідини. За відсутності теплопритоків ззовні випаровування і кипіння рідини приводить до одночасного охолодження кожної частинки продукту до температури насиченої пари, відповідної тиску в камері.

Оскільки паропроникність виробів прийнята високою, то в об'ємі напівфабрикату не виникають помітні градієнти тиску і відповідні їм градієнти рівноважної температури. Тому, у міру відкачування газів, тиск насиченої пари над вільною поверхнею рідини можна ототожнити з тиском в камері охолодження. У разі відкачування повітря і водяної пари, що надходить у камеру від охолоджуваних продуктів, усередині вологого пористого продукту створюються умови для ізоентропного об'ємного випаровування і кипіння рідини.

За умов вакуум-випарного охолодження такі процеси, як дифузія і теплопровідність, що перебігають досить повільно, не відіграють помітної ролі, тому цей вид охолодження відбувається відносно швидко в усьому об'ємі виробу.

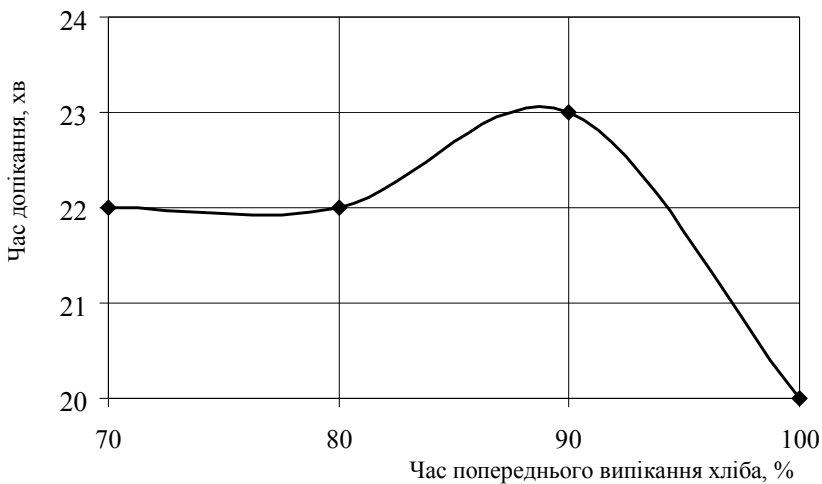
**Метою статті** є дослідження процесу двохетапного випікання хліба з використанням проміжного вакуум-випарного охолодження та визначення оптимального терміну попереднього випікання перед вакуумуванням.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідження, що проводились, були направлені на виявлення кінетичних закономірностей і розробку фізичної моделі тепло- і масообміну у взаємопов'язаних процесах зневоднення, охолодження, перенесення вологи під час вакуум-випарного охолодження.

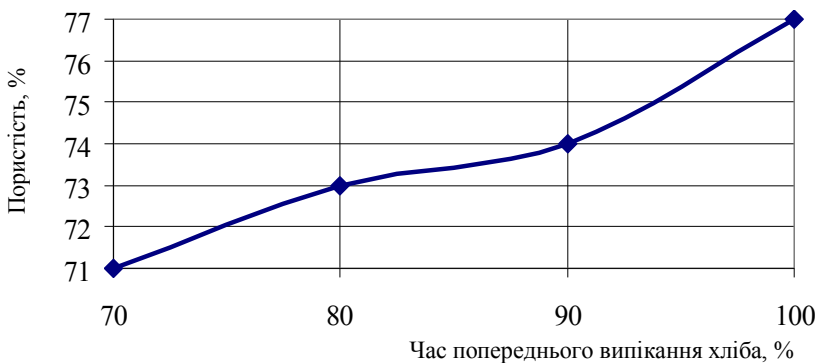
Спосіб вакуум-випарного охолодження ґрунтується на процесі, у якому вільна і розподілена в об'ємі продукту волога, випаровуючись, відбирає теплоту.

У результаті проведених численних досліджень установлено, що вакуумно-випарне охолодження набагато інтенсивніше за конвективне. Воно забезпечує охолодження продукту від 80 до 0...2°C за 3...6 хвилин. При цьому, на відміну від конвективного, під час вакуум-випарного охолодження температури на поверхні та в глибині тесту-хліба однакові за всім об'ємом виробу. У разі збільшення швидкості вакуумування тривалість охолодження різко зменшується. Збільшення маси охолоджуваних виробів, навпаки, пропорційно збільшує час охолодження. Показано, що добуток часу на відношення швидкості відкачування до маси охолоджуваного продукту може бути приведений до безрозмірної величини  $F_w$ , аналогічної критерію Фур'є, не зв'язаної, проте, з лінійними розмірами охолоджуваного виробу. Велике значення має вологість охолоджуваного продукту. На підставі розрахунків установлено, що в разі охолодження продукту від 90 до 2°C кількість вільної вологи в продукті повинна бути не менше 12% від маси охолоджуваного виробу. Вплив об'єму камери на процес вакуум-випарного охолодження може проявлятися двояким чином: через збільшення об'єму відкачуваного середовища і збільшення площі поверхні теплообміну камери з навколишнім середовищем. При цьому абсолютна різниця в часі охолодження для камер різних об'ємів пов'язана з різницею тривалості відкачування початкового об'єму повітря.

На рисунках 1–4 наведено результати дослідження випікання виробу високого ступеня готовності «Хліба французького бездріжджового» з різним часом попереднього випікання.

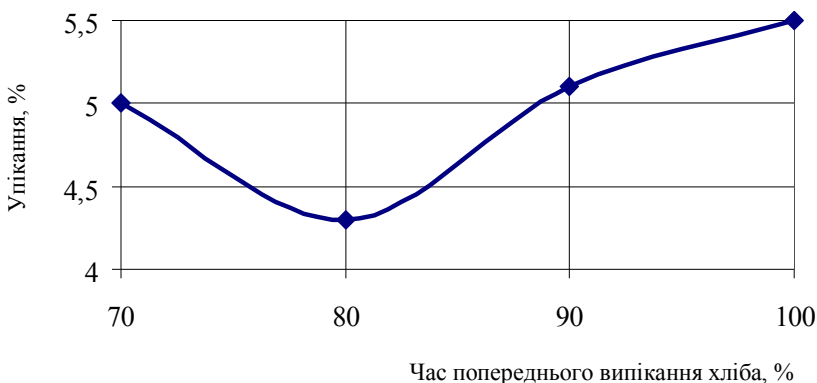


**Рис. 1. Час допiкання виробу високого ступеня готовності «Хліба французького бездрiжджового» залежно від часу попереднього випікання**

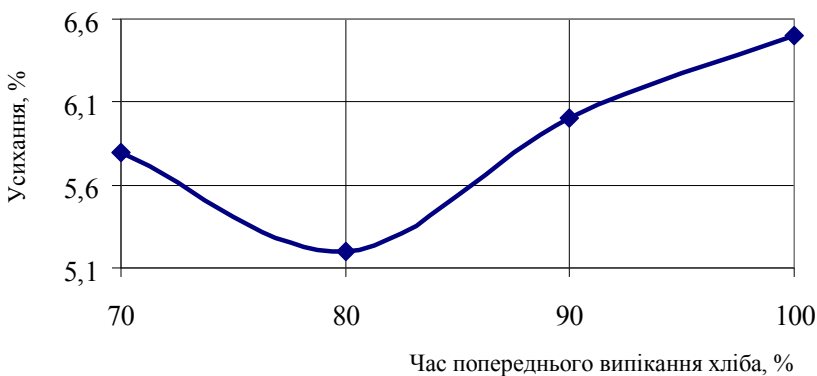


**Рис. 2. Пористість виробу високого ступеня готовності «Хліба французького бездрiжджового» залежно від часу попереднього випікання**





**Рис. 3. Величина упідання виробу високого ступеня готовності «Хліба французького бездріжджового» залежно від часу попереднього випікання**



**Рис. 4. Усушення виробу високого ступеня готовності «Хліба французького бездріжджового» залежно від часу попереднього випікання**

**Висновки.** За результатами дослідів видно, що попереднє випікання повинне становити до 80% від тривалості загального випікання. У разі попереднього випікання, у межах 80%, упідання становить 4,25%, усушення – 5,17%, пористість – 72%, час допекання – 22 хвилини. Допечені вироби мають рівномірну пористість та найкращі органолептичні показники. Тому об'єм камери повинен якомога менше відрізнятися від об'єму охолоджуваного продукту.

### Список джерел інформації / References

1. "Effect of freezing and frozen storage of doughs on bread quality. Ribotta Pablo D.", (Facultad de Ciencias Agropecuarias, Argentina and Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos), *J. Agr. and Food Chem.*, (2001), Vol. 49, No. 2, pp. 190-198.
2. Have, M., Mankai, M., Le Bail, A. (2002), "Influence of the freezing condition on the Baking performances of French frozen dough", (Dept. Genie des Precedes Alimentaires, ENITIAA, BP 82225, France, *J. Food Eng.*, Vol. 45, Ms 3, pp. 139-145.
3. McDonald, K., Sun, D.-W. (2000), Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review, *Journal of Food Engineering*, Vol. 45, pp. 55-65.
4. Di Risio, T. (1990), Vacuum cooling in food processing Prepared Foods, Vol. 159, pp. 195-197.
5. Не теряя формы. // Хлеб+выпечка. Ноу-хау от профи для профи. Первый русский выпуск. – Гамбург, 2000. – С. 8–10.  
"He wasted formy" (2000), ["Ne teriaya formi"], *Bread pastries. Know-how from the pros for pros. The first Russian edition*, f2m food multimedia gmbh, Hamburg, pp. 8-10.
6. Маринюк Б. Т. Вакуумно-испарительное охлаждение: особенности и перспективы / Б. Т. Маринюк, Д. В. Заварухин ; Московский гос. университет инженерной экологии // Известия вузов. Пищевая технология. – 2000. – № 1. – С. 47–48.  
Marinyuk, B.T., Zavarukhin, D.V. (2000), "Vacuum evaporative cooling: Features and Prospects" ["Vakuumno-isparitelnoe ohlagdenie: osobennosti i perspektivi"], Moscow State University of Environmental Engineering, No. 1, pp. 47-48.

**Ковальов Олександр Володимирович**, канд. техн. наук, доц., кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв, Національний університет харчових технологій. Адреса: вул. Суворова, 11, кв. 142, м. Київ, Україна, 01010.

**Ковалев Александр Владимирович**, канд. техн. наук, доц., кафедра машин и аппаратов пищевых и фармацевтических производств, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: ул. Суворова, 11, кв. 142, г. Киев, Украина, 01010.

**Kovalev Oleksandr**, Ph.D., assistant professor, department of machinery and equipment for food and pharmaceutical industries, National University of Food Technologies. Address: Suvorov str., 11, Apt. 142, Kiev, Ukraine, 01010.

**Миколів Іван Михайлович**, канд. техн. наук, доц., кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій. Адреса: пров. Квітневий, 1В, кв. 164, м. Київ, Україна, 04108.

**Мыколив Иван Михайлович**, канд. техн. наук, доц., кафедра технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: пер. Квитневый, 1В, кв. 164, г. Киев, Украина, 04108.

**Mykoliv Ivan**, Ph.D., assistant professor, department of technological equipment and computer design technologies, National University of Food Technologies. Address: Per. Kvitnevyy, 1B, Apt. 164, Kiev, Ukraine, 04108.

**Бабко Євген Миколайович**, канд. техн. наук, доц., кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій. Адреса: бульв. Незалежності, 7, кв. 118, м. Бровари, Україна, 07400.

**Бабко Евгений Николаевич**, канд. техн. наук, доц., кафедра технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: бульв. Независимости, 7, кв. 118, г. Бровары, Украина, 07400.

**Babko Eugene**, Ph.D., assistant professor, department of technological equipment and computer design technologies, National University of Food Technologies. Address: Boul. Nezalezhnosti 7, Apt. 118, Brovary, Ukraine, 07400.

**Якобчук Роман Леонідович**, канд. техн. наук, доц., кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування, Національний університет харчових технологій. Адреса: просп. Науки, 28, кв. 902, 03028.

**Якобчук Роман Леонидович**, канд. техн. наук, доц., кафедра технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования, Национальный университет пищевых технологий. Адрес: просп. Науки, 28, кв. 902, 03028.

**Yakobchuk Roman**, Ph.D., assistant professor, department of technological equipment and computer design technologies, National University of Food Technologies. Address: Prospect Nauki, 28, Apt. 902, 03028.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук В.Ю. Сухенко, д-ром техн. наук, проф. О.О. Серьогіним, д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.  
Отримано 1.08.2015. ХДУХТ, Харків.*