

УДК 53.043:664

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.103600

ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОЦЕСУ ІНДУКОВАНОГО ТЕПЛОМАСООБМІНУ

© М. І. Погожих, А. О. Пак, А. В. Пак, М. В. Жеребкін

Обґрунтовано перспективність пошуку «штучних» енерготехнологічних процесів. Відмічено індукований тепломасообмін як один із «штучних» енерготехнологічних процесів. Розроблено концептуальні рішення технічної реалізації апаратів з використанням процесу індукованого тепломасообміну для виконання таких технологічних операцій харчової промисловості: сушіння; гідротермічна обробка; випарювання або згущення; ректифікація, переганяння або дистиляція; охолодження та термостатування

Ключові слова: індукований тепломасообмін, термостат, колоїдне капілярно-пористе тіло, харчова сировина, реалізація

1. Вступ

На сучасному етапі розвитку галузей промисловості країн світу існує необхідність пошуку наукового обґрунтування рішень проблем ефективного використання енергетичних ресурсів за умови забезпечення вимог до екологічності виробництв [1]. У середині проблеми варто виділити так названі енерготехнологічні процеси [2], тобто такі штучні дії людини, які, через певні послідовності законів природи, приводять до кінцевого продукту за рахунок використання й (або) перетворення одних видів енергії в інші [3]. Можна вважати, що I та II закони термодинаміки, а також закони збереження маси, заряду – є обмежувальною областю застосування знань людини для рішення поставленої проблеми [4]. Необхідно відзначити, що будь-які перетворення теплоти, є необоротними, тобто призводять до зростання ентропії (безладу). Саме цей факт в основному й визначає ефективність енерготехнологічних процесів, де протікають фазові переходи речовини I роду [5].

2. Літературний огляд

При цьому перспективним в рамках всесвітньої політики та політики України в сфері енергоефективності є пошук «штучних» енерготехнологічних процесів [6], для яких хоча б один або декілька параметрів або властивостей системи не мають «спорідненості» з навколишнім середовищем [7] і прийняти рівноважне значення можуть тільки за умови подолання деякого енергетичного активаційного бар'єра [8]. Такі процеси, як правило, характеризуються високою енергоефективністю [9] і екологічністю [10].

Одним із «штучних» енерготехнологічних процесів є процес індукованого тепломасообміну (ІнТМО) [11]. Процес ІнТМО полягає у ефективному розсіянні теплової енергії через фазовий перехід рідини I роду. До теперішнього часу реалізацією процесу ІнТМО на практиці був окремий його випадок, який застосовувався для зневоднення вологої сировини – сушіння змішаним теплопідводом (ЗТП-сушіння) [12]. Однак результати дослідження процесу ІнТМО [11], отримані на теперішній час, доводять, що можливість його практичного застосування можуть бути достатньо широкими.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – розробка концептуальних рішень технічної реалізації енергоефективних апаратів з використанням ІнТМО для виконання технологічних операцій, що застосовуються в харчовій промисловості.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Виявити умови, які повинні виконувати складові динамічної системи для технічної реалізації теплоенергетичних апаратів з використанням процесу ІнТМО;

2. Виходячи із необхідних та достатніх умов організації процесу ІнТМО, розробити концептуальні рішення технічної реалізації апаратів для виконання відповідних технологічних операцій, які застосовуються у харчовій промисловості.

4. Концептуальні рішення технічної реалізації апаратів з використанням процесу ІнТМО

Для харчової промисловості апарати, що працюють з використанням процесу ІнТМО, є теплоенергетичними апаратами, які можуть бути використані для наступних технологічних операцій: сушіння; гідротермічної обробки; випарювання або згущення; ректифікації, переганяння або дистиляції; охолодження або термостатування.

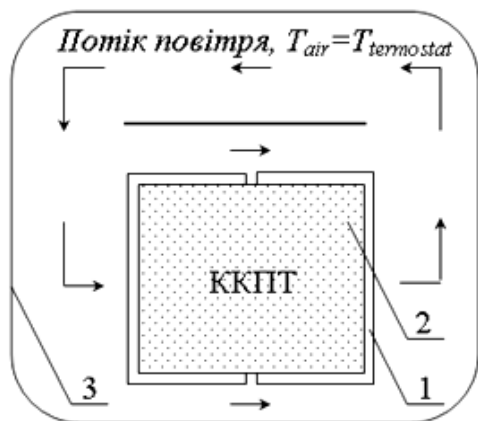
Ефективність технічного рішення при цьому визначається певними конструкторськими рішеннями апарату для розсіювання теплоти термостату. Виходячи із необхідних і достатніх умов організації процесу ІнТМО, можна виділити умови, які повинні виконувати складові динамічної системи для його реалізації. Такими умовами є:

- наявність щонайменше двох рівноважних станів;
- наявність енергетичного бар'єру E_A для реалізації переходу між станами рівноваги;
- наявність флуктуації на границі розділу між внутрішнім та зовнішнім середовищем;
- забезпечення термостатування.

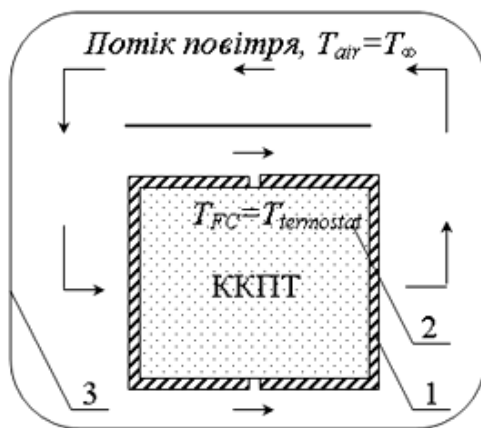
4. 1. Сушіння вологого ККПТ з використанням процесу ІнТМО

Застосування процесу ІнТМО для сушіння харчової сировини рослинного та тваринного походження

представлене способом ЗТП-сушіння (рис. 1, а). В даній технічній реалізації процесу ІнтМО термостатом слід вважати сушильну камеру 3. ФЄ 1 при цьому є тепломасообмінним модулем, який обмежує внутрішнє середовище термостата, в якому знаходиться вологе колоїдне капілярно-пористе тіло (ККПТ) 2. Термостатування та масовідведення забезпечується потоком повітря, що омиває ФЄ, з визначеною швидкістю та має температуру, яка дорівнює температурі термостата. Роль обтюратора виконує сировина, яка знаходиться всередині ФЄ та щільно прилягає до зазорів на її поверхні (рис. 1, а). При цьому виходячи із можливих концептуальних рішень організації процесу ІнтМО можливі варіації технічної реалізації апаратів для зневоднення з використанням даного процесу.



а



б

Рис. 1. Принципові схеми апаратів з використанням процесу ІнтМО для сушіння вологого ККПТ: а – з конвективним теплопідведенням; б – кондуктивним теплопідведенням; 1 – функціональна сміть; 2 – волога сировина; 3 – сушильна камера

Так підведення теплоти до внутрішньої частини термостата можна організувати, наприклад, кондуктивним або радіаційним способом, а обдування зазорів з обтюраторами проводити повітрям сушильної камери (3) з температурою оточуючого середовища – $T_{air} = T_{\infty}$ (рис. 1, б). Температура стінок 1, які обмежують внутрішнє середовище термостата (T_{FC}), в якому знаходиться вологе ККПТ 2, дорівнює температурі термостата ($T_{termostat}$). При цьому значимий вплив підігріву потоку повітря, що омиває зовнішню поверхню обтю-

ратора, на процес ІнтМО не спостерігається, оскільки основна функція повітря – створювати флуктуації газового середовища в об'ємі обтюратора.

Інша технічна реалізація базується на відносності руху: можна рухати сам термостат з обтюратором у газовому середовищі, яке знаходиться у стані спокою (рис. 2). Так обертаючи на валу 1 з приводом 4 тепломасообмінний модуль 2 з турбулізаторами 3, який обмежує внутрішнє середовище термостата, відносно повітря, що знаходиться у стані спокою, існує можливість організації процесу ІнтМО для сушіння вологого ККПТ всередині тепломасообмінного модуля. При цьому підведення теплоти до внутрішнього середовища може бути забезпечене конвективним способом від повітря, яке знаходиться всередині сушильної камери 5, або радіаційним способом (ІВЧ, ІЧ, тощо).

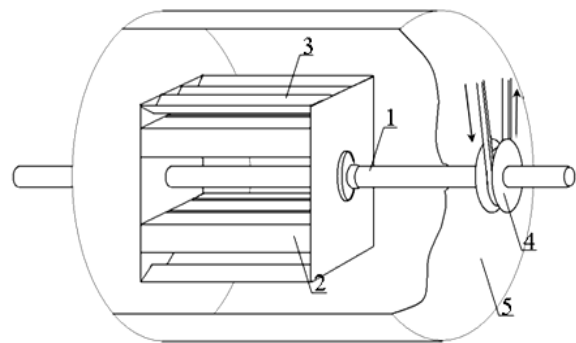


Рис. 2. Принципова схема апарату з використанням процесу ІнтМО для сушіння вологого ККПТ з функціональною смітью, що обертається: 1 – вал; 2 – функціональна сміть; 3 – турбулізатори; 4 – привід; 5 – сушильна камера

4. 2. Гідротермічна обробка вологого ККПТ з використанням процесу ІнтМО

Гідротермічна обробка сировини може бути реалізована шляхом «блокування» процесу ІнтМО (створення умов не достатніх для його «запуску») для обробки сировини у середовищі з парціальним тиском пари води близьким до тиску насиченої пари за певної температури (наприклад, для проварювання сировини) та наступним «запуском» процесу ІнтМО для зневоднення обробленої паровою сировини.

Організувати гідротермічну обробку можна декількома способами. Одним із способів є закривання зазорів з обтюраторами для гідротермічної обробки сировини та відкривання їх для подальшого сушіння (рис. 3, а).

Іншим способом є організація умов, за яких будуть відсутні флуктуації газового середовища в об'ємі обтюратора, а «запуск» процесу ІнтМО буде заблокований, для реалізації гідротермічної обробки, та забезпечення умов «запуску» процесу ІнтМО для сушіння обробленої сировини (рис. 3, б). Даний спосіб може бути організований якщо буде відсутній рух потоку повітря вздовж зазорів з обтюраторами на поверхні стінок, що обмежують внутрішню частину термостата. При цьому підведення теплоти до внутрішнього середовища термостата організовується кондуктивним або радіаційним способом.

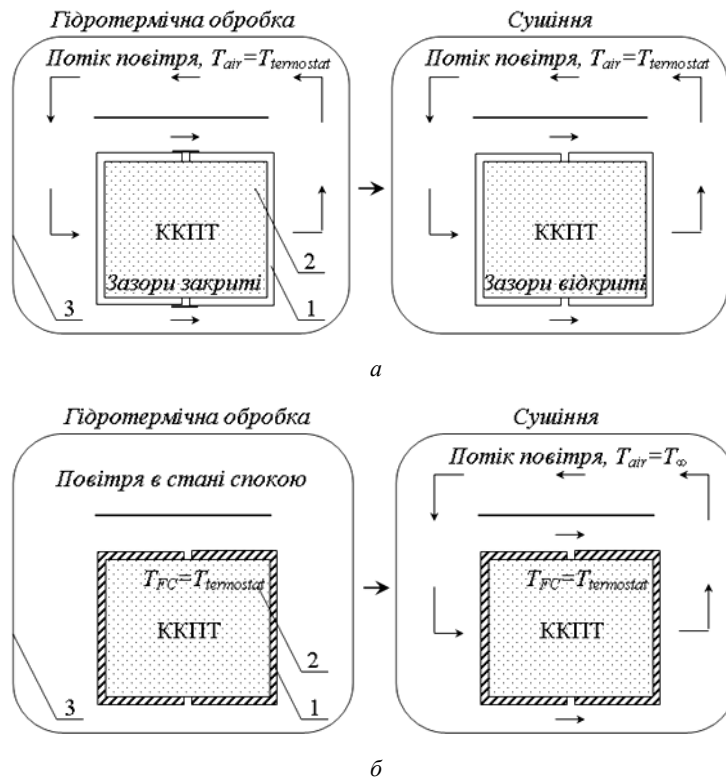


Рис. 3. Принципові схеми апаратів з використанням процесу ІнТМО для гідротермічної обробки ККПТ:
 а – способом із закриванням зазорів; б – способом із зупинкою потоку повітря;
 1 – тепломасообмінний модуль; 2 – ККПТ; 3 – робоча камера

4. 3. Випарювання або згущення сировини з високим вмістом системної води з використанням процесу ІнТМО

Провести операції випарювання або згущення сировини з високим вмістом системної води (суспензії, розчини, тощо) можна у термостаті, внутрішнє середовище якого являє закриту ємність із зазором, в якому розміщений обтюратор (рис. 4).

При цьому обтюратор необхідно створити штучно, оскільки самочинне утворення обтюратора із такої сировини не можливе. Температуру термостата можна обирати більшою за температуру кипіння рідини, яку містить сировина, без ризику закипання або підгоряння сировини [13]. Обмеження значень максимальної температури необхідно накладати лише виходячи із термолабільності нутрієнтів сировини.

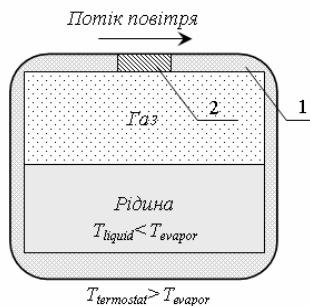


Рис. 4. Концептуальні рішення практичного застосування теплоенергетичних апаратів з використанням процесу ІнТМО для випарювання або згущення сировини з високим вмістом системної води: 1 – термостат; 2 – обтюратор

4. 4. Ректифікація, переганання або дистиляція з використанням процесу ІнТМО

Операції ректифікації, переганання або дистиляції (розчини, суспензії, тощо) є операціями з розділення рідин з різними теплофізичними властивостями, а саме різними температурами кипіння та/або питомими теплоємностями та/або питомими теплотами пароутворення.

Організувати їх реалізацію з використанням процесу ІнТМО можна в термостатах, внутрішнє середовище яких являє закриту ємність із зазором, в якому розміщений штучно створений обтюратор (рис. 5). На рис. 5 наведено приклад розділення суміші трьох рідин з різною температурою кипіння з використанням процесу ІнТМО в термостаті. Будемо вважати, що температури рідин ступенево зростають

$$T_{\text{evapor}1} < T_{\text{evapor}2} < T_{\text{evapor}3}$$

У першому термостаті (1) проводиться відділення рідини 1 та рідини 2 від рідини 3. Потік повітря, який виносить пару рідини 1 та 2 із термостату 1, надходить до конденсатора 3, де пара рідин 1 та 2 конденсуються та надходять до другого термостату (4). В другому термостаті проводиться відділення рідини 1 від рідини 2. Пара рідини 1 конденсується у конденсаторі 5 та надходить до збірника 6. Кількість рідин, які підлягають розділенню, визначає необхідну кількість ступенів «термостат – конденсатор».

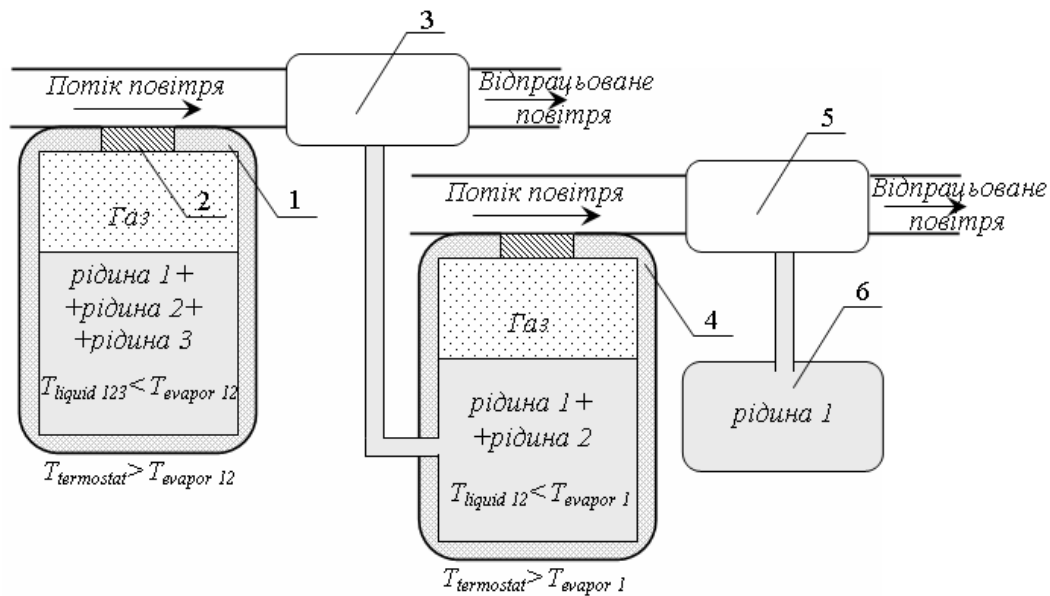


Рис. 5. Концептуальні рішення практичного застосування теплоенергетичних апаратів з використанням процесу ІнтМО для ректифікації, переганяння або дистиляції: 1, 4 – термостати; 2 – обтюратор; 3, 5 – конденсатори; 6 – збірник для рідини

4.5. Охолодження та термостатування з використанням процесу ІнтМО

Організація охолодження та термостатування можлива завдяки наявності високих градієнтів температури в ККПТ у внутрішній частині термостата під час процесу ІнтМО.

Так різниця температур між шарами волого ККПТ всередині термостата під час ІнтМО на відстані 5...10 мм може досягати 50...60 % від температури термостата (за температури термостата менше 100 °С). Організація термостатування можлива завдяки такій особливості процесу ІнтМО, як сталість температури рідини за умови наявності певної її кількості у внутрішній частині термостату (рис. 6). При цьому процес кипіння рідини відсутній навіть за температури термостата більшої за температуру кипіння даної рідини.

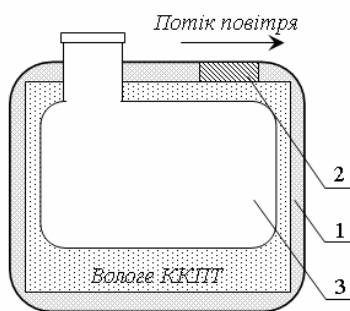


Рис. 6. Концептуальні рішення практичного застосування теплоенергетичних апаратів з використанням процесу ІнтМО для охолодження та термостатування: 1 – термостат; 2 – обтюратор; 3 – ємність для сировини, яка підлягає охолодженню або термостатуванню

5. Результати досліджень та їх обговорення

Виходячи із необхідних та достатніх умов для реалізації процесу ІнтМО, їх технічну реалізацію

слід обирати у відповідності до мети, яку покладено в основу технологічної обробки сировини, вимог до якості отримуваної продукції та енергоефективності використовуваних процесів та обладнання.

Аналіз способів реалізації умов для організації процесу ІнтМО надав можливість розробки концептуальних рішень практичної реалізації теплоенергетичних апаратів з використанням даного процесу для виконання наступних технологічних операцій харчової промисловості:

- сушіння вологого ККПТ;
- гідротермічна обробка вологого ККПТ;
- випарювання або згущення сировини з високим вмістом системної води; ректифікація, переганяння або дистиляція розчинів, суспензій, тощо;
- охолодження та термостатування харчової сировини та продуктів.

Наведені рішення практичної реалізації доводять, що такий «штучний» енерготехнологічний процес як процес ІнтМО є процесом із широкими можливостями його застосування.

При цьому головними його перевагами є універсальність керування та енергоефективність.

6. Висновки

1. Виявлені необхідні та достатні умови для складових динамічної системи, які надають можливість технічної реалізації теплоенергетичних апаратів з використанням процесу ІнтМО.

2. Розроблені концептуальні рішення практичної реалізації енергоефективних апаратів з використанням процесу ІнтМО для виконання таких технологічних операцій харчової промисловості, як сушіння, гідротермічна обробка, випарювання, згущення, ректифікація, переганяння, дистиляція, охолодження та термостатування.

Література

1. Энерготехнологические процессы. Проблемы и перспективы [Текст] / ред. Л. В. Лысенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 190 с.

2. Амерханов, Р. А. Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства [Текст] / Р. А. Амерханов, А. С. Бессараб, Б. Х. Драганов, С. П. Рудобашта, Г. Г. Шишко; ред. Б. Х. Драганов. – М.: Колос-Пресс, 2002. – 423 с.
3. Быков, Г. А. Системный анализ термодинамики энерготехнологических процессов тепловых машин [Текст] / Г. А. Быков, О. Г. Быкова, В. Ю. Лупашевская // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2010. – № 12 (82). – С. 37–42.
4. Grandy, W. T. Jr. Entropy and the Time Evolution of Macroscopic Systems [Text] / W. T. Jr. Grandy. – Oxford: Oxford University Press, 2008. – P. 55–58. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199546176.001.0001
5. Schmidt-Rohr, K. Expansion Work without the External Pressure and Thermodynamics in Terms of Quasistatic Irreversible Processes [Text] / K. Schmidt-Rohr // Journal of Chemical Education. – 2014. – Vol. 91, Issue 3. – P. 402–409. doi: 10.1021/ed3008704
6. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року [Електронний ресурс]. – Державне агентство з енергозбереження та енергоефективності України. – Режим доступу: http://sae.gov.ua/sites/default/files/documents/Presentation_NAPRES_Norw_OCT_3_ukr.pdf
7. Saha, A. Entropy production theorems and some consequences [Text] / A. Saha, S. Lahiri, A. M. Jayannavar // Physical Review E. – 2009. – Vol. 80, Issue 1. – P. 1–10. doi: 10.1103/physreve.80.011117
8. Nagesha, N. Barriers to energy efficiency in small industry clusters: Multi-criteria-based prioritization using the analytic hierarchy process [Text] / N. Nagesha, P. Balachandra // Energy. – 2006. – Vol. 31, Issue 12. – P. 1969–1983. doi: 10.1016/j.energy.2005.07.002
9. Patterson, M. G. What is energy efficiency? [Text] / M. G. Patterson // Energy policy. – 1996. – Vol. 24, Issue 5. – P. 377–390. doi: 10.1016/0301-4215(96)00017-1
10. Gillingham, K. Energy efficiency economics and policy [Text] / K. Gillingham, R. G. Newell, K. Palmer // Annual Review of Resource Economics. – 2009. – Vol. 1, Issue 1. – P. 597–620. doi: 10.1146/annurev.resource.102308.124234
11. Pogozhikh, M. The development of an artificial energotechnological process with the induced heat and mass transfer [Text] / M. Pogozhikh, A. Pak // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, Issue 8 (85). – P. 50–57. doi: 10.15587/1729-4061.2017.91748
12. Погожих, М. І. Сушіння плодово-ягідної сировини способом змішаного теплопідводу зі штучним пороутворенням [Текст]: монографія / М. І. Погожих, А. О. Пак, М. М. Цуркан. □ Х.: ХДУХТ, 2009. – 102 с.
13. Погожих, М. І. Характер процесу ІНТМО за температури термостата більшої за температуру кипіння рідини у його внутрішньому середовищі [Текст]: тези всеукр. наук.-пр. конф. / М. І. Погожих, А. О. Пак, А. В. Пак // Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини. – Х.: ХДУХТ, 2017. – С. 45–46.

Дата надходження рукопису 28.04.2017

Погожих Микола Іванович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, кафедра фізико-математичних та інженерно-технічних дисциплін, Харківський державний університет харчування та торгівлі, вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051
E-mail: m.pogozhikh@hduht.edu.ua

Пак Андрій Олегович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра фізико-математичних та інженерно-технічних дисциплін, Харківський державний університет харчування та торгівлі, вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051
E-mail: a.pak@hduht.edu.ua

Пак Аліна Володимирівна, кандидат технічних наук, викладач, кафедра товарознавства та експертизи якості товарів, Харківський торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету, пров. Отакара Яроша, 8, м. Харків, Україна, 61045
E-mail: pak.alina1984@gmail.com

Жеребкін Максим Васильович, кандидат технічних наук, асистент, кафедра холодильної і торговельної техніки та прикладної механіки, Харківський державний університет харчування та торгівлі, вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051
E-mail: Zherebkin.maxim@gmail.com