

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ЧАСНИКУ З ПОДАЛЬШИМ ЇХ КОНСТРУКТИВНИМ ОСНАЩЕННЯМ**

**О.Г. Терешкін, Д.В. Горелков, О.О. Удовенко,  
О.В. Омельченко, В.В. Перекрест**

*Наведено основні проблемні питання очищення часнику на підприємствах переробної промисловості та ресторанного господарства, проведено порівняльний аналіз обладнання для очищення з розробленою установкою. Переставлені результати досліджень запропонованої установки для очищення часнику, отримані залежності основних процесних параметрів комбінованого процесу очищення часнику: вологості, температури, частоти коливання робочої камери.*

***Ключові слова:** ресурсозбереження, процес очищення, часник, підсушування, коливальний рух.*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ЧЕСНОКА С ПОСЛЕДУЮЩИМ ИХ КОНСТРУКТИВНЫМ ОСНАЩЕНИЕМ**

**О.Г. Терешкин, Д.В. Горелков, О.А. Удовенко,  
А.В. Омельченко В.В. Перекрест**

*Приведены основные проблемные вопросы очистки чеснока на предприятиях перерабатывающей промышленности и ресторанного хозяйства, приведен сравнительный анализ оборудования для очистки, разработанной установкой. Переставлены результаты исследований предложенной установки для очистки чеснока, получены зависимости основных процессных параметров комбинированного процесса очистки чеснока: влажности, температуры, частоты колебаний рабочей камеры.*

***Ключевые слова:** ресурсосбережение, процесс очистки, чеснок, подсушивание, колебательное движение.*

## **INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF GARLIC PEELING WITH THE FOLLOWING CONSTRUCTIVE EQUIPMENT OF THEM**

**O. Tereshkin, D. Horielkov, O. Udovenko, O. Omelchenko, V. Perekrest**

*The article outlines the main problematic issues of the application of plants for cleaning garlic from husks at enterprises of various capacities and directions. The issue of the possibility of using the facilities in the restaurant industry enterprises was raised, namely, the use of plants for cleaning garlic of various*

capacities, with the possibility of varying it both at the stage of design development and in the operation of the apparatus itself. The article gives a brief analysis of the most closely related installations, to the installation of the authors proposed earlier. In the article the task is set to conduct research of separate processes of energy-saving combined process of cleaning garlic from husk. In the main material of the research results are given that allow one to assess the influence of the main parameters on the garlic purification process. So, the results of the investigation of drying processes of garlic before the process are given, the dependence of the change in the moisture content of the husk on the air supply rate is obtained, and the main processing time parameters are determined. The data of the investigation of the process of mechanical action on the surface of garlic to be cleaned after cleaning are obtained. The authors carried out mathematical modeling of the combined garlic purification process. The obtained mathematical models and the results of experimental studies made it possible to obtain refined data for constructing a plant for cleaning garlic UOCH-250. The data obtained in the materials of the article will be used as a basis for the design of the installation, and also serve as a basis for subsequent studies of the garlic cleaning process.

**Keywords:** resource saving, the process of cleaning, garlic, drying, oscillatory motion.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Одним із основних овочів, що найчастіше використовується під час виготовлення кулінарної продукції, є часник. Проте на підприємствах ресторанного господарства процес його очищення переважно здійснюється вручну. При цьому виникають такі проблеми, як

- ручне очищення;
- низький рівень продуктивності;
- завищена вартість обробки одиниці продукції;
- збільшена вартість сушеної, засоленої або законсервованої сільськогосподарської продукції;
- безпосередній контакт оператора-працівника з оброблюваною сировиною під час виконання окремих технологічних операцій.

Наведена низка невирішених питань спонукає до їх термінового розв'язання. Першочерговим етапом для механізації процесу очищення часнику є проведення аналітичних досліджень з розробленого устаткування для процесів, що реалізуються в цих апаратах. Другим етапом є проведення аналізу технологій виробництва кулінарної продукції, що передбачають за рецептурними складовими використання часнику. Крім того потрібно розглянути морфологічні властивості часнику, як овочевої культури, та з'ясувати вплив морфологічних показників на ефективність реалізації процесу очищення. На основі проведених досліджень запропонувати конструкцію установки для очищення часнику та провести розрахунки

основних силових вузлів. Таким чином обґрунтування і розробка ресурсозбережного процесу очищення часнику та його апаратурне оформлення є актуальним науково-технічним завданням, розв'язання якого дозволить вирішити низку технологічних питань, а також надасть економічний та соціальний ефект.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Якщо розглянути сучасне апаратурне оформлення процесу очищення часнику для будь-яких технологічних цілей, то можна побачити, що більшість устаткування представлено закордонними розробками. На вітчизняному просторі апаратурне оформлення процесу очищення часнику носить доволі розрізнений характер. Це зумовлює низка чинників, одним із яких є відсутність проведення комплексних досліджень процесу очищення часнику. Найбільш близькими за технічною суттю до запропонованої установки для очищення часнику УОЧ-250 [6] є валково-щіткові машини [7] та пристрій для очищення часнику [8]. Ці установки певною мірою реалізують процес очищення часнику від луски, проте можливість їх застосування на малих підприємствах та закладах ресторанного господарства обмежена, а в більшості випадків неможлива. Тому для можливості застосування компактних установок для очищення часнику типу УОЧ-250 на підприємствах різного спрямування та потужності необхідним є проведення низки комплексних досліджень процесу очищення.

**Мета статті** – розробити на основі проведених досліджень процесні та конструктивні параметри апарата для очищення часнику з різною вологістю та товарознавчими характеристиками.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Побудова математичної моделі починається з аналізу технологічного процесу, що досліджується, як об'єкта керування. Процес обробки часнику складається з двох послідовних стадій які реалізуються одна за одною: перша стадія – це підсушування часнику, друга стадія – це безпосередньо механічна обробка з метою здобуття готового продукту. Цей процес є типовим багатостадійним процесом. Особливістю є те, що недоліки керування на першій стадії не можуть бути скомпенсовані на другій стадії. Тому дуже важливо, щоб математична модель кожної стадії була якомога точною [4; 5].

На основі детального аналізу технологічного процесу обробки часнику на першій стадії встановлено, що він визначається трьома вхідними змінними: температурою повітря  $T$ , що використовується для проведення сушіння, швидкістю подачі повітря  $V$  та часом обробки  $t_1$ . Показником цієї стадії є вологість сировини  $Y_1$  після обробки та механічне зусилля  $Y_2$ , яке потрібно для подальшої обробки. На другій

стадії вхідними змінними є частота механічного впливу  $f$  та час її дії  $t_2$ . Показником якості цієї стадії є кількість  $m$  здобутої сировини. Метою побудови математичної моделі є знаходження відповідних регресійних залежностей між вхідними та вихідними параметрами технологічного процесу [1; 2].

Для опису залежностей між вихідними і вхідними змінними першої стадії обрана квадратична модель виду

$$Y_i(T, V, t_1) = a_{1,i} + a_{2,i}T + a_{3,i}V + a_{4,i}t_1 + a_{5,i}T^2 + a_{6,i}V^2 + a_{7,i}t_1^2 + a_{8,i}TV + a_{9,i}Tt_1 + a_{10,i}Vt_1, \quad (1)$$

де  $a_{i,j}$  – коефіцієнти математичної моделі;  $i=1,2$  означає відношення до першої або другої стадії технологічного процесу.

Відносно другої стадії математична модель має такий вигляд:

$$m(f, t_2) = b_1 + b_2f + b_3t_2 + b_4f^2 + b_5t_2^2 + b_6ft_2, \quad (2)$$

де  $b_i$  – коефіцієнти математичної моделі.

Використання моделі виду (1), (2) дає можливість знайти, у певному розумінні, найкращі сполучення показників технологічного процесу відносно до показників якості.

Згідно із загальною теорією проведення експериментальних досліджень для визначення коефіцієнтів моделі першої стадії (підсушування) шляхом проведення повного факторного експерименту необхідно побудувати таблицю, яка складається з 21 дослідів. У ній відтворюються всі можливі сполучення між вхідними змінними, а також можуть додаватися й інші точки, які являють певний науковий інтерес. З метою зменшення числа дослідів у якості плану експерименту було обрано  $D$  – оптимальний насичений план, який складається з 10 дослідів. Цей план не передбачає перевірку всіх комбінацій вхідних величин, як у плані повного факторного експерименту, але він за точністю відтворення математичної моделі наближається до нього. Кодовані значення кожної змінної визначалися за формулою

$$X = \frac{x - \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}}{\frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}} \quad (3)$$

де  $X$  – кодоване значення змінної,  $x$  – природне значення змінної.

За наведеною таблицею було визначено значення показників якості відповідних технологічних стадій процесу.

Після проведення експерименту створюється матриця експерименту  $F$ , яка враховує обраний вид математичної моделі. У кожній точці експерименту проводилось не менше двох вимірювань із метою зменшення впливу похибок вимірювання, і для подальшого обчислення коефіцієнтів моделі брали середнє значення проведених вимірювань. Побудована матриця експерименту  $F$ , матриця значень результатів експерименту  $Y$  та вектор  $a$  визначених коефіцієнтів відповідної математичної моделі, що описують залежність зміни вихідних показників від параметрів технологічного процесу.

Визначення коефіцієнтів моделі проводилося за формулою

$$a = (F^T F)^{-1} F^T Y, \quad (4)$$

де  $Y$  – матриця даних експерименту.

Обчислення коефіцієнтів моделі та подальші розрахунки проводилися з використанням програми MathCAD [3].

Таким чином для кожної стадії цього технологічного процесу було отримано дві моделі виду (1) та одна модель виду (2) для кожного показника якості готового продукту.

Приклад розрахунку математичної програмою MathCAD моделі наведено на рис. 1.

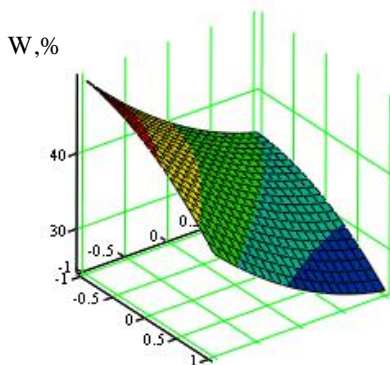
У результаті розрахунку було знайдено коефіцієнти математичної моделі, яка у програмі MathCAD має вигляд

Позначення  
я  $x$  - T;  $y$  - V;  $z$

$$Y1(x, y, z) := a_1 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot y + a_4 \cdot z + a_5 \cdot x^2 + a_6 \cdot y^2 + a_7 \cdot z^2 + a_8 \cdot xy + a_9 \cdot xz + a_{10} \cdot y \cdot z \quad (5)$$

$$Y2(x, y, z) := b_1 + b_2 \cdot x + b_3 \cdot y + b_4 \cdot z + b_5 \cdot x^2 + b_6 \cdot y^2 + b_7 \cdot z^2 + b_8 \cdot xy + b_9 \cdot xz + b_{10} \cdot y \cdot z$$

Перевірка за статистичними критеріями щодо адекватності моделей показала, що вони правильно відтворюють показники технологічного процесу і можуть бути використані для проведення подальших досліджень. Таким чином кожний показник якості готового продукту певної стадії може бути описаний відповідними співвідношеннями, де в якості змінних використовуються вхідні параметри процесу.



**Рис. 1. Моделювання зміни вологості від швидкості подачі повітря та часу обробки за певної температури повітря, що подається під час технологічної обробки за  $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$**

Аналогічно була визначена математична модель для стадії механічної обробки, яка має вигляд

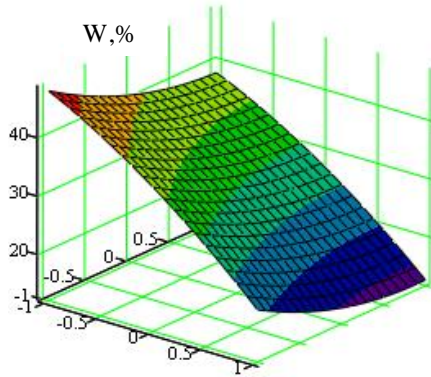
Позначення

$$M(x, y) := a_1 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot y + a_4 \cdot x^2 + a_5 \cdot y^2 + a_6 \cdot x \cdot y \quad (6)$$

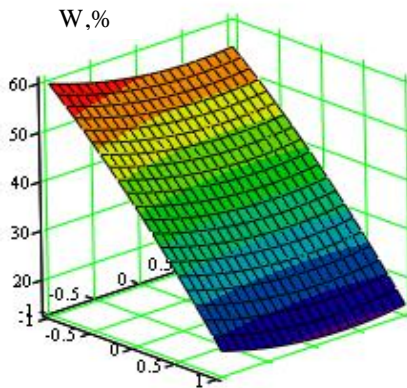
На основі здобутих моделей можна провести попередній аналіз технологічного процесу. Всі коефіцієнти моделі мають приблизно однакову «вагомість», і тому недоцільно деякі з них вилучати.

Знайдені математичні залежності дають можливість відтворити зміну показників процесу залежно від вхідних змінних. Наприклад, на рис. 2 наведено зміну показника вологості від швидкості подачі повітря  $V$  та часу обробки  $t_1$  при трьох заданих значеннях температури повітря.

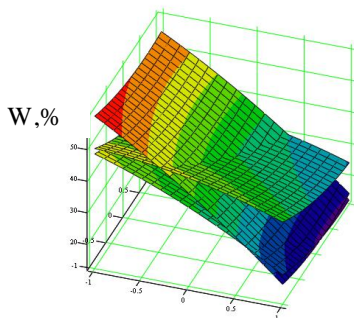
Першочерговим етапом дослідження комбінованого процесу очищення часнику є проведення заходів із визначення впливу внутрішніх і зовнішніх чинників, що передумовлюють протікання процесу в цілому. При цьому потрібно враховувати, що комбінований процес очищення складається з двох взаємозв'язаних процесів: сушіння та механічного впливу. Причому механічний вплив, як і сушіння, взаємодіють не послідовно, а одночасно.



**Рис. 2. Моделювання зміни вологості від швидкості подачі повітря та часу обробки за певної температури повітря, що подається під час технологічної обробки за  $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$**



**Рис. 3. Моделювання зміни вологості від швидкості подачі повітря та часу обробки за певної температури повітря, що подається під час технологічної обробки за  $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$**



**Рис. 4. Моделювання зміни вологості від швидкості подачі повітря та часу обробки за певної температури повітря, що подається під час технологічної обробки за  $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$   $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$**

Так процес сушіння в контексті запропонованого способу полягає в наступному. Часник з вихідними показниками вологості  $W=35\text{--}40\%$  завантажується до бункера, де, проходячи крізь гумові валки, розчавлюється на окремі дольки, звідки потрапляє до перфорованої робочої камери. Ураховуючи, що в подальшому часник піддається механічному впливу, тобто удару його по поверхні камери, необхідним стає визначення впливу вологості на ефективність процесу. У якості визначального показника рівня сушіння було обрано зусилля відриву лущиння від часнику. На основі проведених досліджень встановлено, що сушіння за температури теплоносія на рівні  $40\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$  призводить до довготривалого процесу і суттєво знижує масу цінної частини сировини ( $3\text{--}5\%$  від загальної маси). Тому подальші дослідження були проведені за температури  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  і вище.

Для подальших досліджень було обрано температурні параметри сушіння  $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$   $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  за відповідних показників швидкості подачі повітря  $V_{\text{max}}=36\text{ м/с}$  /  $V_{\text{cp}}=24\text{ м/с}$  /  $V_{\text{min}}=12\text{ м/с}$  та тривалості обробки  $t_{1\text{max}}=420\text{ с}$  /  $t_{1\text{cp}}=315\text{ с}$  /  $t_{1\text{min}}=210\text{ с}$ .

Першими були проведені дослідження впливу температури сушильного агента  $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Під час досліджень спостерігалось інтенсивне підсушування луски часнику нижніх шарів насипної маси, проте відносно невелика швидкість повітряного потоку призводила до підсушування лише  $30\text{--}40\%$  від загальної маси часнику та збільшення часу сушіння до  $600\text{ с}$ , що робить процес за таких умов недоцільним і малоефективним. Подальше збільшення температури до  $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$  в значній мірі пришвидшувало процес та кількість сушеної частки на рівні  $60\text{--}75\%$  і зниження тривалості сушіння до  $420\text{--}480\text{ с}$ , проте ці



дані недостатньою мірою задовольняли необхідні умови для подальшої реалізації процесу. У подальшому температура носія збільшена до  $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Швидкість сушіння значно пришвидшилась, до рівня 360–420 с та збільшилась кількість сушеної маси до 88–97%. Проте слід відзначити, що спостерігалось таке негативне явище, як підпікання істотної частини часнику і зміна зовнішнього вигляду. Часник змінював колір із білого на жовтий, а поверхня розм'якшувалась, що є неприпустимим для цього виду продукції.

Для забезпечення зниження температури сушильного агенту було прийнято рішення про підвищення швидкості подачі сушильного агента. Так збільшення швидкості  $V=8\text{...}12\text{ м/с}$  показало, що значно зростає ефективність сушіння, знижується його тривалість сушіння до 360–420 с, причому спостерігається мінімальне зусилля відриву луски, яке знаходиться на рівні 60–70 Н.

На основі проведених досліджень та порівняльного аналізу було встановлено, що оптимальними показниками для реалізації процесу сушіння є  $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V=12\text{ м/с}$  та тривалість сушіння 420 с. Ці оптимальні параметри забезпечують мінімальне значення  $R_{\text{відр}}$ , що повній мірі забезпечує другу складову процесу комбінованого очищення – зняття луски з поверхні часнику.

Другою складовою процесу очищення часнику є його механічна обробка, яка реалізується таким чином. Підсушений часник, що знаходиться в камері, піддається коливальному впливу робочої камери. Тобто камера здійснює коливальні рухи, завдяки яким зубці часнику ударають по її поверхні, відбувається розтріскування підсушеної луски вздовж та у місці зростання з донцем.

Таблиця 3.3

**Результати ефективності очищення часнику за тривалості обробки  $t_2=300\text{ с}$**

№ з/п	Частота обробки $f$ , Гц	Кількість очищеного часнику, %	Кількість пошкодженого часнику, %
1	120	65–72	3–6
2	240	87–91	3–5
3	360	98–99	1–2

Для дослідження були обрані партії часнику із початковою вологістю  $W=40\text{--}60\%$ , як мінімально необхідна для реалізації процесу. Основним чинником, що впливатиме на якість процесу, будуть вологість  $W$ , тривалість обробки  $\tau$ , частота коливань  $f$  камери.

Ураховуючи, що вологість луски часнику після підсушування становила  $W=14-16\%$  і є мінімальною, то в подальшому цей показник не змінювався. Під час дослідження процесу відокремлення луски змінювалась частота в межах  $f_{\max}=360 \text{ T}^{-1} / f_{\text{cp}}=240 \text{ T}^{-1} / f_{\min}=120 \text{ T}^{-1}$  та тривалість. Показником, що обумовлював оптимальність протікання процесу, була якість очищення, тобто кількість очищеного від луски часнику та кількість пошкоджених зубців часнику.

**Висновки.** Слід зазначити, що точність визначення параметрів технологічного процесу обробки та їх значення великою мірою обумовлені значенням та стабільністю технологічних показників сировини, що переробляється. Тому якщо осередненні технологічні показники значення сировини, що надходить на переробку, будуть суттєво відрізнятися від значень, що використовувалися під час розробки та досліджень математичних моделей, то доцільно провести додаткові досліді, що мають метою уточнення коефіцієнтів математичних моделей для кожного показника якості для встановлення доцільних значень. Це дасть змогу шляхом математичного моделювання, без проведення фізичних експериментів, внести необхідні корективи й визначити змінені значення вхідних параметрів технологічного процесу.

У результаті проведених досліджень знайдено, що доцільні параметри процесу мають значення  $T=60 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V=12 \text{ м/с}$ ,  $t_1=420\text{с}$ . Ця сукупність вхідних змінних забезпечує «доцільні» показники вихідних значень якості готового продукту та відповідають значенням поставленим під час розробки. Щодо другої стадії, то максимальний вихід готового продукту буде забезпечено за наступних значень вхідних параметрів – частота обробки  $f=360 \text{ Гц}$ ; час обробки  $t_2=300 \text{ с}$ .

### Список джерел інформації / References

1. Методы исследований и организация экспериментов / под ред. проф. К. П. Власова. – Х. : Гуманитарный центр, 2002. – 256 с.  
Vlasova, K. (2002), *Metodi issledovanyij i organizacsii eksperimentov*, Gumanitarnij centr, Kharkiv, 256 p.
2. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М. : Вильямс, 2007. – 912 с.  
Drejper, N., Smit, G. (2007), *Prikladnoj regressionnsj analiz*. Viliyams, Moscow, 912 p.
3. Mathcad 11/12/13 в математике. В. П. Льяконов. Справочник. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 928 с.  
Liyakonov, V. P. (2007), *Mathcad 11/12/13 v matematike*, Goryachaya liniya – Telekom, Moscow, 928 p.
4. Расстригин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами. – М. : Сов. Радио, 1980. – 232 с.  
Rasstrygin, L. A. (1980), *Sovremennie principii upravleniya slozhnimi objektami*. Sov. Radio, Moscow, 232 p.

5. Многокритериальная оптимизация, Теория, вычисления и приложения / Р. Штойер: пер. с английского. М. : Радио и связь, 1992. – 504 с.  
Shtojer, R. (1992) *Mnogokriterialnaya optimizaciya, Teoriya, vychisleniya i prilozheniya* [Per. s aneliiskogo], Radio i svyaz, Moscow, 504 p.

6. Терешкін О. Г. Розробка ресурсозберігального способу очищення часнику та перспективні шляхи розробки його апаратного оформлення / О. Г. Терешкін // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. – Харків : ХДУХТ, 2015. – Вип. 1 (21). – С.180–188.

Tereshkin, O.G., Gorielkov, D.V., Afukova, N.O., Mel'nik, K.G. (2015), *Rozrobka resursozberigal'nogo sposobu ochy'shemnya chasny'ku ta perspektivni shlyahi rozrobki jogo aparaturnogo oformlennya, Progresivni tehnika ta texnologiyi harchovih virobnicztv restorannogo gospodarstva i torghivli : zb. nauk. pr.*, XDUHT Kharkiv, Vol. 1 (21), pp. 180-188.

7. Пат. 1745193 Союз Советских Социалистических Республик, МПК А 23 N 15/08. Способ очистки луковичных культур / С. Д. Мальшев, Л. М. Ермакова ; заявитель и патентообладатель ВНИОППСИП и ВНИИКОП. – № 4842989/13 ; заявл. 07.05.90 ; опубл. 07.05.90, Бюл. № 25. – 2 с.

Malishev, S.D., Ermakova, L.M. (1990), *The purification process of the onion crop*. USSR. Pat. 1745193.

8. Пат. 843932 Союз Советских Социалистических Республик, МПК А 23 N 15/08. Устройство для очистки лука и чеснока от покровных листьев / Р. Е. Векслер, Ю. Г. Вайншток ; заявитель и патентообладатель Одесское специальное конструкторско-технологическое бюро продовольственного машиностроения. – № 2791781/28-13 ; заявл. 04.07.79 ; опубл. 07.07.81, Бюл. № 25. – 3 с.

Veksler, R.E., Vajnshtok, U.G., (1981), *Device for cleaning from garlic and onion leaves cover*. USSR. Pat. 843932.

**Терешкін Олег Георгійович**, д-р техн. навк. доц., кафедра готельного і ресторанного бізнесу. Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: tereshkin09@mail.ru.

**Терешкин Олег Георгиевич**, д-р техн. наук, доц., кафедра гостиничного и ресторанного бизнеса. Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, Харьков, Украина, 61051. E-mail: tereshkin09@mail.ru.

**Tereshkin Oleg**. Doctor of technical sciences. Professor. Department of hotel and restaurant business, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: tereshkin09@mail.ru.

**Горелков Дмитро Вікторович**, канд. техн. наук, доц., кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: gorelkov.dmv@gmail.com.

**Горелков Дмитрий Викторович**, канд. техн. наук, доц., кафедра оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М.И. Беляева. Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, Харьков, Украина, 61051. E-mail: gorelkov.dmv@gmail.com.

**Horielkov Dmitriy**, Candidate of Science, associate Professor, Department of food and hotel industry equipment named after M.I. Belyaev. Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. E-mail: gorelkov.dmv@gmail.com.

**Удовенко Олег Александрович**, канд. техн. наук, доц., Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, м. Кривий Ріг. Адреса: вул. Островського, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. E-mail: office@donnuet.edu.ua.

**Удовенко Олег Александрович**, канд. техн. наук, доц., Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, г. Кривой Рог. Адрес: ул. Островского, 16, г. Кривой Рог, Украина, 50005, E-mail: office@donnuet.edu.ua.

**Udovenko Oleg**, Candidate of Science, associate Professor, Donetsk National University of Economics and Trade. Address: Ostrovskogo str., 16, Kriviy Rig, Ukraine, 50005. E-mail: office@donnuet.edu.ua.

**Омельченко Александр Володимирович**, канд. техн. наук, доц., Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, м. Кривий Ріг. Адреса: вул. Курчатова, 13, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. E-mail: office@donnuet.edu.ua

**Омельченко Александр Владимирович**, канд. техн. наук, доц., Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, г. Кривой Рог. Адрес: ул. Островского, 16, г. Кривой Рог, Украина, 50005, E-mail: office@donnuet.edu.ua.

**Omelchenko Oleksandr**, Candidate of Science, associate Professor, Donetsk National University of Economics and Trade. Address: Ostrovskogo str., 16, Kriviy Rig, Ukraine, 50005. E-mail: office@donnuet.edu.ua.

**Перекрест Владимир Викторович**, Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, м. Кривий Ріг. Адреса: вул. Курчатова, 13, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. E-mail: office@donnuet.edu.ua.

**Перекрест Владимир Виктрович**, Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, г. Кривой Рог. Адрес: ул. Островского, 16, г. Кривой Рог, Украина, 50005, E-mail: office@donnuet.edu.ua.

**Perekrest Volodimir**, Assistant of Professor, Donetsk National University of Economics and Trade. Address: Ostrovskogo str., 16, Kriviy Rig, Ukraine, 50005. E-mail: office@donnuet.edu.ua.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. А.А. Дубініною.  
Отримано 15.04.2017. ХДУХТ, Харків.*