

УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ІНТЕНСИВНОГО ПРАННЯ ТА СУШІННЯ ВІЙСЬКОВОГО ОБМУНДИРУВАННЯ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Дем'янчук Б. О.

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри автотехнічного забезпечення
Військової академії (м. Одеса)
ORCID ID: 0000-0002-2862-9412

Угольніков О. П.

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
професор кафедри автотехнічного забезпечення
Військової академії (м. Одеса)
ORCID ID: 0000-0003-3007-9285
Researcher ID: C-5355-2016

Бісько О. Г.

викладач кафедри автотехнічного забезпечення
Військової академії (м. Одеса)
ORCID ID: 0000-0002-1931-2069

Анотація. Завдання організації прання та сушіння військового обмундирування в польових умовах є досить складним у реалізації. Очевидно, що процеси прання та сушіння мають задовольняти декільком обов'язковим умовам. По-перше, ці процеси повинні бути максимально швидкими з очевидних причин. По-друге, вони повинні бути енергоекономічними, що дасть можливість здійснити прання та сушіння обмундирування в умовах відсутності потужних електрогенераторів. По-третє, вказані процеси повинні споживати обмежену кількість води, не завдавати шкоди довкіллю через застосування миючих хімікатів і, нарешті, гарантувати повне висушування одягу в самій камері для прання та сушіння.

Для відповідності цим вимогам в роботі пропонується устаткування, що комплексно вирішує сформульоване завдання. Мікрохвильово-теплова машина здійснює миття та сушіння військового обмундирування в мікрохвильовій камері нерезонансного типу, у якій створене рівномірне температурне поле. Для цього на внутрішній поверхні камери та на перфорованій перегородці, на якій розміщується обмундирування, нанесене поглинаюче феритове покриття. Воно перешкоджає утворенню стоячих хвиль і перетворює енергію рівномірного за обсягом мікрохвильового поля на теплову енергію. У роботі вперше обґрунтоване використання двошарового феритового покриття для зменшення відбиття мікрохвильового поля від внутрішньої поверхні камери та відповідного збільшення частки енергії поля, що перетворюється на теплову. Також пропонується метод визначення електричних і магнітних характеристик обох шарів феритового покриття.

Конструкція мікрохвильової камери для миття та сушіння включає декілька додаткових пристроїв: по-перше, мікрохвильовий концентратор енергії поля на об'єкті, що підлягає обробці; по-друге, ультразвуковий генератор для екологічно безпечного прання без використання миючих засобів; по-третє, вакуумний насос для видалення повітря та вологи з камери для інтенсифікації процесу сушіння; по-четверте, тепловий насос для утилізації теплової енергії та висушування вологого повітря. Їх узгоджене функціонування, згідно з розрахунками, дозволяє вирішити проблему швидкого, енергоефективного й екологічно безпечного прання військового обмундирування в польових умовах.

Ключові слова: військове обмундирування, мікрохвильова камера, вакуум-насос, тепловий насос.

Demianchuk B. O., Ugolnikov A. P., Bisko O. H. EQUIPMENT FOR INTENSIVE WASHING AND DRYING OF MILITARY UNIFORMS IN THE FIELD

Abstract. The task of organizing the laundry and drying of military uniforms in the field is quite a difficult one to implement. Obviously, the washing and drying processes must meet several mandatory conditions. First, these processes must be as fast as possible for obvious reasons. Secondly, they must be energy-efficient, which will make it possible to wash and dry uniforms in the absence of powerful power generators. Third, these processes should consume a limited amount of water and not harm the environment.

To meet these requirements, the paper proposes equipment that comprehensively solves the problem. The microwave-heat machine washes and dries military uniforms in a microwave chamber of a non-resonant type, in which a uniform temperature field is created. For this purpose, an absorbent ferrite coating is applied to the inner surface of the chamber and to the perforated partition on which the uniform is placed. It prevents the formation of standing waves and converts the energy of the microwave field into thermal energy. The use of a two-layer ferrite coating to reduce the reflection of the microwave field from the inner surface of the chamber and to increase the fraction of the field energy converted into thermal energy is substantiated for the first time. A method for determining the electrical and magnetic characteristics of both layers of the ferrite coating is also proposed.

The design of the microwave chamber for washing and drying includes several additional devices: first, a microwave field energy concentrator on the object to be processed; second, an ultrasonic generator for environmentally safe washing without the use of detergents; third, a vacuum pump to remove air and moisture from the chamber to intensify the drying process; fourth, a heat pump for utilizing thermal energy and drying humid air. Their coordinated functioning, according to calculations, allows solving the problem of

Key words: military uniforms, microwave chamber, vacuum pump, heat pump.

1. Постановка проблеми

Тилове забезпечення є складовою частиною матеріально-технічного забезпечення бойових дій військ. Воно являє собою комплекс заходів, спрямованих на задоволення матеріальних, транспортних, побутових та інших потреб військ із метою підтримання їх у бойовій готовності для ведення бойових дій чи виконання повсякденних завдань [1]. Одним із важливих завдань тилового забезпечення є організація лазне-прального обслуговування особового складу підрозділів (частин, з'єднань).

В організації лазне-пральне обслуговування особового складу Збройних сил України (далі – ЗСУ) у польових умовах використовуються традиційні технології. Вони реалізуються за допомогою мобільних лазне-пральних комплексів (далі – МЛПК) і мобільних лазне-пральних модулів (далі – МЛПМ) виробництва Крюківського вагобудівного заводу. Мобільний лазне-пральний комплекс складається із двох модулів, як-от: пральний модуль, розміщений на базі автомобіля КрАЗ-63221, та лазневий модуль, розміщений на базі причепа КрАЗ-А181 [2]. Мобільний лазне-пральний модуль розміщується тільки на одному автомобілі КрАЗ-63221 [3].

МЛПК має систему автономного електропостачання (дизель-генератор потужністю 13 кВт), два водонагрівачі (дизельний і твердопаливний) потужністю по 30 кВт, запас води 3 000 л. Процес прання та сушіння є досить довгим – приблизно дві години, тому за добу одним комплексом обслуговуються тільки 25–30 осіб [4].

Аналогічну будову, хоча і більш досконалу технічно, мають мобільні польові пральні

машини TFL 25 та CFL 60 фірми “Karcher Futuretech GmbH”, що містять розташовані на трейлері блок прання; блок віджимання; блок живлення; блок нагріву камери сушіння теплим повітрям, які пов'язані із блоком контролю й управління процесом миття/сушіння.

Цим традиційним технологіям притаманні окремі неусувні недоліки: високі енергетичні ресурсовитратність, забруднення навколишнього середовища миючими засобами, велика протяжність процесів прання та сушіння, незахищеність від засобів повітряної розвідки противника.

З вищесказаного випливає актуальність даного дослідження, що присвячене розробленню устаткування для лазне-прального обслуговування особового складу ЗСУ в польових умовах на основі використання нових перспективних технологій, вільних від вказаних недоліків. Пропонуються нова технологія та схема устаткування для прання та сушіння військового обмундирування, яка включає:

- використання води будь-якої початкової температури;
- здійснення прання без використання миючих засобів;
- віджимання без використання центрифуги;
- надшвидкісне мікрохвильове сушіння в рівномірному за обсягом мікрохвильовому полі;
- повне конвекційне остаточне досушування одягу та білизни за допомогою теплового насоса;
- досягнення синергетичного ефекту узгодженням напрямів градієнтів величин вологовмісту, тиску парів і температури.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Методи сушіння речовин і виробів у мікрохвильовому полі використовуються із середини 20 ст. Основну увагу дослідників завжди привертала процеси мікрохвильової обробки харчових продуктів і сільськогосподарської сировини для їх виготовлення.

У статті [5] розглянуто промислове використання технології мікрохвильового сушіння. Зазначено, що ця технологія на тепер має експериментальний характер і не знайшла широкого застосування у сфері виробництва. Основні недоліки експериментальних зразків полягають у відсутності реалізації технологічного режиму біжучої хвилі у традиційному сушильному обладнанні для миття та сушіння продуктів.

У роботі [6] розглянуто сушіння шматків плодів манго трьома методами: сушіння гарячим повітрям, мікрохвильове вакуумне сушіння та комбінований метод. Аналіз зразків показав неоднорідність сушіння за об'ємом, причому найкращу якість продемонстрував комбінований метод. Результати дослідження демонструють доцільність використання комбінованих методів сушіння та застосування нерезонансної камери, у якій замість стоячої хвилі реалізована технологія біжучої хвилі.

Огляд останніх досліджень в області використання електромагнітного випромінювання різних частот для висушування харчових продуктів можна знайти в роботі [7].

У праці [8] представлені результати висушування деревини з метою підвищення її проникності та покращення якості просочення її захисними речовинами. Висушування проводилось у мікрохвильовій камері, але жодних подробиць стосовно конструкції камери, методів вилучення вологи з камери, впливу неоднорідності мікрохвильового (отже, температурного) поля, що є наслідком виникнення стоячої хвилі в об'ємі камери, у статті не наводиться.

3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є розроблення оптимальної принципової схеми мікрохвильово-теплової машини (далі – МХТМ) для прання та сушіння військового обмундирування

в польових умовах. Для досягнення сформульованої мети запропоновано об'єднання функціональних елементів обладнання для реалізації технології інтенсивної й екологічно безпечної мікрохвильово-теплової обробки, а саме прання та сушіння військового обмундирування в польових умовах:

- визначити засоби для здійснення прання в мікрохвильовій камері без використання хімічних речовин (миючих засобів), в однорідному температурному полі, а також без шкідливого та демаскуючого випромінювання поля з камери;

- визначити параметри покриття поверхні двошаровим поглинаючим матеріалом, що служить перетворювачем електромагнітної енергії мікрохвильового випромінювання на теплову, з метою узгодження хвильового опору повітря та поглинаючого покриття;

- визначити технічні засоби для повного видалення вологи з обмундирування під час його сушіння без використання центрифуги.

4. Виклад основного матеріалу

Мікрохвильово-теплова (далі – МХ-Т) машина належить до мийно-сушильного технологічного обладнання для прання та сушіння військового обмундирування в польових умовах, за обмежених ресурсів електроенергії, води та часу. Технічне завдання полягає в застосуванні нової сукупності функціонально зв'язаних елементів для вдосконалення якісних показників мийно-сушильного технологічного обладнання для інтенсивного прання й енергетично економічного сушіння будь-якого обмундирування з великими забрудненнями, з будь-якою початковою температурою води, без використання хімічних миючих засобів і без необхідності досушування речей на відкритому просторі.

Відправним пунктом для реалізації сформульованого завдання було обрано мікрохвильово-теплову машину для миття та сушіння гетерогенних матеріалів [9]. З урахуванням специфіки практичної спрямованості завдання, до конструкції машини були внесені деякі вдосконалення, що дозволило помітно підвищити енергетичну ефективність устаткування [10].

Для досягнення цього результату запропоноване збільшення рівномірності поля

в камері для миття/сушіння, теплове розмежування елементів теплового насоса та забезпечення спрямованого потоку вологого повітря із зони активізації миття та спрямованого потоку теплого та сухого повітря із зони активізації сушіння в мікрохвильову камеру.

Принципова схема мікрохвильово-теплової машини для прання та висушування військового обмундирування наведена на рис. 1.

До конструкції мікрохвильово-теплової машини входять такі елементи. У корпусі 1 розміщена мікрохвильова камера 2 зі шлюзом 3 з ущільненням і з розташованою в середині неї горизонтальною перфорованою перегородкою 4. Блок створення вакууму 5 у вигляді вакуумного насоса з'єднаний з верхньою частиною об'єму камери 2, з метою запобігання прямому контакту каналу створення вакууму з водою для миття.

Ультразвуковий випромінювач 6 розташований усередині камери 2 так, щоб завжди був розташований нижче за мінімальний рівень води для прання та забезпечував використання кавітаційного ефекту на частоті механічних коливань 20–30 кГц.

Відсічні клапани 7, 8, 9, 10 розташовані на вході (виході) камери 2 і забезпечують: 7 – подачу води в камеру 2; 8 – скидання води після прання; 9 – відкачку повітря з камери 2 за допомогою блока 5; 10 – випуску/подачі повітря.

Випромінювач електромагнітних хвиль 11 є з'єднаним своїм входом із виходом мікрохвильового генератора 12, а виходом – з радіопрозорим кварцовим шлюзом 13 з ущільненням у боковій стінці камери 2.

Двошарове композитне термоеластопластове феритове покриття-перетворювач 16

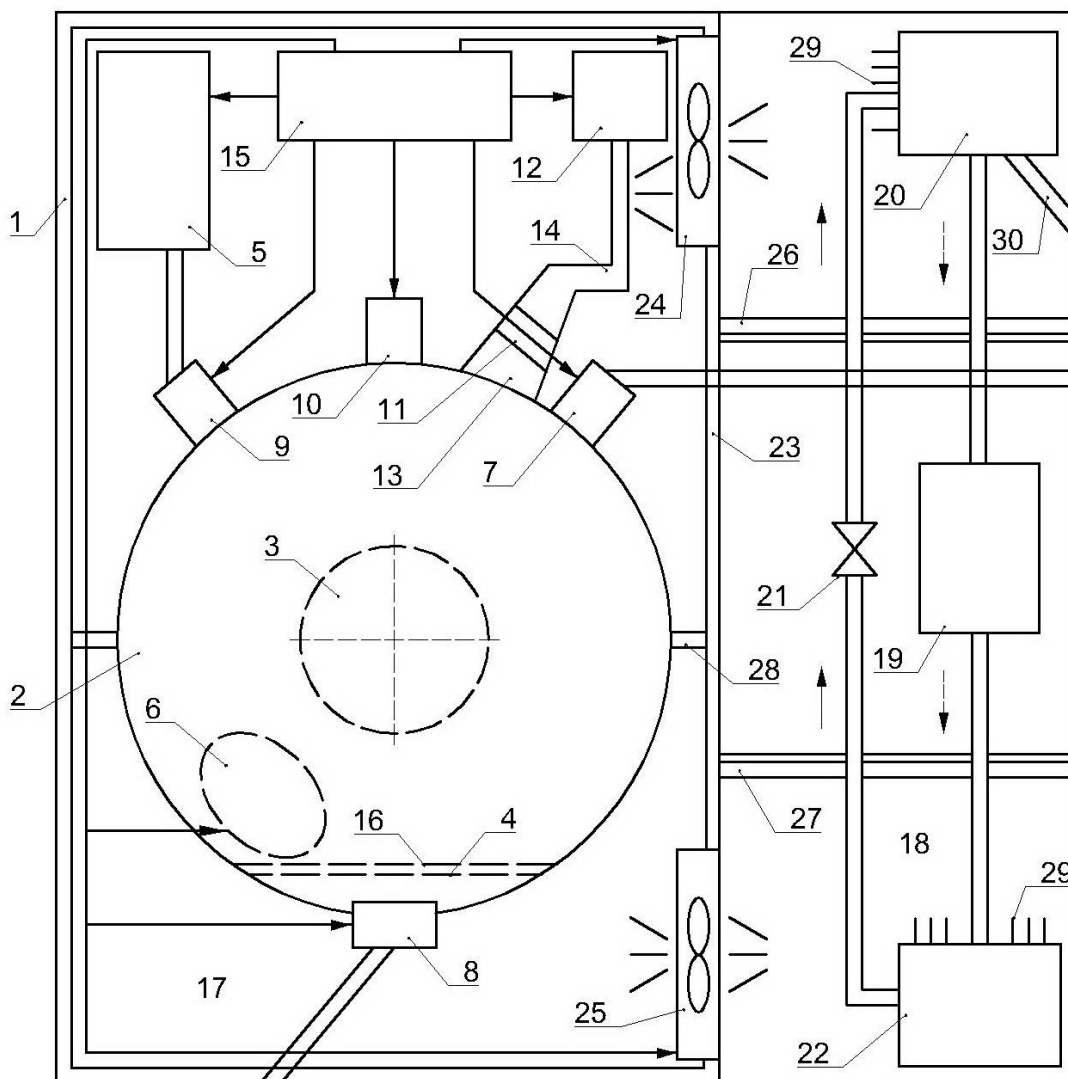


Рис. 1. Принципова схема мікрохвильово-теплової машини

баластової електромагнітної енергії на теплову нанесено на горизонтальну перфоровану перегородку 4. Верхній шар цього композитного покриття має параметри хвильового опору, які узгоджені із цими параметрами повітря та другого шару. Цей шар покриття 16 має хвилевий опір, що дорівнює середньому геометричному значенню хвильових опорів повітря та композиту другого шару покриття 16, який має сумірні відносні величини діелектричної та магнітної проникності та відповідні величини провідності, що нормовані сталими вакууму.

Випромінювач електромагнітних хвиль містить лінзу 14 корегування фронту хвилі, а розміри розкриття випромінювача обернено пропорційні відповідним розмірам горизонтальної перфорованої перегородки 4.

Блок 15 живлення й управління підключається до блока створення вакууму 5, до мікрохвильового генератора 12, до ультразвукового випромінювача 6 та до відсічних електрокеруваних клапанів 7, 8, 9, 10.

Окрім того, мікрохвильово-теплова машина містить зону 17 мікрохвильової активації прання-сушіння і зону 18 теплової активації процесу сушіння у складі послідовно з'єднаних компресора 19, конденсатора 20, дросельного вентиля 21 і випарника 22.

Зони розділені вертикальною перегородкою 23 з вентиляційними шлюзами. Вентилятор 24 нагнітання вологого повітря до випарника 22 і вентилятор 25 відбору теплого повітря від конденсатора 20 вмонтовані у шлюзи вертикальної перегородки 23. Блок 15 живлення й управління підключений також до вентиляторів 24, 25 та до компресора 19.

Двошарове композитне термоеластопластове феритове покриття-перетворювач 16 баластової електромагнітної енергії на теплову енергію, що нанесене на горизонтальну перфоровану перегородку 4, є полімеризаційне наповненим.

Воно містить дисперсний магнітний електропровідний наповнювач, оксид перехідних металів, у виді сполуки $\text{Fe}_3\text{O}_4 = (\text{Fe})^{2+}(\text{Fe}_2)^{3+}(\text{O}_4)^{2-}$ з молекулярною структурою шпінелі оберненого типу.

Зона 17 мікрохвильової активації миття/сушіння розділена посередині теплоізоля-

ційною горизонтальною перегородкою 28, а зона 18 теплової активації процесу сушіння розділена на три частини двома перепускними перегородками у складі загальної теплової зони 18.

Зона 18 розділена: на зону для випарника 22 з температурою (5–7) °С, що оснащений теплообмінними пластинами 29 і жолобом для зливу конденсату 30, – за допомогою перепускної перегородки 26; на зону для компресора 19 і дросельного вентиля 21; на зону для конденсатора 20 із температурою (60–70) °С, який також оснащений теплообмінними пластинами 29 – за допомогою перепускної перегородки 27.

Досягненню потрібної якості отриманої продукції після миття та сушіння насамперед сприяє двошарове композитне феритове покриття 16 із сумірними відносними рівнями діелектричної та магнітної проникності, що нормовані відповідними сталими повітря, а також феритовий наповнювач із напівпровідниковою електропровідністю на рівні (10^3 – 10^4) Сіменсів/м для наповнення полімерної термоеластопластової основи композитного покриття 16, спосіб отримання якого описаний у патенті [11].

Мінімум відбиття електромагнітної хвилі від межі розділу «повітря – композит» доцільно забезпечити вибором близьких за величиною характеристичних (хвильових) опорів W_0 , W_{01} , W_1 середовищ, що межують:

$$\dot{W}_{01} = \sqrt{W_0 \cdot \dot{W}_1}. \quad (1)$$

Оптимальний (тобто максимальний) рівень коефіцієнта проходження хвилі із середовища повітря в модернізований композит 16, згідно з (1), дорівнює:

$$\begin{aligned} \dot{\tau}(\dot{W}_{01}) &= \frac{2\dot{W}_{01}}{W_0 + \dot{W}_{01}} \cdot \frac{2W_1}{\dot{W}_{01} + W_1} = \\ &= 4 \frac{\sqrt{W_0 \cdot W_1}}{W_0 + \sqrt{W_0 \cdot W_1}} \cdot \frac{W_1}{\sqrt{W_0 \cdot W_1} + W_1} = \quad (2) \\ &= 4 \left(1 + \sqrt{\frac{W_0}{W_1}} \right)^{-2}. \end{aligned}$$

Саме цей результат узгодження параметрів трьох середовищ, а головне, двошарова

структура покриття 16, забезпечують повне згасання потужності хвилі, а саме, практичну відсутність «стоячої хвилі» у мікрохвильовій камері 2. Це сприяє суттєвій інтенсифікації процесу миття/сушіння.

Окрім того, наявність теплового насоса у складі теплоізолюваних (за допомогою перегородок 26, 27, 28) випарника 20, конденсатора 22, дросельного вентиля 21 і компресора 19 сприяє суттєвому зменшенню витрат часу й енергії на сушіння у складі циклу «миття – сушіння», а також зменшенню витрати енергії більш ніж у 5 разів.

Справді, для типових умов практичного функціонування блоків теплового насоса: компресора, конденсатора, дросельного вентиля та випарника, у конденсаторі 22 зазвичай встановлюється температура $T_1 = 340\text{ K}$ ($67\text{ }^\circ\text{C}$), а у випарнику 20 – температура $T_2 = 279\text{ K}$ ($6\text{ }^\circ\text{C}$), тому коефіцієнт перетворення енергії за допомогою теплового насоса становить:

$$\xi_{\text{нас}} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = 5.6.$$

Це показує, що під час процесу мікрохвильово-теплового сушіння та досушування, за умов прийнятних значень коефіцієнта відбору вологи від вологого повітря випарником 20 за допомогою вентилятора нагнітання повітря 24 та прийнятних значень коефіцієнта тепловіддачі сухому повітрю від конденсатора 22 за допомогою вентилятора 25 у камеру 2, на 1кВт потужності, що є витраченою на роботу компресора 19, процес мікрохвильового сушіння буде додатково отримувати рівень теплової потужності, який є еквівалентним 5,6 кВт.

Отже, позитивний ефект для інтенсивного миття/сушіння МХТ-машиною дозволяє суттєво зменшити непродуктивні витрати енергії та витрати часу прання та висушування військового обмундирування, що важливо в польових умовах за наявності обмежених ресурсів.

5. Висновки

1. Інтенсивність і ефективність прання та сушіння військового обмундирування можна підвищити завдяки комплексному й узгодженому застосуванню нових технологій, як-от:

- використання генератора ультразвукових коливань для прання одягу та білизни без використання миючих засобів завдяки ефекту кавітації;

- створення вакууму в камері для зменшення затухання ультразвукових коливань під час прання;

- підігрів води та білизни за допомогою рівномірного за об'ємом камери мікрохвильового поля, для інтенсифікації та підвищення якості процесу прання;

- покриття стінок мікрохвильової камери та перфорованої перегородки поглинаючим покриттям-перетворювачем енергії електромагнітного поля на теплову для створення біжучих хвиль в об'ємі камери й інтенсифікації процесу сушіння;

- використання енергії атмосферного тиску для початкового видалення відпрацьованої брудної води після закінчення етапу прання;

- підвищення енергоефективності та якості висушування обмундирування завдяки використанню теплового насоса.

2. Реалізація нової технології прання та сушіння військового обмундирування в польових умовах без використання пральних порошків, без локальних недогрівів і перегрівів у камері, без повільного та демаскуючого досушування просто неба забезпечується комплексом агрегатів, дія яких цілком узгоджена.

3. За попередніми підрахунками, використання мікрохвильово-теплової машини запропонованої конструкції дозволить зменшити витрати енергії на прання та сушіння одягу та білизни в польових умовах від п'яти до десяти разів, суттєво знизити забруднююче навантаження на навколишнє середовище.

Література:

1. Все про тил. Що таке тилове забезпечення? URL: <https://tyl.at.ua/news/?page2>.
2. У 2021 р. ЗСУ закупить 19 мобільних лазне-пральних комплексів. URL: https://defence-ua.com/news/u_2021_rotsi_zsu_zakupit_19_mobilnih_lazne_pralnih_kompleksiv-2987.html.
3. ЗСУ отримали 9 мобільних лазне-пральних модулів. *Ukrainian Military Pages*. URL: <https://ukrmilitary.com/2021/08/mlpk.html>.

4. Як облаштований новітній лазне-пральний комплекс. *Армія-Inform*. URL: <https://armyinform.com.ua/2023/03/17/yak-oblashtovanyj-novitnij-lazne-pralnyj-kompleks/>.
5. Wray D., Ramaswamy H.S. Novel Concepts in Microwave Drying of Foods. *Drying Technology*. 2015. № 33 (7). P. 769–783. DOI: 10.1080/07373937.2014.985793.
6. Pu Y.-Y., Sun D.-W. Combined hot-air and microwave-vacuum drying for improving drying uniformity of mango slices based on hyperspectral imaging visualisation of moisture content distribution. *Biosystems Engineering*. 2017. № 156. P. 108–119. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.01.006.
7. A Review of Drying Methods Assisted by Infrared Radiation, Microwave and Radio Frequency / N. Hay et al. *IntechOpen*. 2023. DOI: 10.5772/intechopen.108650.
8. Microwave Drying of Scots Pine Lumber: Structure Changes, Its Effect on Liquid Permeability / S. He et al. *Journal of Renewable Materials*. 2023. № 11 (1). P. 321–331. DOI: 10.32604/jrm.2023.022097.
9. Development of Microwave-Thermal Treatment Technology for Heterogenic Environments / B. Demianchuk et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 1/5 (103). P. 55–64. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.192827.
10. Дем'янчук Б., Угольніков О. Пат. 126104 Україна. Мікрохвильово-теплова машина. Опубл. 10.08.2022 р. Бюл. № 32.
11. Пат. 124820 Україна. Спосіб одержання композиту для поглинаючого перетворення енергії електромагнітного поля в теплову / Б. Дем'янчук та ін. Опубл. 24.11.2021 р. Бюл. № 47.

References:

1. N. a. (n. d.). Vse pro tyl. Shcho take tylove zabezpechennia? [All about the rear. What is rear support?]. Retrieved from: <https://tyl.at.ua/news/?page2> [in Ukrainian].
2. Defense Express (2021). U 2021 rotsi ZSU zakuyt 19 mobilnykh lazne-pralnykh kompleksiv [In 2021, the Armed Forces of Ukraine will purchase 19 mobile bath and laundry complexes]. Retrieved from: https://defence-ua.com/news/u_2021_rotsi_zsu_zakuyt_19_mobilnih_lazne_pralnih_kompleksiv-2987.html [in Ukrainian].
3. Ukrainian Military Pages (2021). ZSU otrymaly 9 mobilnykh lazne-pralnykh moduliv [The Armed Forces of Ukraine received 9 mobile bath and laundry modules]. Retrieved from: <https://ukrmilitary.com/2021/08/mlpk.html> [in Ukrainian].
4. Armiia-Inform (2023). Yak oblashtovanyi novitnii lazne-pralny kompleks [How the newest bath and laundry complex is equipped]. Retrieved from: <https://armyinform.com.ua/2023/03/17/yak-oblashtovanyj-novitnij-lazne-pralnyj-kompleks/> [in Ukrainian].
5. Wray, D., Ramaswamy, H.S. (2015). Novel Concepts in Microwave Drying of Foods. *Drying Technology*. № 7 (33). P. 769–783. DOI: 10.1080/07373937.2014.985793 [in English].
6. Pu, Y.-Y., Sun, D.-W. (2017). Combined hot-air and microwave-vacuum drying for improving drying uniformity of mango slices based on hyperspectral imaging visualisation of moisture content distribution. *Biosystems Engineering*. № 156. P. 108–119. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.01.006 [in English].
7. Hay, N., Quang Huy, L., & Van Kien, P. (2023). A Review of Drying Methods Assisted by Infrared Radiation, Microwave and Radio Frequency. *IntechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.108650 [in English].
8. He, S., Leng, W., Chen, Y., Li, H., Li, J., Wu, Z. & Xiao, Z. (2023). Microwave Drying of Scots Pine Lumber: Structure Changes, Its Effect on Liquid Permeability. *Journal of Renewable Materials*. № 1 (11). P. 321–331. DOI: 10.32604/jrm.2023.022097 [in English].
9. Demianchuk, B., Kolesnychenko, N., Ugolnikov, A., Lapkin, A. (2020). Development of Microwave-Thermal Treatment Technology for Heterogenic Environments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 1/5 (103). P. 55–64. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.192827 [in English].
10. Demianchuk, B.O., Ugolnikov, O.P. (2022). Pat. № 126104 UA. Mikrokhvylovo-teplova mashyna [St. 126104 Ukraine. Microwave-heat machine]. Bul. № 32 [in Ukrainian].
11. Demianchuk, B.O., Honcharuk, A.A., Kosenko A.V. (2021). Pat. № 124820 UA. Sposib oderzhannia kompozytu dlia pohlynaiuchoho peretvorennia enerhii elektromagnitnoho polia v teplovu [St. 124820 Ukraine. The method of obtaining a composite for absorbing energy conversion of an electromagnetic field into thermal energy]. Bul. № 47 [in Ukrainian].