

АНОТАЦІЯ

Вишневський В.М. Енергоефективна камерна сушарка з комбінованим нагрівом теплоносія. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – теплоенергетика. – Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, 2023.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню енергетичної ефективності сушарки з комбінованим нагрівом та повною рециркуляцією теплоносія.

Основними параметрами визначені температура теплоносія, швидкість руху теплоносія та вологість сушильного агенту, а також напрямок продування матеріалу в тунельних сушарках.

Камерні сушарки широко використовуються в переробці овочів та фруктів в Україні, США, Китаї, Франції та в ін. країнах. Вони призначені для сушіння кускових (штучних) продуктів (хліб, нарізані овочі та фрукти і т. ін.). Камерна сушарка це поєднання одного або більше шаф сушарки в послідовному розташуванні. В 2-х зонній камерній сушарці можна проводити сушіння великих обсягів сировини яка споживає менше енергії у порівнянні з потужністю, яку має кожна сушильна шафа при окремій її експлуатації. Але високі енергетичні витрати на процес сушіння матеріалів при великих цінах на пальне спонукають вирішувати завдання підвищення енергоефективності при створенні нових камерних сушарок із застосуванням електронагрівачів теплоносія.

В Інституті технічної теплофізики НАН України запропоновано використовувати парові теплогенератори в роботі багатозонної тунельної сушарки, що в порівнянні з теплогенераторами на органічному паливі дають можливість економити витрати теплоти в 1,7 – 2,3 рази в порівнянні з існуючими аналогами. Енергетичні витрати теплоти в тунельній сушарці складають 3800 кДж/кг вип. вологи.

Для зменшення енергетичних витрат набули поширення сонячні тунельні сушарки з збільшенням поверхні теплообміну за рахунок максимального розведення піддонів з сировиною під різним кутом. За рахунок впливу сонячної енергії температура сушильного агента може досягати 70°C.

Основним напрямком розвитку сушіння рослинних матеріалів є поєднання існуючих технологій з відновлювальними джерелами енергії, зокрема використання сонячної енергії, теплових насосів, а також мікрохвильове, інфрачервоне та сублімаційне сушіння.

Комбінована технологія сушіння - це поєднання двох або більше різних процесів сушіння, які можуть забезпечити синергетичний ефект, що призводить до зменшення потреби в енергії та скорочення часу сушіння при збереженні більшості характеристик якості, наприклад смаку, поживних речовин, кольору, аромату, текстури тощо.

Розглянуті різні методи комбінованого сушіння, такі як: сонячно-інфрачервона, конвективно-інфрачервона, інфрачервона-мікрохвильова, конвективно-мікрохвильова та багатофункціональна, яка поєднує в собі мікрохвильове-сублімаційне сушіння під вакуумом. Порівняння комбінованих методів значне зниження тривалості сушіння та зменшення енерговитрат, що може бути використано при проектуванні тунельних енергоефективних сушарок.

Зміст дисертаційного дослідження викладено у чотирьох розділах, у яких представлені та обгрунтовані основні результати роботи.

У вступі обгрунтовано актуальність обраної теми досліджень, сформульовано мету та завдання дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Надано дані про апробацію результатів дисертації та перелік публікацій.

У першому розділі проведено аналіз літературних джерел сучасних сушильних установок із комбінованим нагрівом теплоносія, який показує, що для підвищення енергоефективності сушильних установок використовують комбінацію конвекції та інфрачервоного випромінювання, мікрохвиль та

інфрачервоного випромінювання, сонячної енергії та інфрачервоного випромінювання. Такі установки є лабораторного типу. В світі немає сушильних установок в яких для підвищення енергоефективності застосовуються товстоплівкові нагрівальні елементи із комбінацією інфрачервоного випромінювання. Тому є необхідною розробка енергоефективної камерної сушарки із комбінованим нагрівом теплоносія промислового типу для широкого використання її у фермерських господарствах із завантаженням 120 кг сировини.

У другому розділі представлені методики для проведення і обробки результатів експериментальних досліджень, наведено опис приладів та установок які підібрані для проведення експериментальних досліджень кінетики сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів, наведена похибка досліджень.

У третьому розділі вдосконалено експериментальний стенд для дослідження процесів конвективного сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів шляхом монтажу в сушильній камері ламп інфрачервоного випромінювання. Для перевірки роботи вдосконаленого стенду були проведені дослідження кінетики процесу сушіння капусти білокачанної із застосуванням комбінації конвекції та інфрачервоного випромінювання. Для визначення якості висушеного матеріалу отримано коефіцієнт набухання і відновлюваності капусти білокачанної від режимів сушіння. Для випробовування стенду були проведені дослідження кінетики процесу сушіння кукурудзи амілопектинової. Визначено схожості кукурудзи амілопектинової від температурних режимів сушіння. Досліджені тепломасообмінні процеси при сушінні колоїдних капілярно-пористих матеріалів.

У четвертому розділі представлено розроблену енергоефективну камерну сушарку із комбінованим нагрівом теплоносія та використані в ній товстоплівкові нагрівальні елементи. Досліджена кінетика сушіння картоплі, гарбуза, яблук та поролону. Проведені порівняння двох способів сушіння в камерній сушарці яблук конвективним способом та комбінованим. Проведені розрахунки витрат теплоти на випаровування 1 кг вологи в залежності від температури відпрацьованого сушильного агента. Отримані витрати енергії за весь процес що становлять 4742

кДж/кг випареної вологи, та відповідають ефективним показникам такого типу камерних сушарок.

У загальних висновках автором представлені наукові та практичні результати дисертаційного дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше досліджена кінетика процесу сушіння капусти білокачанної на конвективно-сушильному стенді із встановленим комбінованим нагрівом теплоносія яка показала зменшення тривалості сушіння та підвищення якості матеріалу;

- вперше встановлено оптимальну температуру зневоднення амілопектинової кукурудзи, яка показала рівномірність прогріву матеріалу, що позитивно впливає на якість отриманого продукту;

- вперше проведені експериментальні дослідження на схожість амілопектинової кукурудзи від режимних параметрів сушіння;

- розраховані відносні коефіцієнти та коефіцієнти сушіння із узагальнених кривих сушіння та швидкості сушіння, отримані формули тривалості процесу, похибка дослідної від розрахункової не перевищує 5%;

- досліджено залежність числа Ребіндера (критерій оптимізації сушіння) який показав характер змін витрат енергії на випаровування вологи в процесі сушіння;

- вперше досліджено вплив товстоплівкових нагрівальних елементів на енергоефективність сушарки з комбінованим нагрівом теплоносія;

- досліджено витрати теплоти на випаровування 1 кг вологи в залежності від температури відпрацьованого сушильного агента.

Практичне значення одержаних результатів:

- в результаті експериментального та теоретичного дослідження модернізовано дослідний конвективно - сушильний стенд з комбінованим нагрівом теплоносія;

- розроблені режими сушіння в енергоефективній камерній сушарці з комбінованим нагрівом теплоносія;

- вперше використано товстоплівкові нагрівальні елементи в камерній сушарці з комбінованим нагрівом теплоносія;

- розроблена енергоефективна камерна сушарка з комбінованим нагрівом теплоносія на яку отриманий паспорт;

Практичне значення результатів дисертаційної роботи підтверджується актами впровадження: 1. Апробація сушильної установки Інституту технічної теплофізики НАН України для розробки оптимальних режимів сушіння чаполочі пахучої (*Hierochloe odorata*, зубрівки). 2. Дослідження з підбору оптимального технологічного режиму по зневодненню зерна восковидної кукурудзи з використанням новітніх методів сушіння сировини для отримання аналітичних результатів та продуктів для їх подальших досліджень фізико-хімічних властивостей для оптимізації виробничих процесів.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи підтверджено заявкою на одержання патенту України на винахід. № а202008082 від 17.12.2020.

Ключові слова: енергоефективні способи сушіння, тепломасообмін, теплофізичні властивості, товстоплівкові нагрівальні елементи, інфрачервоне випромінювання, комбіноване сушіння.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Снежкін, Ю.Ф., Пазюк, В.М., Петрова, Ж.О. & Вишнєвський, В.М. (2019). Розробка енергоефективних режимів насіння зернових культур. Наукові праці, 83(2), 121-127. doi:10/15673/swonaft.v2i83.1515 [Фахове видання] (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).
2. Petrova, Zh.O., Slobodianiuk, K.S., Samoilenko, K.M. & Vishnevsky, V.M. (2020). Universal modes of technological processing of colloid capillary-porous materials by convective drying method. Енергетика і автоматика, 6, 15-27. doi:10.31548/energiya2020.06.015 [Фахове видання, Google scholar] (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).
3. Zhanna Petrova, Kateryna Samoilenko. & Vitaly Vishnevsky. (2020). Process of Heat and Mass Transfer during Drying of Red Beetroot. Energy Engineerring and Control Systems, 6(2), 81-87. doi:10.23939/jeeecs2020.02.081 [Фахове видання] (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).
4. Петрова, Ж.О., Пазюк, В.М., Вишнєвський, В.М., Граков, Д.П. & Граков, О.П. (2021). Сушіння капусти білокачанної на конвективному сушильному стенді. Теплофізика та теплоенергетика, 43(3), 24-28. doi:10.31472/ttpe.3.2021.3 [Фахове видання] (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).
5. Vadim Paziuk, Vitalii Vyshnevskiy, Oleksii Tokarchuk. & Ihor Kupchuk. (2021). Substation of the energy efficient schedules of drying grain seeds. Bulletin of the transilvania Univercity of Brasov Series II: Forestry • Wood Industry • Agricultural Food Engineering, 14(63), 137-146. doi:10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.2.13 [Іноземне видання наукометричної бази SCOPUS, Q4] (Внесок здобувача:

проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).

- Petrova, Zh.O., Slobodianiuk, K.S., Samoilenko, K.M., Vishnevsky, V.M.. & Grakov, O.P. (2022). Research of the Kinetics of the Drying Process of Combined Plant Materials. Scientific Works, 1(86), 69-77. doi:10.15673/ swonaft.v86i1.2406 [Фахове видання] (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

- Petrova, Zh., Grakov, O. & Vishnevsky, V. (2021). Overview of existing researches of the process of drying purple cabbage. Збірник тез доповідей XX всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання». Київ: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 22-24. (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).
- Пазюк, В.М. & Вишнівський, В.М. (2021). Дослідження кінетики сушіння білокачанної капусти. Тези доповідей VIII Міжнародної наукової конференції «Інноваційні енерготехнології». Одеса: ОНАХТ, 23-25. (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).
- Петрова, Ж.О., Слободянюк, К.С., Вишнівський, В.М. & Граков, О.П. (2022). Дослідження кінетики сушіння червонокочанної капусти на конвективній сушарці. Збірник тез доповідей XXX всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». Київ: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 25-27. (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).
- Петрова, Ж.О., Слободянюк, К.С., Вишнівський, В.М. & Граков, О.П. (2022). Дослідження кінетики сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів у

конвективній сушильній установці. Збірник тез доповідей ХІХ Міжнародної наукової конференції «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв». Одеса: ОНТУ, 14-16. (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).

Наукові праці, що додатково відображають наукові результати дисертації:

11. Пазюк, В.М., Рубаненко, О.О. & Вишнівський, В.М. (2018). Підвищення енергоефективності сушіння насіння зернових культур шляхом застосування теплових насосів. Вісник Хмельницького національного університету, 4(263), 251-253. ISSN 2307-5732 [Інше видання] (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).
12. Петрова, Ж.О., Пазюк, В.М., Вишнівський, В.М. & Граков, Д.П. (2021). Напрями підвищення ефективності процесу сушіння в тунельних та комбінованих сушарках. Збірник наукових праць ХДУХТ, 1(33), 109-130. [Інше видання] (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз експериментальних даних).

ANNOTATION

Vyshnevskiy V.M. Energy-efficient chamber dryer with combined heating of the coolant. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 144 - Thermal Power Engineering. – Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2023.

The dissertation work is devoted to increasing the energy efficiency of a dryer with combined heating and full coolant recirculation.

The main parameters are the temperature of the coolant, the speed of the coolant and the humidity of the drying agent, as well as the direction of material blowing in the tunnel dryers.

Chamber dryers are widely used in the processing of vegetables and fruits in Ukraine, the USA, China, France, etc. countries They are intended for drying lump (artificial) products (bread, chopped vegetables and fruits, etc.). A chamber dryer is a combination of one or more dryer cabinets in a sequential arrangement. In a 2-zone chamber dryer, it is possible to dry large volumes of raw materials that consume less energy compared to the power that each drying cabinet has during its separate operation. But the high energy costs for the process of drying materials with high fuel prices encourage us to solve the problem of increasing energy efficiency when creating new chamber dryers using electronic heaters of the coolant.

The Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine proposed to use steam heat generators in the operation of a multi-zone tunnel dryer, which, in comparison with organic fuel heat generators, makes it possible to save heat consumption by 1.7-2.3 times compared to existing analogues. Energy consumption of heat in the tunnel dryer is 3800 kJ/kg of evaporated moisture.

In order to reduce energy costs, solar tunnel dryers with an increase in the heat exchange surface due to the maximum separation of pallets with raw materials at

different angles have become widespread. Due to the influence of solar energy, the temperature of the drying agent can reach 70°C.

The main direction of the development of drying plant materials is the combination of existing technologies with renewable energy sources, in particular the use of solar energy, heat pumps, as well as microwave, infrared and sublimation drying.

Combined drying technology is the combination of two or more different drying processes that can provide a synergistic effect, resulting in reduced energy requirements and reduced drying time while maintaining most of the quality characteristics, such as taste, nutrients, color, aroma, texture, etc.

Different methods of combined drying are considered, such as: solar-infrared, convective-infrared, infrared-microwave, convective-microwave and multifunctional, which combines microwave-sublimation drying under vacuum. Comparison of combined methods significantly reduces the duration of drying and reduces energy consumption, which can be used in the design of tunnel energy-efficient dryers.

The content of the dissertation research is presented in four chapters, in which the main results of the work are presented and substantiated.

The introduction substantiates the relevance of the chosen research topic, formulates the goal and task of the research, outlines the scientific novelty and practical significance of the obtained results. Data on the approval of the dissertation results and a list of publications are provided. In the first chapter, an analysis of literary sources of modern drying units with combined heating of the coolant is carried out, which shows that to increase the energy efficiency of drying units, a combination of convection and infrared radiation, microwaves and infrared radiation, solar energy and infrared radiation is used. Such installations are of the laboratory type. There are no drying units in the world that use thick-film heating elements with a combination of infrared radiation to increase energy efficiency. Therefore, it is necessary to develop an energy-efficient chamber dryer with combined heating of an industrial-type coolant for its wide use in farms with a load of 120 kg of raw materials.

The second chapter presents methods for conducting and processing the results of experimental studies, a description of the devices and installations selected for conducting experimental studies of the drying kinetics of colloidal capillary-porous materials is given, and the error of the studies is given.

In the third chapter, an experimental stand for researching the processes of convective drying of colloidal capillary-porous materials by installing infrared lamps in the drying chamber is improved. In order to check the performance of the improved stand, studies were conducted on the kinetics of the process of drying white cabbage using a combination of convection and infrared radiation. To determine the quality of the dried material, the coefficient of swelling and recovery of white cabbage from the drying regimes was obtained. To test the stand, studies of the kinetics of the drying process of amylopectin corn were carried out. The similarities of amylopectin corn depending on the temperature conditions of drying were determined. Heat and mass transfer processes during drying of colloidal capillary-porous materials were studied.

The fourth chapter presents the developed energy-efficient chamber dryer with combined heat carrier heating and the thick film heating elements used in it. The drying kinetics of potatoes, pumpkins, apples, and foam rubber were studied. Comparisons were made of two methods of drying apples in a chamber dryer, convective and combined. Calculations of heat consumption for evaporation of 1 kg of moisture depending on the temperature of the spent drying agent were carried out. The obtained energy consumption for the entire process, which is 4742 kJ/kg of evaporated moisture, corresponds to the effective indicators of this type of chamber dryers.

In the general conclusions, the author presents the scientific and practical results of the dissertation research.

The scientific novelty of the obtained results is as follows:

- for the first time, the kinetics of the drying process of white cabbage on a convective-drying stand with installed combined heating of the coolant was investigated, which showed a decrease in the duration of drying and an increase in the quality of the material;

- for the first time, the optimal temperature of dehydration of amylopectin corn was established, which showed the uniformity of heating of the material, which positively affects the quality of the obtained product;

- for the first time, experimental studies were carried out on the similarity of amylopectin corn depending on the parameters of the drying regime;

- relative coefficients and drying coefficients are calculated from generalized drying curves and drying speed, formulas for the duration of the process are obtained, the error between the experimental and the calculated does not exceed 5%;

- the dependence of Rebinder's number (drying optimization criterion) was investigated, which showed the nature of changes in energy consumption for moisture evaporation in the drying process;

- for the first time, the influence of thick-film heating elements on the energy efficiency of a dryer with combined heat carrier heating was investigated;

- the heat consumption for the evaporation of 1 kg of moisture was investigated, depending on the temperature of the spent drying agent.

Practical significance of the obtained results:

- as a result of experimental and theoretical research, an experimental convective drying stand with combined heating of the coolant was modernized;

- developed drying modes in an energy-efficient chamber dryer with combined heat carrier heating;

- an energy-efficient chamber dryer with combined heat carrier heating was developed, for which a passport was obtained;

- an energy-efficient chamber dryer with combined heating of the coolant was developed and implemented at the Evriday Food enterprise, which was confirmed by the act of implementation;

The practical significance of the results of the dissertation was confirmed by the application for a patent of Ukraine for the invention. No. a202008082 dated 12/17/2020

Keywords: energy-efficient methods of drying, heat and mass transfer, thermophysical properties, thick-film heating elements, infrared radiation, combined drying.

LIST OF PUBLICATIONS

Scientific papers, in which the main scientific results of the thesis are published:

1. Snezhkin, Y.F., Pazyuk, V.M., Petrova, Zh.O. & Vyshnevskiy, V.M. (2019). Development of energy-efficient seed regimes of grain crops. Scientific works, 83(2), 121-127. doi:10/15673/swonaft.v2i83.1515 [Professional edition] (Contribution of the acquirer: conducting experimental studies, processing and analysis of experimental data).
2. Zh.O. Petrova., K.S. Slobodianiuk., K.M. Samoilenko. & V.M. Vishnevsky. (2020). Universal modes of technological processing of colloid capillary-porous materials by convective drying method. Energy and automation, 6, 15-27. doi:10.31548/energiya2020.06.015 [Professional edition, Google scholar] (Contribution of the acquirer: conducting experimental studies, processing and analysis of experimental data).
3. Zhanna Petrova, Kateryna Samoilenko. & Vitaly Vishnevsky. (2020). Process of Heat and Mass Transfer during Drying of Red Beetroot. Energy Engineering and Control Systems, 6(2), 81-87. doi:10.23939/jeeecs2020.02.081 [Professional edition] (Contribution of the acquirer: conducting experimental studies, processing and analysis of experimental data).
4. Petrova, Z.O., Pazyuk, V.M., Vyshnevskiy, V.M., Grakov, D.P. & Grakov, O.P. (2021). Drying white cabbage on a convective drying stand. Thermal physics and thermal energy, 43(3), 24-28. doi:10.31472/ttpe.3.2021.3 [Professional edition] (Contribution of the acquirer: conducting experimental studies, processing and analysis of experimental data).

5. Vadim Paziuk, Vitalii Vyshnevskiy, Oleksii Tokarchuk. & Ihor Kupchuk. (2021). Substation of the energy efficient schedules of drying grain seeds. Bulletin of the Transylvania University of Brasov Series II: Forestry • Wood Industry • Agricultural Food Engineering, 14(63), 137-146. doi:10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.2.13 [Foreign edition of SCOPUS scientometric database, Q4] (Contribution of the acquirer: conducting experimental research, processing and analysis of experimental data).
6. Petrova, Zh.O., Slobodianiuk, K.S., Samoilenko, K.M., Vishnevsky, V.M. & Grakov, O.P. (2022). Research of the Kinetics of the Drying Process of Combined Plant Materials. Scientific Works, 1(86), 69-77. doi:10.15673/swonaft.v86i1.2406 [Professional edition] (Contribution of the acquirer: conducting experimental studies, processing and analysis of experimental data).

Scientific works confirming the approbation of the materials of the thesis:

7. Petrova, Zh., Grakov, O. & Vishnevsky, V. (2021). Overview of existing researches of the process of drying purple cabbage. Collection of abstracts of the 20th All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Resource-energy-saving technologies and equipment" (pp. 22-24). Kyiv: "KPI named after Igor Sikorsky". (Contribution of the acquirer: conducting experimental studies, processing and analysis of experimental data).
8. Pazyuk, V.M. & Vyshnevskiy, V.M. (2021). Study of drying kinetics of white cabbage. Abstracts of reports of the VIII International Scientific Conference "Innovative Energy Technologies". (p. 23-25). Odesa: ONAKHT. (Contribution of the acquirer: conducting experimental studies, processing and analysis of experimental data).
9. Petrova, Z.O., Slobodyaniuk, K.S., Vyshnevskiy, V.M. & Grakov, O.P. (2022). Study of drying kinetics of red cabbage on a convective dryer. A collection of abstracts of reports XXX of the All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Equipment of chemical production and

building materials enterprises". (p. 25-27). Kyiv: "KPI named after Igor Sikorsky". (Contribution of the acquirer: conducting experimental studies, processing and analysis of experimental data).

10. Petrova, Z.O., Slobodyaniuk, K.S., Vyshnevskyi, V.M. & Grakov, O.P. (2022). Study of drying kinetics of colloidal capillary-porous materials in a convective drying unit. Collection of abstracts of reports of the 19th International Scientific Conference "Improvement of processes and equipment of food and chemical industries". (pp. 14-16). Odesa: ONTU. (Contribution of the acquirer: conducting experimental studies, processing and analysis of experimental data).

Scientific works, which additionally represent the scientific results of the thesis:

11. Pazyuk, V.M., Rubanenko, O.O. & Vyshnevskyi, V.M. (2018). Increasing the energy efficiency of grain seed drying by using heat pumps. Bulletin of the Khmelnytskyi National University, 4(263), 251-253. ISSN 2307-5732 [Other edition] (Contribution of the acquirer: conducting experimental studies, processing and analysis of experimental data).
12. Petrova, Z.O., Pazyuk, V.M., Vyshnevskyi, V.M. & Grakov, D.P. (2021). Directions for increasing the efficiency of the drying process in tunnel and combined dryers. Collection of Scientific Papers of KhDUHT, 1(33), 109-130. [Other edition] (Contribution of the acquirer: conducting experimental studies, processing and analysis of experimental data).