

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОЛОНКОВОЇ СУШАРКИ З ПЕРЕВЕДЕННЯМ ЇЇ НА АЛЬТЕРНАТИВНИЙ ВИД ПАЛИВА

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі виконано модернізацію сушарки для сушіння насіння.

Складена математична модель роботи сушарки, виконано варіантний аналіз і техніко-економічне обґрунтування модернізації.

Розраховано параметри сушильного об'єкта. Складено тепловий та матеріальний баланс сушарки, розраховано теоретичний та дійсний процеси в сушарці, здійснено розрахунок та підбір основного обладнання.

Проведено монтаж сушарки, представлено аналіз об'єкту який підлягає монтажу, зроблено гідравлічний розрахунок та підбір діаметрів трубопроводів, компоновку обладнання і трубопроводів, склад робіт та трудомісткість виконання монтажних робіт на прикладі даної сушарки.

Здійснена автоматизація сушарки. В ході роботи надано характеристику обладнання, та наведена схема автоматизації основного та допоміжного обладнання сушильного комплексу.

Ключові слова: колонкова зерносушарка; особливість конструкції; сушильна камера та зерновий модуль; технологічні режими; режим та продуктивність сушіння; витрати енергоносія.

Abstract

In this work, the dryer for seed drying was modernized.

Mathematical model of the dryer was drawn up, variant analysis and feasibility study of modernization were performed.

The parameters of the drying facility were calculated. The thermal and material balance of the dryer was compiled, the theoretical and actual processes in the dryer were calculated, the calculation and selection of the basic equipment was made.

The dryer was installed, the object to be assembled is analyzed, the hydraulic calculation and selection of piping diameters, equipment and piping layout, composition of work and the complexity of the installation work on the example of this dryer.

Automation of the dryer. In the course of work the characteristics of the equipment are given, and the scheme of automation of the basic and auxiliary equipment of the drying complex is presented.

Key words: modular dryer; design feature; drying chamber and grain module; technological regimes; drying mode and performance; energy costs.

Вступ

Актуальність теми. Впливає з проблем і задач, які стоять перед агропереробним комплексом. Енергоефективне сушильне обладнання в Україні не виробляється, а закордоном моделі як правило є або неенергоефективними або занадто дорогими. У зв'язку з цим сформульовано мету роботи[1].

Забезпечення підвищення якості готового продукту при сушінні та пропускну здатності сушильних установок, та зниження енерговитрат на сушку зерна є однією з найважливіших умов високоефективного використання сушарок в сільському господарстві. Створення умов для достатнього і стабільного знімання вологи з одиниці об'єму камери сушарки є базовим показником для підвищення ефективності працюючих в сільському господарстві сушарок. Разом з тим в умовах зростаючого споживання енергії людством, з одного боку, і дефіциту енергетичних ресурсів з іншого, все більш гостро ставляться питання раціонального використання енергії, утилізації та рекуперації тепла у всіх процесах харчової технології, включаючи сушіння[2].

Для покращення показників роботи зернопереробної промисловості необхідна розробка нових і вдосконалення існуючих технологій та обладнання. Недосконалість сушильної техніки впливає на

якість готової продукції, що отримується в результаті сушіння, створює додаткові технологічні труднощі при дотриманні режимів сушіння і призводить до збільшення собівартості продукту[3].

Виведення економіки з сучасної кризи прямо пов'язане зі створенням ресурсо - і енергозберігаючих технологій, освоєнням нових технологічних процесів та обладнання, які, як правило, мають досить значну енергоємність і тривалість. Існуючі технологічні процеси у більшості випадків не є найкращими з боку енергетики, науково обгрунтованими, а базуються на багаторічному досвіді традиційних способів переробки сировини. Вони не є оптимальними з точки зору кінетики, гідродинаміки та термодинаміки процесів сушіння тієї чи іншої сировини. У зв'язку з цим, проблема удосконалення існуючих технологій та обладнання для сушіння є актуальною[4].

Метою роботи є дослідження тепловологісних процесів, що відбуваються при сушінні насінневого матеріалу. Розробка енергоефективного сушильного обладнання для насіння.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

- виконати аналіз існуючих літературних джерел із застосуванням сучасних тепловологісних режимів сушіння;
- вдосконалити існуюче зерносушильне обладнання на базі колонкової сушарки;
- провести числовий експеримент на оригінальній математичній моделі для дослідження ролі різних факторів впливу на тепловологісні режими сушіння;
- спроектувати схему автоматики модернізованої колонкової сушарки;
- розробити заходи з монтажу додаткового обладнання в модернізованій сушарці;
- розробити заходи з охорони праці та цивільного захисту;
- обрахувати економічну частину інноваційного проекту[5].

Об'єктом дослідження є тепломасообмінний процес сушіння насіння в колонковій сушарці.

Предметом дослідження є тепловологісні процеси при сушінні насінневих культур.

Наукова новизна:

- отримала подальший розвиток теорія сушіння насінневих культур в сушарках конвективного типу;
- вперше запропоновано математичну модель процесу сушіння насінневих культур в сушарках з природнім рухом сировини.

Практична цінність роботи полягає в рекомендаціях щодо застосування тепловологісних режимів сушіння насінневих в колонковій сушарці.

Методи дослідження.

Поставлені завдання вирішувались методами математичної та прикладної теорії сушіння як шляхом аналізу і використання відомих теоретичних методів, описаних в літературі, так і використанням експериментальних методів досліджень кінетики процесу сушіння і дослідження поверхні висушеної сировини. Перевірка адекватності математичних моделей здійснювалась порівнянням отриманих результатів з експериментальними даними, наявними в літературі. Методом математичного та числового моделювання досліджувалися динамічні процеси видалення вологи з сипких капілярно-пористих колоїдних середовищ в залежності від температури нагрівання[6].

Результати дослідження

Аналіз літературних та патентних джерел.

Процес сушіння використовується в багатьох технологічних процесах промисловості. **Об'єктами сушіння** можуть бути різноманітні матеріали на різних стадіях їх переробки. **Метою сушіння** є покращення фізико-механічних властивостей матеріалу або надання нових, зниження його ваги, покращення транспортабельності матеріалу[7].

Зважаючи на велику кількість факторів, що впливають на режим сушіння вибір оптимальних значень параметрів роботи сушильних установок є досить складним, особливо для капілярно-пористих колоїдних тіл, якими є переважна більшість сільськогосподарської продукції. Тож проблема сушіння сільськогосподарської сировини є комплексною і складною і тому рішення її можливі тільки поетапно. Для кожного виду продукту необхідно розробляти свою технологію сушіння, а також обладнання, яке забезпечує як необхідну якість кінцевого продукту, так і задовільні цінові параметри. Таке обладнання рідко буває універсальним, що є ще однією проблемою сушильного виробництва[8].

Аналіз варіантів роботи сушарки на альтернативному виді палива.

Для проведення аналізу можна розглядати такі варіанти:

- робота зерносушарки із використанням альтернативного виду палива;
- створення резерву головного виду палива, виконується комбінацією головного вибраного палива та додаткового;
- робота сушарки при різних схемах руху теплоносія;
- аналіз впливу напрямку руху теплоносія;
- дослідження різних тепловологісних режимів сушіння із вибраним теплоносієм та схемою[9].

Математична модель сушарки.

Процес сушіння є нелінійним процесом з розподіленими параметрами, але конструкції зерносушарок та сушарок для насіння і їх систем управління орієнтовані на лінійний процес і скалярне управління. Основними керуючими параметрами процесів сушіння в щільному рухомому шарі, який утворюється в колонкових сушарках є температура сушильного агента і швидкість руху шару.

Ці протиріччя між зерносушаркою (як об'єктом з розподіленими параметрами) і системою управління цим об'єктом (на основі моделі із зосередженими параметрами) не дозволяють оптимізувати процеси сушіння.

Найбільш повно динаміку процесів сушіння насінневих описує система рівнянь в часткових похідних, але її практичне застосування утруднене через складнощі визначення динаміки зміни теплофізичних параметрів, які разом з основними змінними входять в рівняння під знаком диференційного оператора.

Тому виникає необхідність в розробці операційної моделі, що дозволяє вирішувати практичні завдання, такі як управління процесом, вибір режимних параметрів, визначення статичних і динамічних характеристик.

В наш час на ринку зерносушарок представлені в основному конвективні зерно- і насінневі сушарки, які реалізують безперервний принцип дії в щільному рухомому шарі. Такі сушарки залишаються найбільш ефективними, але потребують модернізації на основі інноваційних технологій і режимів. Для рішення задач автоматичного управління є досить велика кількість математичних моделей, які побудовані для стаціонарних режимів конвективного сушіння зерна і насіння в щільному рухомому шарі. У багатьох з них усунена зайва для практичних цілей аналітичність (і відповідно антиімітаційна направленість) моделі А.В. Ликова. Проте більшість моделей містить велике число змінних і невідомих величин. Вони, як правило, відображають часткові закони тепло- і масообміну, не враховують нелінійність в залежностях і зворотну залежність теплофізичних коефіцієнтів від основних параметрів стану процесу - вологості і температури зерна. Ці моделі, побудовані для різних зернових сушарок, які здійснюють конвективний спосіб сушіння в щільному рухомому шарі, можуть бути розділені на два класи. Моделі першого класу - емпіричні і напівемпіричні, мають вузьку область застосування і вимагають для своєї побудови проведення трудомістких експериментальних досліджень. Моделі другого класу суто теоретичні, включають змінні коефіцієнти, які важко ідентифікувати і класичні фізичні величини, які важко виміряти. В зв'язку з цим виникають питання розроблення імітаційно-аналітичної моделі, що дозволяє з достатньою для рішення практичних задач точністю описувати динаміку сушіння в щільному рухомому шарі, в тому числі найбільш раціонального осцилюючого і квазіізотермічного виду зміни температури зерна в зоні максимальної швидкості вологознімання і граничних (допустимих) значень температури сушильного агента[10].

У процесів сушіння зерна в більшості сушарок конвективного типу, що реалізують безперервний принцип дії (шахтні, жалюзійні, колонкові, модульні), загальна термодинамічна природа, тому стаціонарні режими можуть бути описані єдиною математичною моделлю. В такій моделі абстрагуються від постійних конструктивних параметрів, не що входять в поняття режиму сушіння, таких як товщина шару зерна, що продувається сушильним агентом, швидкість продування зерна сушильним агентом, вихідний стан зерна, його попередня підготовка перед основним процесом сушіння, а також тривалість перебування в зоні сушіння.

Внаслідок теоретичного аналізу балансових рівнянь взаємопов'язаного тепловологообміну між сушильним агентом і шаром зерна нами побудована нелінійна математична модель, її відмінна особливість - відсутність змінних, які важко виміряти (парціальний тиск водяної пари) і які швидко змінюються в часі чи в процесі сушіння (вологівміст сушильного агента).

При побудові математичної моделі прийнято припущення, що можлива загальна математична модель процесів конвективного сушіння в щільному рухомому шарі, яка має переваги моделей обох існуючих класів і в то ж час вирівнює їхні недоліки. Така модель не може бути чисто аналітичною, вона включає модельні коефіцієнти, які, на відміну від класичних фізичних коефіцієнтів, можуть бути прийняті постійними і мають імітаційну направленість. На її основі були проведені числові експерименти. Модель зручно налаштовувати з врахуванням наявних експериментальних даних, в тому числі в режимі реального часу.

Результати числового моделювання показали, що запропонована модель відтворює теоретично і практично можливі режими (тобто є гнучкою і фізично коректною), а також дозволяє виділити раціональні і оптимальні параметри процесу. Модель має слабку чутливість до малої варіації параметрів (тобто є грубою і математично коректною). Її простота і відповідність реальним процесам дають можливість її застосування для широкого класу задач автоматичного управління процесами сушіння в конвективних сушарках з щільним рухомим шаром матеріалу.

Аналіз відомих моделей, побудованих для опису процесів в сушарках шахтного типу показав, що багато з них базуються на лінійних співвідношеннях між параметрами процесу сушіння при використанні змінних величин, недоступних або малодоступних для вимірювання (таких, як парціальний тиск пари в сушильному агенті і його різниця з тиском насиченої водяної пари в різних умовах по температурі агента і вологості поверхневого шару зерна або вологовміст сушильного агента). Різними авторами при різних умовах наведено велику кількість лінійних рівнянь для опису векторної функції щільності потоку вологи, в тому числі у вигляді різниці тисків, вологовмістів, вологостей, температур.

Однак, самі автори і вказують, що лінійна модель сушильного процесу, яка базується на використанні лінійних функцій густини потоку вологи, не забезпечує відповідності з експериментом, тому використання таких моделей в завданнях автоматичного управління тепловологісним режимом роботи сушарки є досить складним.

Отримання диференціальних залежностей і розробка матмоделі

За основу запропонованої моделі взята нелінійна модель процесу теплообміну в зерні, на основі якої отримана математична модель процесу сушіння в щільному рухомому шарі. При складанні моделі в якості керуючого параметра прийнята температура агента сушіння на вході сушильної камери, а в якості керованих параметрів використані вологість і температура зерна на виході з сушарки. Збурюючими параметрами є початкова вологість зерна і його температура.

У випадку стаціонарного режиму процесу сушіння параметри зернового шару залежать тільки від одного аргументу - просторової координати x , в будь-якій фіксованій точці по висоті камери вони будуть константами.

Для стаціонарного режиму сушіння, коли вхідні параметри зерна і сушильного агента залишаються сталими, можна, прийняти рівними нулю похідні основних змінних стану по часу.

Рівняння стаціонарного режиму можна вважати рівнянням руху елементарного об'єму зернового матеріалу в синхронній системі координат. При сушінні зерна цей елементарний об'єм можна вважати деяким усередненим одиничним зерном чи насіниною.

При проведенні числового експерименту на моделі частина теплофізичних параметрів і початкові дані з метою спрощення ми вважали константами. Основні змінні параметри - модельні коефіцієнти, що визначаються характером і особливостями внутрішнього і зовнішнього тепло-

масообміну між зерновим шаром і сушильним агентом[11].

Результати числового експерименту

Результати числового експерименту на запропонованій математичній моделі представлені на рис. 1.1, 1.2.

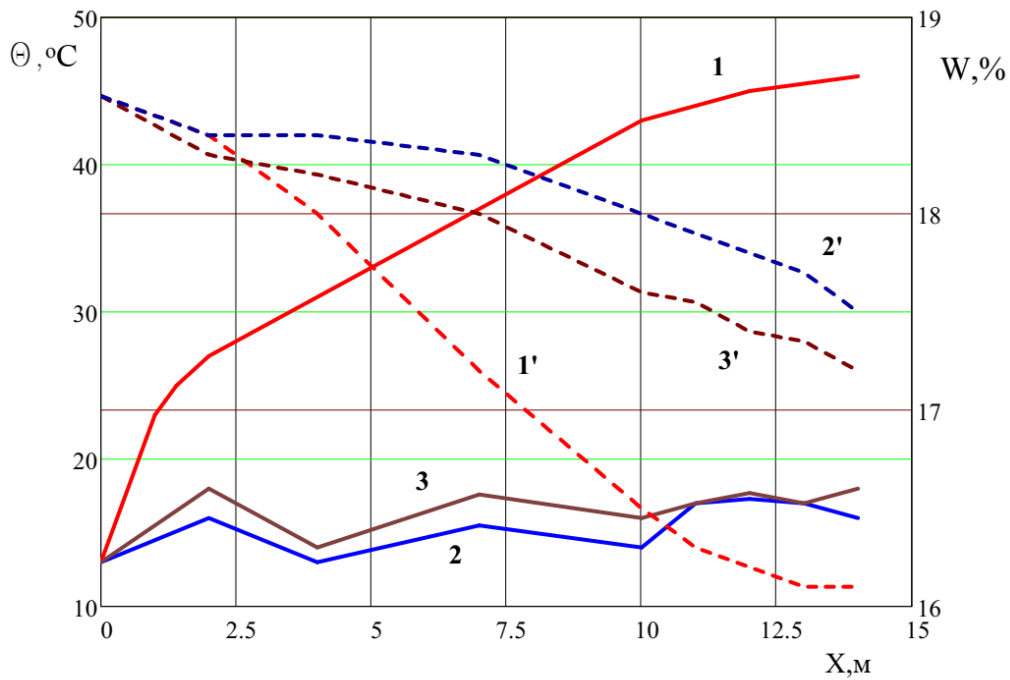


Рисунок 1.1 – Залежність температури насіння Θ (1-3) і вологості W (1'-3') від висоти камери X в колонковій сушарці з "коливальним" ходом температурної кривої

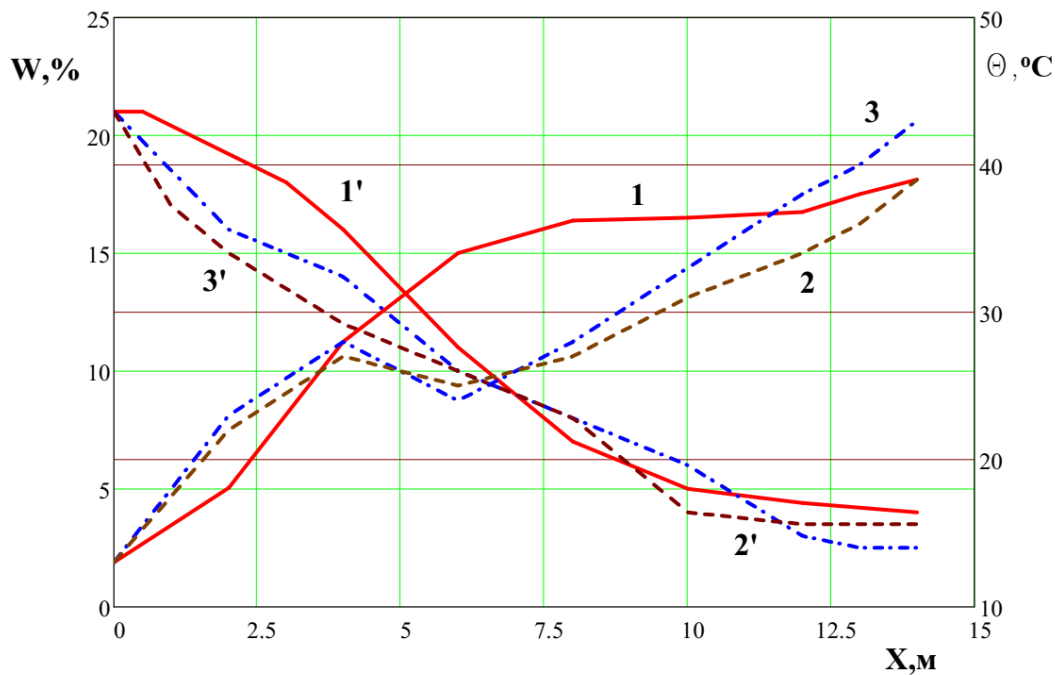


Рисунок 1.2 – Залежність температури насіння Θ (1-3) і вологості W (1'-3') від висоти камери X в колонковій сушарці з провалом температурної кривої на відволоження

Питання вивчення моделі пов'язане також з питанням знаходження оптимальних режимів процесу сушіння: мінімум витрати енергії на одиницю випарованої вологи, мінімум витрати палива на одиницю (тонну) висушеного зерна; швидкість її з врахуванням обмежень на температуру сушильного агента і температуру зерна, а при сушінні насіння - з врахуванням обмежень на максимальне вологознімання за один прохід.

Це відповідає результатами експериментальних досліджень.

Таким чином, запропонована математична модель повністю відтворює практично реалізовані і теоретично можливі режими сушіння, в тому числі:

- режим з монотонним зростанням температури матеріалу, що сушиться в сушарці;
- режим з практично горизонтальним ділянкою кривої температури в зоні постійної швидкості випаровування вологи;
- режим з провалом кривої температури матеріалу в зоні максимальної швидкості випаровування;
- коливальний хід кривої температури матеріалу в зоні постійної швидкості випаровування вологи.

Запропонована модель має достатню простоту, а також грубість і гнучкість. Вона з повною якісною і доброю кількісною точністю відтворює процес сушіння. Модель має слабку чутливість до варіації параметрів, тобто коректна. У неї широка область застосування, її можна використовувати на будь-які зерносушарки, котрі реалізують конвективний спосіб сушіння в щільному рухомому шарі, її коефіцієнти стали і їх легко визначити а змінні стану можна виміряти з прийнятною для практичних цілей точністю[12].

Висновки

1. Виконано аналіз існуючих літературних джерел із застосуванням сучасних тепловологісних режимів сушіння в колонкових сушарках, запропоновано способи підвищення її енергоефективності;
2. Проведено тепловий розрахунок колонкової сушарки, визначено її номінальну потужність, яка склала 1124,8 кВт, при цьому к.к.д. дорівнює 62,5 %;
3. Складено математичну модель сушіння зернових в насінневих культур, проведено числовий експеримент на оригінальній математичній моделі і визначено вплив різних факторів на тепловологісні режими сушіння;
4. Спроектовано схему автоматики модернізованої колонкової сушарки;
5. Розроблено заходи з монтажу додаткового обладнання в модернізованій сушарці;
6. Розроблено заходи з охорони праці та цивільного захисту;
7. Визначено економічну привабливість інноваційного проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фіник І. В. Сучасні енергоефективні конвективні сушарки / І. Фіник, О. Співак // матеріали Міжнар. інтернет конф. МТН-2016, 04–10 трав. 2016, Вінниця, Україна / Вінн. нац. техн. ун-т, – Вінниця, : ТОВ "Нілан-ЛТД", 2016. – С. 142–143.
2. Співак О. Ю. Експериментальні дослідження низькотемпературного сушіння відходів деревини Частина 2 / О. Ю. Співак, О. В. Дахновська, І. В. Фіник // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2016. – №1. – С. 60–64.
3. Співак О. Ю. Математичне моделювання процесу сушіння цегли / О. Ю. Співак, І. В. Фіник, П. С. Коба // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2016. – №2. – С. 29–34.
4. Співак О.Ю. Експериментальні дослідження процесу сушіння червоної цегли-сирцю / О. Ю. Співак, М. М. Попович, І. В. Фіник, П. С. Коба // Materials of XIII International reseach and practical conference 30 April – 07 May 2017 / Sheffield, UK. – P. 29–33.
5. Фіник І. В. Процес сушіння соняшника в шахтній сушарці ECO DRY / І. В. Фіник, О. Ю. Співак. – Матер. міжн. науково-технічн.конф. Енергоефективність в галузях економіки України-2017. – Вінниця, Україна / Вінн. нац. техн. ун-т, – Вінниця, : 2017.

6. Фіник І. В. Особливості сушіння олійних культур в сучасних шахтних сушарках/ І. В. Фіник. – Матер. науково-технічн.конф. Енергоефективність в галузях економіки України–2017. – Вінниця, Україна / Вінн. нац. техн. ун-т, – Вінниця, : 2017.
7. Фіник І. В. Сушильна шафа з реверсивним перемикачем потоку/ І. В. Фіник. – Матер. науково-технічн.конф. Енергоефективність в галузях економіки України–2018. – Вінниця, Україна / Вінн. нац. техн. ун-т, – Вінниця, : 2018.
8. Фіник І. В. Аналіз методик визначення інтенсивності і напрямку течії матеріалу заготовки під час формоутворення холодним торцевим розкочуванням/ І. В. Фіник. – Матер. науково-технічн.конф. України–2018. – Вінниця, Україна / Вінн. нац. техн. ун-т, – Вінниця, : 2018.
9. Фіник І. В. Підвищення енергоефективності процесів сушіння насіння соняшника в сушарках на альтернативних видах палива./ І. В. Фіник. – Матер. науково-технічн.конф. Інноваційні технології в будівництві–2018. – Вінниця, Україна / Вінн. нац. техн. ун-т, – Вінниця, : 2018.
10. Фіник І. В. / Шляхи підвищення енергетичної ефективності шахтних суша-рок/ І. В. Фіник. – Матер. науково-технічн.конф. Енергоефективність в галузях економіки України–2019. – Вінниця, Україна / Вінн. нац. техн. ун-т, – Вінниця, : 2019.
11. Фіник І. В. / Особливості сушіння насіння зернових культур в колонкових сушарках/ І. В. Фіник. – Матер. науково-технічн.конф. Енергоефективність в галузях економіки України–2019. – Вінниця, Україна / Вінн. нац. техн. ун-т, – Вінниця, : 2019.
12. Патент України. Сушильна шафа з реверсивним перемикачем потоку. – U200387727. – 15.09.2017. – F27B9/07. – №71220А, опубл. 25.10.2018. – бюл. № 12.

Співак Олександр Юрійович — науковий керівник, канд. техн. наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Фіник Ірина Валеріївна — студент групи ТЕ-18м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Finyk_Ira@i.ua.

Spivak O.Y. — scientific supervisor, Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Finyk I.V.— student of group TE-18m, department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : Finyk_Ira@i.ua.