

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

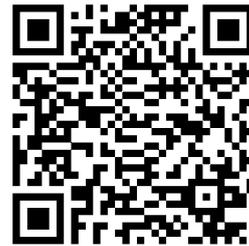
Державний обліковий номер: 0823U100808

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 10-10-2023

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Мукмінов Ігор Ігорович

2. Ihor Mukminov

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3674-9289

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 144

Назва наукової спеціальності: Теплоенергетика

Галузь / галузі знань: електрична інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: ОП 42782 Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Дата захисту: 21-12-2023

Спеціальність за освітою: Хімічні технології та інженерія

Місце роботи здобувача: Одеський національний технологічний університет

Код за ЄДРПОУ: 02071062

Місцезнаходження: вул. Канатна, буд. 112, Одеса, 65039, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 41.088.026

**Повне найменування юридичної особи:** Одеський національний технологічний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02071062

**Місцезнаходження:** вул. Канатна, буд. 112, Одеса, 65039, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Одеський національний технологічний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02071062

**Місцезнаходження:** вул. Канатна, буд. 112, Одеса, 65039, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 44.31

**Тема дисертації:**

1. Інтенсифікація процесів переносу теплоти та маси в щільних шарах гранульованого матеріалу
2. Intensification of heat and mass transfer processes in dense layers of granular material

**Реферат:**

1. Робота націлена на створення теоретико-практичних умов ефективного використання щільного шару гранульованого матеріалу в якості насадки в складі регенеративного теплообмінного апарату для накопичення в явній формі теплоти низького потенціалу. Для отримання необхідних науково-практичних даних в роботі сформульовано та вирішено ряд завдань. На підставі аналізу сучасних досягнень в сфері досліджень визначені раціональні області використання теплових акумуляторів з гранульованими (сипкими) матеріалами та основні фізичні і геометричні параметри, що впливають на інтенсивність теплообміну між щільним шаром та наскрізним потоком газу. Складено математичну модель взаємопов'язаного міжкомпонентного тепло- і масопереносу в щільному нерухомому шарі, згідно з якою шар складається з двох квазігомогенних компонентів – газового та твердого. Модель включає рівняння теплопереносу в газовому компоненті, рівняння теплопереносу на твердому компоненті та рівняння масопереносу в газовому компоненті. З метою отримання розрахункової залежності для температур складена математична модель теплообміну в теплоізолюваному каналі за заданої температури газу на вході. Рішення математичної моделі

передбачало розробку методу визначення коренів характеристичного рівняння та оцінка впливу чисел Біо за графіко-аналітичним методом. Проведена верифікація математичної моделі, яка довела, що вона відповідає фізичній картині процесу нестационарного нагрівання та вірно відображає вплив основних параметрів процесу (щільність, коефіцієнту міжкомпонентного теплообміну, порізність, час нагрівання) на зміну температури шару матеріалу. Розрахункові дані задовільно корелюються з експериментальними, отриманими в подібних умовах. Для уточнення розрахунку слід мати у своєму розпорядженні точні дані щодо теплофізичних характеристик матеріалу, його порозності та значення питомої поверхні частинок. Для розширення теоретичних уявлень та отримання рекомендацій щодо інтенсифікації процесу теплообміну в щільній насадці проведено конструювання ґрунтового регенератора для теплиці, виготовлена пілотна установка та проведені дослідження в натурних умовах. За результатами аналізу розподілу температур в гранульованій насадці при нагріванні наскрізним потоком повітря визначено, що шари матеріалу в каналі послідовно поглинають теплоту наскрізного потоку повітря, причому завдяки теплоємності обраного матеріалу попередні шари інтенсивно поглинають теплоту, що викликає істотне зниження інтенсивності процесу в наступних шарах. З часом температура всіх шарів збільшується, проте теплової рівноваги не спостерігалось. Спостерігається зменшення різниці між температурами на межах каналу. Аналіз кривих температур показує, що в процесі нагрівання щільного шару матеріалу не спостерігається стрибкоподібних зон зміни температур, що підтверджує адекватність розробленої математичної моделі. Для відповіді на питання, як розподілені в часі перша і друга стадії нагріву частинки, проведені додаткові дослідження нагрівання одиночної частки в каналі. Це важливо при оцінці впливу теплопровідності в твердому матеріалі на розподіл температурного поля і оптимізації розмірів частинок. Експерименти показали, що рух температурних кривих за часом для поверхні та центру частки повторює один одного, тобто закон зміни температури для всіх точок однаковий і перший період нагрівання надзвичайно малий. Таким чином, в теплових розрахунках можна використовувати рівняння для другої стадії, для якої характерний однаковий закон зміни температури у всіх точках матеріалу. Окремим важливим питанням було дослідження аеродинамічного опору шару матеріалу. За результатами аналізу аеродинамічних досліджень визначено, що рівняння Ергуна з прийнятною точністю описує експериментальні дані для розрахунку залежності втрат тиску від довжини каналу. Для можливості виконання теплових конструкторських розрахунків ґрунтового регенератора розроблена методика, що дозволяє за заданими геометричними характеристиками теплиці, середнього потоку сонячного випромінювання, показника поглинання теплового потоку сонячної радіації ґрунтом, середньої температури навколишнього середовища, виду гранульованого матеріалу та інших вхідних даних визначити об'єм теплообмінної ділянки, масу завантаження, кількість теплоти, що акумульована гранульованою насадкою, та оцінити тривалість періоду охолодження з урахуванням втрат в періоді паузи. Результати впровадження ґрунтового регенератора і методики його теплового розрахунку було підтверджено довідкою про впровадження в ТОВ "Науково-виробниче підприємство АГРОФЕРМТЕХНІКА".

2. The work is aimed at creating theoretical and practical conditions for the effective use of a dense layer of granular material as a nozzle in a regenerative heat exchanger for the accumulation of low-potential heat in an explicit form. In order to obtain the necessary scientific and practical data, a number of tasks were formulated and solved in this work. Based on the analysis of modern achievements in the field of research, the rational areas of use of heat accumulators with granular (bulk) materials and the main physical and geometric parameters that affect the intensity of heat exchange between a dense layer and a through gas flow are determined. A mathematical model of interconnected intercomponent heat and mass transfer in a dense stationary layer is developed, according to which the layer consists of two quasi-homogeneous components - gas and solid. The model includes the equation of heat transfer in the gas component, the equation of heat transfer on the solid component, and the equation of mass transfer in the gas component. In order to obtain a calculated dependence for temperatures, a mathematical model of heat transfer in a heat-insulated channel at a given gas inlet temperature was developed. The solution of the mathematical model involved the development of a method for determining the roots of the characteristic equation and assessing the influence of Bio numbers using the graphical and analytical method. The

mathematical model was verified, which proved that it corresponds to the physical picture of the unsteady-state heating process and correctly reflects the influence of the main process parameters (density, intercomponent heat transfer coefficient, porosity, heating time) on the temperature change of the material layer. The calculated data correlate satisfactorily with the experimental data obtained under similar conditions. To refine the calculation, it is necessary to have accurate data on the thermophysical characteristics of the material, its porosity, and the value of the specific surface area of the particles. To expand the theoretical concepts and obtain recommendations for intensifying the heat exchange process in a dense nozzle, a soil regenerator for a greenhouse was designed, a pilot plant was manufactured, and field studies were conducted. The analysis of the temperature distribution in the granular nozzle when heated by a through air flow shows that the layers of material in the channel sequentially absorb the heat of the through air flow, and due to the heat capacity of the selected material, the previous layers absorb heat intensively, which causes a significant decrease in the intensity of the process in the subsequent layers. Over time, the temperature of all layers increases, but thermal equilibrium was not observed. The difference between the temperatures at the channel boundaries decreases. The analysis of temperature curves shows that no abrupt temperature change zones are observed during the heating of a dense layer of material, which confirms the adequacy of the developed mathematical model. To answer the question of how the first and second stages of particle heating are distributed in time, additional studies of the heating of a single particle in the channel were carried out. This is important when assessing the effect of thermal conductivity in a solid material on the distribution of the temperature field and optimising particle sizes. Experiments have shown that the time course of the temperature curves for the surface and centre of the particle repeats each other, i.e. the law of temperature change is the same for all points and the first heating period is extremely short. Thus, the equations for the second stage, which is characterised by the same law of temperature change at all points of the material, can be used in thermal calculations. Another important issue was the study of the aerodynamic drag of the material layer. Based on the results of the analysis of aerodynamic studies, it was determined that the Ergun equation describes the experimental data with acceptable accuracy for calculating the dependence of pressure loss on the length of the channel. To perform thermal design calculations of the soil regenerator, a methodology was developed that allows, based on the given geometric characteristics of the greenhouse, the average solar radiation flux, the absorption rate of the solar radiation heat flux by the soil, the average ambient temperature, the type of granular material and other input data, to determine the volume of the heat exchange area, the weight of the load, the amount of heat accumulated by the granular nozzle, and to estimate the duration of the cooling period from. The results of the implementation of the soil regenerator and the methodology for its thermal calculation were confirmed by a certificate of implementation at the Research and Production Enterprise AGROFARMTECHNIKA LLC.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Енергетика та енергоефективність

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Широке застосування технологій більш чистого виробництва та охорони навколишнього природного середовища

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- Boshkova, I., & Mukminov, I. (2022). Mathematical modeling of the heat transfer process in a dense blown layer of granular material. *ScienceRise*, (6), 10-17.
- Mukminov, I., Volgusheva, N., Georgiesh, C., & Boshkova, I. (2022). Experimental study of a pilot unit of a ground regenerator for greenhouses. *ScienceRise*, (2), 3-10.
- Мукмінов, І., Бошкова, І., Волгушева, Н., Альтман, Е., & Потапов, М. (2021). Теоретичне та експериментальне дослідження теплообміну в каналі з гранульованою насадкою. *Refrigeration Engineering and Technology*, 57(4), 264-272.

- Perspectives of using microwave heating of petroleum products in the tank / I. Boshkova, N. Volgusheva, O. Titlov, E. Altman, I. Mukminov. Journal of new technologies in environmental science. 2021. Vol. 4. P. 150–156.
- Бошкова, І., Волгушева, Н., Мукмінов, І., Бондаренко, О., & Паскаль, О. (2021). Вивчення перспектив застосування цеолітів для теплових акумуляторів. Refrigeration Engineering and Technology, 57(3), 196–205.
- Бошкова, І., Волгушева, Н., Тітлов, О., Альтман, Е., & Мукмінов, І. (2021). Дослідження ефективності мікрохвильового нагріву нафтопродуктів. Refrigeration Engineering and Technology, 57(2), 98–105.
- Бошкова, І., Волгушева, Н., Альтман, Е., Мукмінов, І., & Гречановський, А. (2021). Аналіз ефективності тепличного ґрунтового регенератора з гранульованою насадкою. Refrigeration Engineering and Technology, 56(3-4), 133–139.
- Development of a soil regenerator with a granular nozzle for greenhouses / I. Boshkova et al. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2020. Vol. 4, no. 8 (106). P. 14–20.
- Boshkova I., Altman E., Mukminov I. Efficiency of use of the submersible heat exchanger in the sulphuric acid chemical reactor with the motionless layer of the catalyst. Modern technology, materials and design in construction. 2019. Vol. 25, no. 2. P. 80–85
- Вивчення ефективності застосування мікрохвильового нагріву нафтопродуктів / Бошкова, І.Л., Мукмінов І.І. та ін. Technical research and development: collective monograph : монографія. Boston, 2021. С. 458–470.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** технології

**Соціально-економічна спрямованість:** економія енергоресурсів

**Охоронні документи на ОПВ:**

Винаходи, корисні моделі, промислові зразки

Ґрунтовий регенератор для теплиць : пат. 148065 Україна : А01G 9/24 (2006.01). № u202100945 ; заявл. 26.02.2021 ; опубл. 30.06.2021, Бюл. № 26. 3 с.

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:**

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Бошкова Ірина Леонідівна
2. Irina Boshkova

**Кваліфікація:** к.т.н., доц., 05.14.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-5989-9223

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Одеський національний технологічний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02071062

**Місцезнаходження:** вул. Канатна, буд. 112, Одеса, 65039, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

### Офіційні опоненти

#### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Петраш Віталій Дем'янович
2. Vitaly D. Petrash

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.23.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-0413-233X

#### Додаткова інформація:

**Повне найменування юридичної особи:** Одеська державна академія будівництва та архітектури

**Код за ЄДРПОУ:** 02071033

**Місцезнаходження:** вул. Дідріхсона, буд. 4, Одеса, 65029, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

#### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Нікульшин Володимир Русланович
2. Володимир Р. Нікульшин

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.14.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-5946-8562

#### Додаткова інформація:

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Одеська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 43861328

**Місцезнаходження:** пр. Шевченка, буд. 1, Одеса, 65044, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### Рецензенти

#### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Безбах Ігор Віталійович
2. Igor Bezbah

**Кваліфікація:** д.т.н., доц., 05.18.12

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-2353-1811

**Додаткова інформація:** <https://scholar.google.ru/citations?user=vHNtslYAAAAJ&hl=ru>

**Повне найменування юридичної особи:** Одеський національний технологічний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02071062

**Місцезнаходження:** вул. Канатна, буд. 112, Одеса, 65039, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Грудка Богдан Геннадійович

2. Bohdan G. Hrudka

**Кваліфікація:** к. т. н., 05.05.14

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-1200-5442

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Одеський національний технологічний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02071062

**Місцезнаходження:** вул. Канатна, буд. 112, Одеса, 65039, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Косой Борис Володимирович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Косой Борис Володимирович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Крупіца Ірина Вікторівна

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна