



**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології**

**Збірник тез доповідей XXXVIII Всеукраїнської науково-практичної
конференції студентів, аспірантів і молодих вчених**

**”ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ
І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ”**

04-05 червня
Київ 2026р.

УДК 66

ББК 35.11-5я43

О 16

Збірник тез доповідей XXXVIII всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв підприємств будівельних матеріалів", 04-05 червня 2026 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2026. – 262 с.

Збірник тез доповідей XXXVIII всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених

"ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ"

Голова оргкомітету: д.т.н., професор, Корнієнко Ярослав Микитович

Члени оргкомітету:

КПІ ім. Ігоря Сікорського:

Зав. кафедри МАХНВ, к.т.н., доц. Степанюк Андрій Романович

к.т.н., доц. кафедри МАХНВ Андреев Ігор Анатолійович

к.т.н., доц. кафедри МАХНВ Швед Микола Петрович

к.т.н., доц. кафедри Е та ТРП Бенатов Даніель Емілович

ІТТФ НАН України

академік, д.т.н., професор Снежкін Юрій Федорович

член-кореспондент, д.т.н., професор Петрова Жанна Олександрівна

д.т.н., с.н.с., пр.н.с. Коник Аліна Василівна

к.т.н., с.н.с., Слободянюк Катерина Сергіївна

Інститут газу НАН України

Заступник директора з наукової роботи, к.т.н., Костогриз Кирило Петрович

Заступник директора з наукової роботи, к.т.н., Сміхула Анатолій Володимирович

Учений секретар Інституту газу НАН України к.т.н., Собченко Віктор Васильович

Редактор та комп'ютерна верстка:

старший викладач, PhD, Подиман Григорій Сергійович

Рекомендовано до друку

Вченою радою Інституту

технічної теплофізики

НАН України

Протокол № 7

від 2.06.2026 р.

Рекомендовано

Вченою радою

Інститут газу

НАН України

Протокол № 7

від 16.04.2026 р.

Рекомендовано до друку

Кафедрою машин та апаратів

хімічних

і нафтопереробних виробництв

Протокол № 24

від 28.05.2026 р.

Тези опубліковано за авторською редакцією.

**СЕКЦІЯ 1
«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ І
НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ»**

MODERNIZATION OF COKE PRODUCTION PLANT WITH DEVELOPMENT OF DRUM DRYER

student Tsyupa N.V., Ph.D., Assoc. Prof. Stepaniuk A.R.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Annotation: The purpose and scope of petroleum coke are given. The technological scheme of the delayed coking unit is described. The need for modernization by developing a drum dryer to reduce the residual moisture of the final product and improve its marketable quality is substantiated.

Keywords: COKE, OIL, MODERNIZATION, DRUM DRYER

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КОКСУ З РОЗРОБКОЮ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

студентка Цюпи Н.В., к.т.н., доц. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *Наведено призначення та область використання нафтового коксу. Описано технологічну схему установки сповільненого коксування. Обґрунтовано необхідність виконання модернізації шляхом розробки барабанної сушарки для зниження залишкової вологості кінцевого продукту та підвищення його товарної якості*

Ключові слова: КОКС, НАФТТА, МОДЕРНІЗАЦІЯ, БАРАБАННА СУШАРКА

The final product of the technological process is petroleum coke - a solid, high-ash, carbonaceous residue formed during the thermal decomposition of heavy

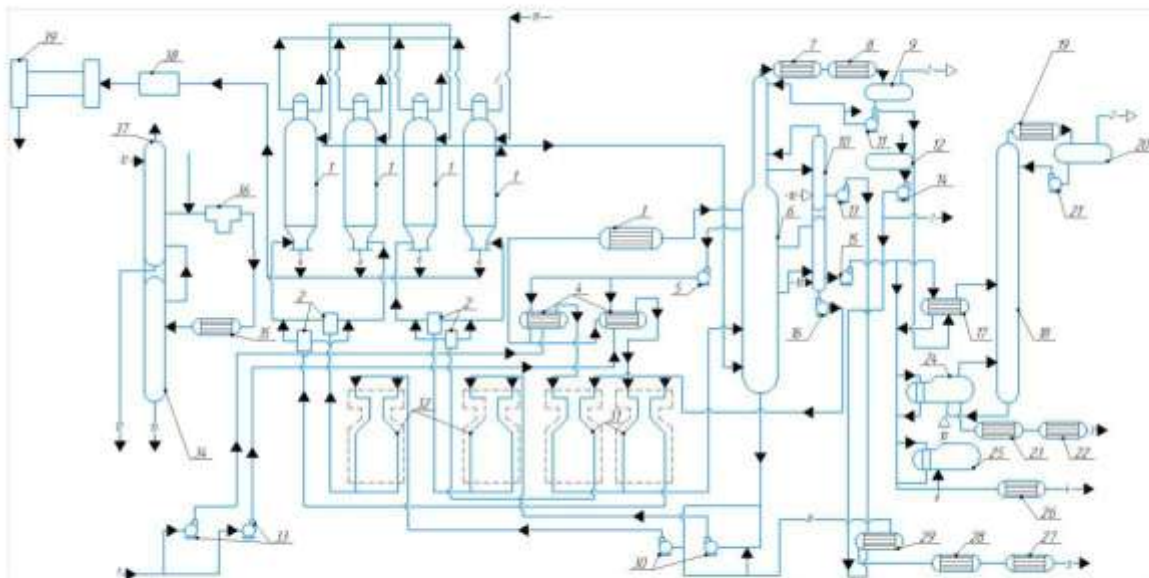
petroleum residues, such as tar, cracking residue or asphalt. Depending on the quality of the feedstock and process conditions, petroleum coke is divided into several types: needle (high crystal orientation), granular, spongy and dust. The main properties of coke that determine its consumer value include: sulfur content, metal content (vanadium, nickel), volatile matter content and, especially important for this modernization, residual moisture [1].

High quality coke, achieved in particular by controlling the moisture content, is necessary for its further use. For example, anode coke should have an extremely low sulfur and metal content, as well as low moisture (up to 0.5-1.5%), since it is a raw material for the production of pre-burnt anodes used in electrolyzers for primary aluminum production. Fuel coke, which has a higher sulfur and metal content, is used as a high-calorie fuel (the heat of combustion can reach 30-35 MJ/kg), where low moisture ensures maximum combustion efficiency and reduced transportation costs. Thus, reducing the moisture content of coke after hydrocutting is the main goal of the proposed modernization [2].

The technological scheme of coke production is shown in Figure 1 [3].

The raw material is fed in two parallel streams by pumps 33 into the recuperative heat exchangers 4, where it is heated to a temperature of 425 C, enters the right pair of furnaces 31, where it is heated to a temperature of 515-520 C. After that, the raw material enters the rectification column 6. From the lower part of the column 6, the bottom residues are fed by pumps 30 into the furnace 32, where they are heated again to a temperature of 520 C and through the distribution valves 2 are fed in pairs into the column 1 (coke column). While one pair of columns 1 is being filled, the second pair is undergoing the process of coke formation, cooling with water, cutting the coke with a water cutter, and unloading the coke through the lower hatches. Water vapor is taken from the upper part of the coke chambers and fed into the scrubber 37, where it is separated into water and oil products. Antifoam additives are also supplied to the coke chamber. From the middle part of the distillation column 6, petroleum

products are supplied to rectification column 10. From the lower part of column 10, raw material is also fed by pump 16 through furnaces 31 into coke chambers 1.



1- coke column, 2-distribution valve; 3, 7, 23, 26, 28, 35-condenser; 4, 17, 29-heat exchanger; 6, 10-rectification column; 19, 18, 22-refrigerator; 8-water cooler; 9, 20-separator; 12, 34-collector; 24, 25-boiler; 5, 11, 13-16, 21, 30, 33-pump; 36-filter; 31, 32-furnace; 37-scrubber; 38 – centrifuge; 39 – drum dryer

Figure 1 – Technological scheme of coke production

From the upper part of column 6, gasoline vapors and gas are fed into air condenser 7, water cooler 8 and separator 9 at a temperature of 40 C. Gas is taken from the upper part of the separator, gasoline and water from the lower part. Gasoline is fed to the rectification column 18 through the heat exchanger 17. Water from the separator 9 through the collector 12, pump 14 is fed to the heat exchanger 29, to the furnace 31 and to the column 1. Heavy gas oil from the third plate of the column 6 is fed to the bottom of the column 10. Light gas oil from the fourteenth plate is fed to the top of the column 10. From the lower part of the column 10, pump 15 through heat

exchangers 17, 24, 25, heavy gas oil is fed to the warehouse. From the upper part of the column 10, part of the vapors is fed to the column 6, and part of the light gas oil is fed to the warehouse through the heat exchanger 29, refrigerators 28, 27. Excess heat from the column 6 is taken by pump 5 to heat exchanger 4, refrigerator 3, and back to column 6. From the top of the eighteenth column, gas is taken through the refrigerator 19, separator 20 and pump 21. The part that has not condensed goes back to irrigation. From the bottom of the column 18, through the boiler 24, part of the vapors is fed into the column 18, and part through the refrigerator 23, 22 is fed to the gasoline warehouse. Boiler 25 is used as a steam generator for the needs of the plant. The coke chamber has the shape of a cylinder with a diameter of up to 5 m. and a height of 30-35 m [4].

The purpose of the work is to modernize the drum dryer.

A drum dryer is a device designed for thermal drying of wet petroleum coke, which is formed after hydrocutting and contains a significant amount of water [5].

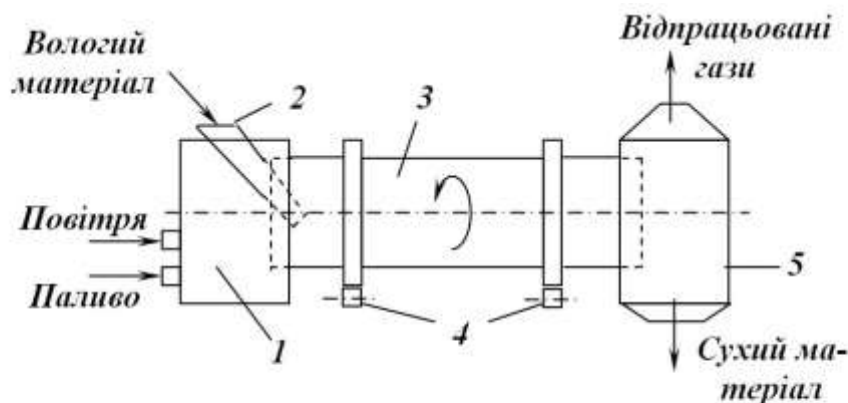


Рис. – Схема барабанної сушарки:
1- топка; 2 – завантажувальний лоток; 3 – барабан; 4 – котки;
5 – розвантажувальна камера.

Figure 2- Diagram of a drum dryer [6]

Principle of operation: Wet coke is loaded into one end of a horizontal, slightly inclined, slowly rotating cylindrical drum. Blades (tipping devices) are attached inside

the drum. The rotation and blades ensure intensive mixing of the material and its advancement to the discharge end, simultaneously scattering the coke in a "curtain". A hot coolant (for example, flue gases from the furnace or hot inert gas) is supplied towards the coke (counter-current scheme) or in one direction (direct-current scheme) [7]. Due to convective heat exchange between the hot gas and the large surface of the coke particles, moisture evaporates rapidly. Dry coke is unloaded, and the spent, moisture-saturated coolant, before being released into the atmosphere, is cleaned in cyclones or filters (18) to trap coke dust [8].

The advantages are continuous operation and high productivity. Efficiency, which is well suited for granular, non-sticky materials (coke). The design itself is relatively simple and reliable, also durable. Ease of operation, the possibility of using various coolants [9].

Disadvantages - high dust generation, low efficiency with large heat losses with exhaust gases. The design has large dimensions and high metal content of the device. Operation has significant energy consumption for rotation [10].

List of links

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Petroleum_coke

2. <https://esu.com.ua/article-8077>

3. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42074>

4. <https://ela.kpi.ua/items/d6c8b225-def3-4030-9581-adba5e0884fe>

5. https://uk.wikipedia.org/wiki/Drum_dryers

6. -

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/uk/a/a2/Схема_барабанной_сушарки.JPG

7. <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/vyvchennja-klassyfikaciyi-konstrukciyi-ta-pryncypu-diyi-susharok.pdf>

8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722005893>

9. <https://ua.star-drying.com/info/what-are-the-advantages-of-drum-dryer-97436629.html>
10. <https://feeco.com/advantages-disadvantages-to-fluid-bed-dryers/>

UDC 665.7

MODERNIZATION OF A LUBRICANT PRODUCTION PLANT WITH THE DEVELOPMENT OF AN EVAPORATION COLUMN AND STEAM GENERATOR

Student Ponomarev O.O., Assoc. Prof., Ph.D. Stepaniuk A.R.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Annotation: *The technological scheme and principles of operation of the devices are described.*

Keywords: RECTIFICATION, OIL, EVAPORATOR, STEAM GENERATOR, MASS EXCHANGE, HEAT EXCHANGE.

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА МАСТИЛА З РОЗРОБКОЮ ВІДПАРНОЇ КОЛОНИ ТА ПАРОГЕНЕРАТОРА

Студент Пономарьов О.О., доц., к.т.н. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *Описано технологічну схему і принципи роботи апаратів.*

Ключові слова: РЕКТИФІКАЦІЯ, МАСТИЛО, ВІДПАРНА КОЛОНА, ПАРОГЕНЕРАТОР, МАСООБМІН, ТЕПЛООБМІН.

Lubricants are a class of refined petroleum products used to reduce friction and wear of mechanical parts, protect against corrosion, and ensure reliable operation of machines, increasing their durability and efficiency. They can be divided by consistency: more liquid (oils) and more plastic and thick (greases), which are better retained in the friction zone and can perform a sealing function. Compared to most fractions of crude oil (except fuel oil and asphaltenes), they have a high boiling point (350-575°C). [1]

Plastic lubricants are a dispersed system consisting of a base oil and a thickener (soap or non-soap type), and technologically their production comes down to dispersing the thickener in oil and subsequent homogenization to achieve a given consistency.

For soap oils, the production cycle usually includes the following stages: raw material loading → saponification → dehydration → finishing (adding the remaining oil and additives) → deaeration/degassing → homogenization → cooling and packaging. [1]

Description of the technological scheme of the lubricant production process

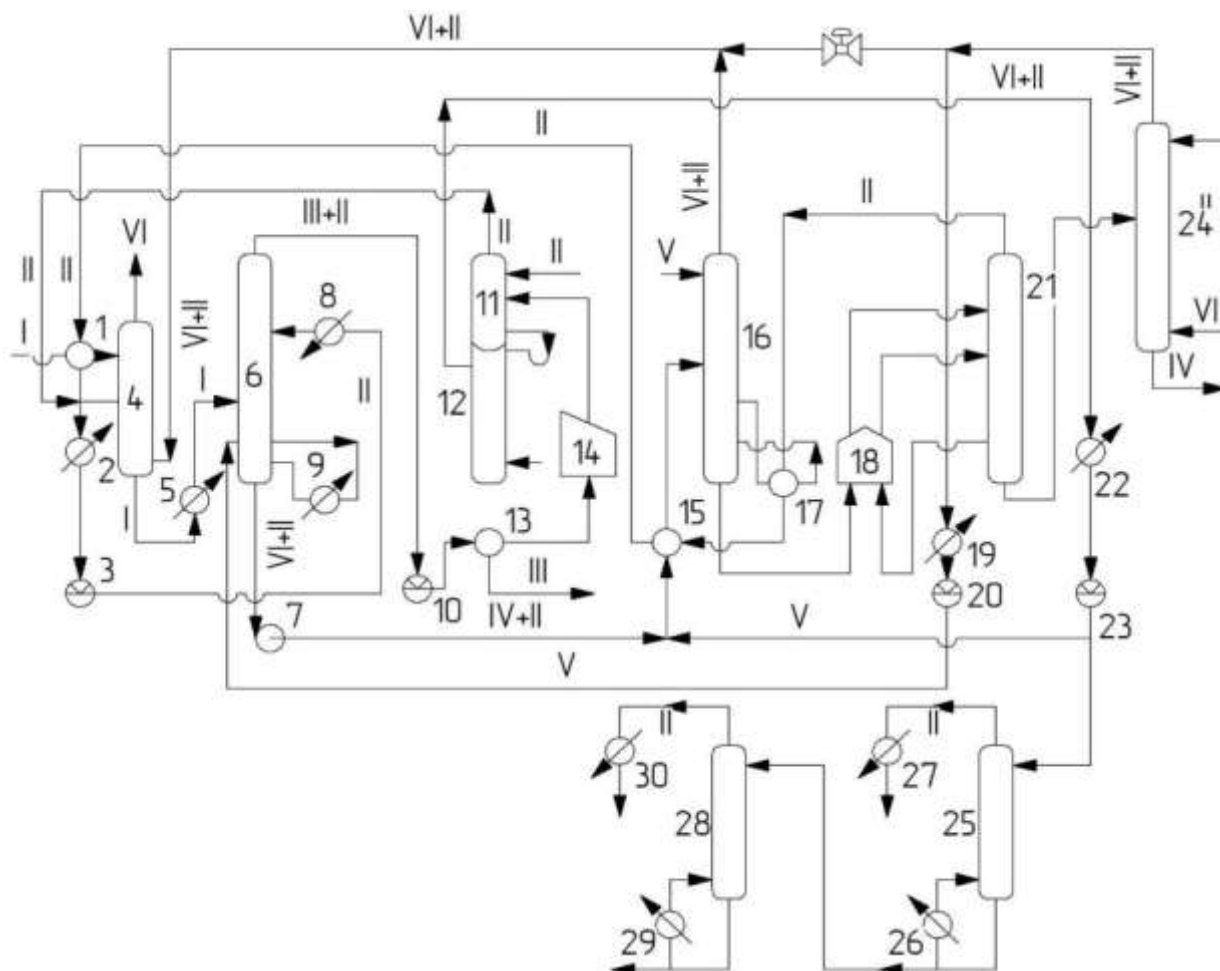
The technological scheme of lubricant production is shown in Figure 1.

Through the heat exchanger 1, the initial mixture enters the absorber 4, where the initial raw material comes into contact with the vapors of a mixture of water with phenol and cresol solution, which enter the absorption column 4 from the column dryer 16, excess vapors are released into the atmosphere. In due time, the phenol-cresol mixture enters the upper part of the column apparatus, and phenol-cresol water is supplied through the tank 20 to the lower part of the column apparatus. The mode of the apparatus 6 is limited by the temperatures of the phenol-cresol mixture and the primary raw material. The mixture of oil, phenol and cresol is finally supplied to the stripping columns 25 and 28, after separation, the oil is discharged into the bunkers. [1].

Selection of type and description of device design

The modernization of the installation is aimed at increasing energy efficiency and stability of lubrication performance by:

- Intensification of dehydration and removal of volatile components in the stripping column to achieve the required concentrations of phenol and cresol in lubricant production;
- Ensuring stable and controlled heat supply to the process through a steam generator (steam for apparatus jackets, heaters, bubbling/evaporation, auxiliary needs).



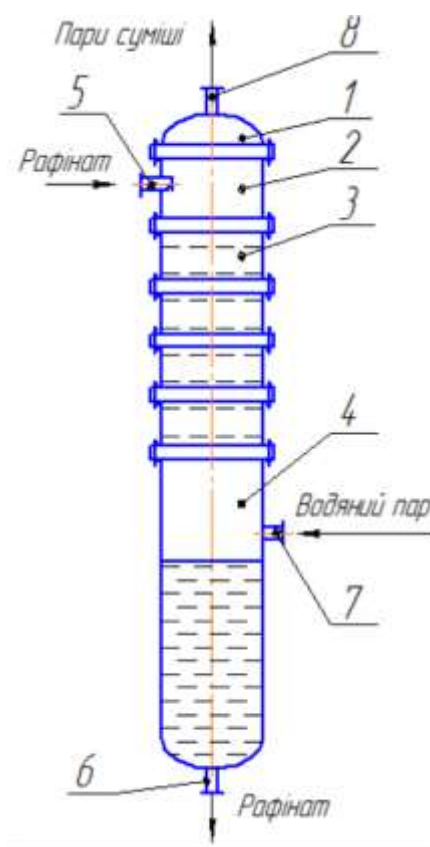
1, 2, 5, 8, 9, 13, 15, 17, 19, 22, 26, 29 – heat exchangers in the diagram; 3 – tanks for cresol and phenol; 4 – absorption column type apparatus; 6 – extraction device; 7 – extraction pump; 10 – raffinate tank; 11, 12, 16, 21, 24 – phenol and cresol regenerators, respectively from mixtures of raffinate and extract; 14, 18 – tubular furnaces; 20, 23 – phenol-cresol and water tanks; 25, 28 – columns for evaporation of phenol and cresol from the mixture; 27, 30 – reflux condensers; I – initial raw material; II – phenol-cresol mixture; III– raffinate; IV – extraction mixture; V – mixture of water with phenol and cresol; VI – vapor-liquid mixture.

Figure 1 – Technological scheme of lubricant production

The stripping column diagram shown in Figure 2.1 is designed to evaporate the solvent solution from the raffinate using steam.

The initial mixture (phenol, cresol and lubricant) is loaded through nozzle 5. Water is supplied through nozzle 7, which rises. The evaporation process occurs directly on the plates, which are fixed in the frames 3. The substance enters the plate, where it contacts water vapor through holes in the caps. The purified oil is taken through 6, and a fitting 7 is provided to remove vapors of the mixture of phenol, cresol and water [6].

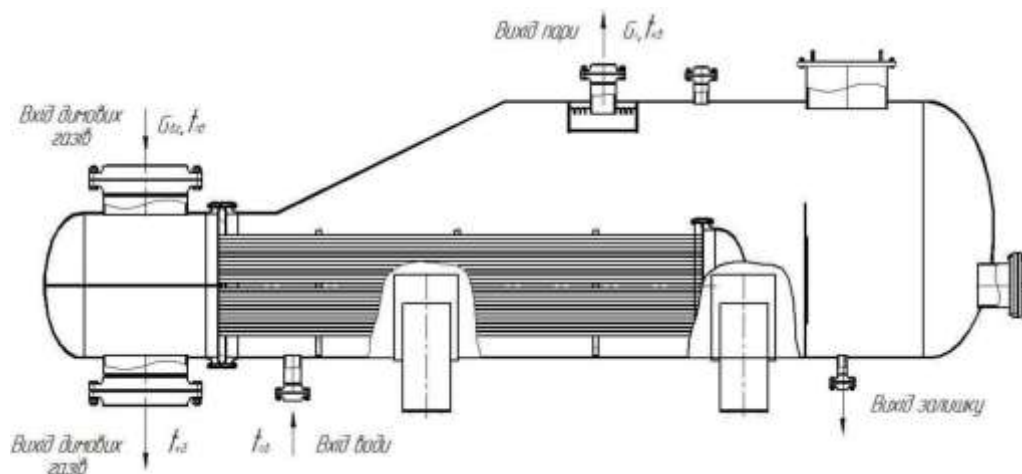
The diagram of the steam generator is shown in Figure 2.2.



1 - elliptical cover; 2 - cylindrical shell; 3 - tsarga with plates;
4 - cube; 5 - fitting for the inlet of the refined product; 6 - fitting for the outlet of the refined product; 7 - fitting for water vapor; 8 - fitting for releasing vapors of the azeotropic mixture.

Figure 2.1 – Stripping column diagram

The steam generator is a single-shell heat exchanger of the horizontal type and consists of the following components, shown in Figure 2.2. The casing determines the main dimensions of the steam generator, it has inlet and outlet ports, a heat exchange surface in the form of a bundle of heat exchange tubes.



1-housing; 2-cover; 3-moving tube; 4-pipes; 5-fixed tube grid; 6-distribution chamber; 7-distribution chamber cover; 8-supports.

Figure 2.2. – Steam generator design diagram

The casing has the form of a welded cylindrical vessel of elongated shape, at the ends of which on one side there is a hatch - a manhole for access to the volume of the secondary circuit. The casing also has nozzles for the supply and discharge of the coolant of the primary circuit, steam discharge nozzles, a flue gas supply nozzle, as well as other nozzles and hatches for technological purposes [4]

List of links

1. Shved, M. P., Stepaniuk, A. R., & Shved, D. M. (2022). Innovative technologies for deep processing of organic materials: lecture notes.
2. Patent of Ukraine UA124245 IPC B01D 3/00 published 26.03.2018 Bull. No. 6;

3. Patent of Ukraine UA135945 IPC B01D 3/14 published 25.07.2019, Bull. No. 14.
4. Patent No. 121124 (UA), MPK 2006.01 F22B 1/02 ,. Steam generator with a horizontal bundle of heat exchange tubes/ Lakhov Dmitry Alexandrovich, Safronov Oleksiy Volodymyrovych;; Application No. a201707374, 11/16/2015; Publ. 10/04/2020, Bull. No. 7
5. Nyshuk M.P. / Modernization of the stripping distillation column for contact cleaning of oils // Nyshuk M.P., Stepaniuk A.R. XIV All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Equipment of chemical production and enterprises of building materials". (Kyiv, April 15-16, 2014) collection of abstracts. add. K.: Publishing house of UVOI "Dopomoga" UCI" 2014.
6. Collection of abstracts of the XX International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists "Resource-Energy-Saving Technologies and Equipment" (April 28-29, 2021, Kyiv) / Compiled by Ya.M. Kornienko. – Kyiv: "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2021. – 240 p

UDC 621.928.3

INFLUENCE OF MESH INSERTS ON THE STRUCTURE OF A SWIRLING GAS FLOW IN A CYCLONE

graduate student M.V. Dyshkant, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: *The influence of porous mesh inserts installed in the conical part of a cyclone on the structure of a swirling gas flow is investigated. The vortex structure is described using the combined Rankine model. The effect of the inserts is taken into account by introducing an additional resistance term according to the Darcy–Forchheimer model. The influence of insert permeability on the tangential velocity distribution and the hydraulic resistance of the apparatus is analyzed.*

KEY WORDS: CYCLONE, SWIRLING FLOW, RANKINE MODEL, HYDRAULIC RESISTANCE.

ВПЛИВ СІТЧАСТИХ ВСТАВОК НА СТРУКТУРУ ЗАКРУЧЕНОГО ГАЗОВОГО ПОТОКУ В ЦИКЛОНІ

аспірант Дишкант М.В., к.т.н., доц. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: *Досліджено вплив пористих сітчастих вставок, встановлених у конічній частині циклона, на структуру закрученого газового потоку. Вставки змодельовано як пористе середовище з використанням підходу Дарсі–Форхгеймера. Показано, що введення пористих елементів стабілізує*

вихрове ядро, зменшує інтенсивність вторинних течій та впливає на розподіл тангенціальної швидкості. Проаналізовано вплив проникності вставок на гідравлічний опір апарата.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЦИКЛОН, ЗАКРУЧЕНИЙ ПОТІК, ПОРИСТЕ СЕРИДОВИЩЕ, СІТЧАСТІ ВСТАВКИ.

The efficiency of gas–solid separation in cyclones is determined by the structure of the swirling flow and the parameters of vortex motion [1–4]. In a reverse-flow cyclone, a double-vortex structure is formed: an outer downward vortex and an inner upward vortex [4]. Instability of the vortex core and the development of secondary flows may lead to particle re-entrainment and reduced separation efficiency [3].

To describe the tangential velocity distribution, the combined Rankine vortex model is used [4]

$$v_{\theta} = \begin{cases} \omega r, & r \leq r_0 \\ \frac{C}{r^n} & r > r_0 \end{cases}$$

де ω is the angular velocity in the core region,

r_0 is the vortex core radius,

C is the circulation constant,

n is the vortex exponent.

In order to control the flow structure, porous mesh inserts are installed in the conical section of the cyclone. Their influence can be taken into account by introducing an additional resistance term into the momentum equation according to the Darcy–Forchheimer model [5]:

$$S_i = -\frac{\mu}{\alpha} v_i - \frac{1}{2} C_2 \rho |v| v_i$$

where S_i is the volumetric resistance force (source term in the momentum equation),

v_i is the i -th velocity component,

μ is the dynamic viscosity of the gas,

ρ is the gas density,

α is the permeability of the porous medium,

C_2 is the inertial resistance coefficient.

The permeability of the mesh structure can be estimated using a Kozeny–Carman-type relation for packed beds [5]:

$$\alpha = \frac{\varepsilon^3 d_w^2}{150(1 - \varepsilon)^2}$$

where ε is the porosity of the structure,

d_w is the characteristic structural element size.

The introduction of porous inserts leads to a redistribution of tangential velocity, a reduction in its peak values near the wall, and partial stabilization of the vortex core. However, a decrease in permeability is accompanied by an increase in the hydraulic resistance of the apparatus, which requires optimization of insert parameters.

Conclusion. Thus, porous mesh inserts can be considered as a means of aerodynamic stabilization of the swirling flow, enabling control of the balance between separation efficiency and energy consumption.

References.

1. Leith D., Licht W. The collection efficiency of cyclone type particle collectors — a new theoretical approach. AIChE Symposium Series. 1972. Vol. 68(126). P. 196–206.
2. Barth W. Berechnung und Auslegung von Zyklonabscheidern auf Grund neuerer Untersuchungen. Brennstoff-Wärme-Kraft. 1956. Vol. 8. P. 1–9.
3. Muschelknautz E. Die Berechnung von Zyklonabscheidern für Gase. Chemie Ingenieur Technik. 1972. Vol. 44(1–2). P. 63–71.
4. Hoffmann A.C., Stein L.E. Gas Cyclones and Swirl Tubes: Principles, Design and Operation. 2nd ed. Berlin: Springer, 2008. 422 p.

5. Ergun S. Fluid flow through packed columns. Chemical Engineering Progress. 1952. Vol. 48(2). P. 89–94.

УДК 665.777.4

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ УПОРНОГО РОЛИКА ДЛЯ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

Степура Г.А., магістр; Щербина В.Ю., д.т.н., проф.,

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Виконана розробка програми для автоматизованого проектування упорного ролика, що включає в себе автоматичне виконання 2D-креслення деталі та побудови 3D-моделі з можливістю налаштування розмірів за допомогою діалогового вікна. Програму можна застосовувати як складову автоматизованого проектування під час виконання конструкторських і проектних робіт, зокрема при створенні нових та модернізації існуючих розроблених елементів конструкції.

Вступ. Барабанна сушарка — це теплотехнічний апарат безперервної дії, призначений для видалення вологи з сипких, кускових або пастоподібних матеріалів шляхом їх контакту з гарячим сушильним агентом (повітрям або димовими газами). Вона широко застосовується в хімічній, будівельній, харчовій, гірничо-металургійній та інших галузях промисловості.

Основним елементом барабанної сушарки є циліндричний металевий барабан, установлений з невеликим нахилом до горизонту та змонтований на упорних роликах. Барабан обертається навколо своєї осі за допомогою приводу. Усередині барабана розміщені лопаті або підйомні полиці, які захоплюють матеріал, піднімають його та пересипають крізь потік гарячого газу, забезпечуючи інтенсивний тепло та масообмін.

В данному апараті упорні ролики грають дуже вагому роль в його роботі так як безпосередньо контактують і працюють під час обертання корпусу сушарки, Під час планового або капітального ремонту часто виникає необхідність часткового або повного демонтажу з заміною рухомих деталей упорного вузла. Під час ремонту може виникнути проблема з підбором упорних роликів. У зв'язку з цим постає необхідність створення заходів, які забезпечують швидке та точне виконання креслень упорних роликів на основі заданих геометричних параметрів деталі. Одночасно актуальним є завдання удосконалення й модернізації конструкції упорного ролика шляхом варіювання його основних розмірів, оскільки надійність роботи обертового агрегату значною мірою залежить від довговічності та ресурсу корпусу ролика [1].

Мета роботи: є створення програмного забезпечення, яке б значною мірою прискорило створення 2D-креслень та 3D-моделей упорного ролика, що дозволить суттєво скоротити час проектування при розробці конструкторської документації

Математична модель. При розробці програм автоматизованого проектування форм, як базова, була використана система AutoCAD, яка є найбільш розповсюдженою інженерною системою для автоматизованого проектування. Розроблене програмне забезпечення базується на використанні функціональної мови AutoLISP та мови управління діалоговими вікнами DCL, це забезпечує можливість застосування інтерактивного введення вихідних даних, що істотно скорочує час підготовки проектної документації, а також дозволяє отримувати доступ до графічної бази даних із програмною обробкою текстової й числової інформації. [2].

Розроблена система являє собою багаторівневу віконну структуру, призначену для оперативного введення або корегування параметрів і виконання креслення деталі в 2D та 3D форматі. Введення і корегування

інформації здійснюється в інтерактивному режимі з використанням діалогового вікна наведеного на рис. 1.

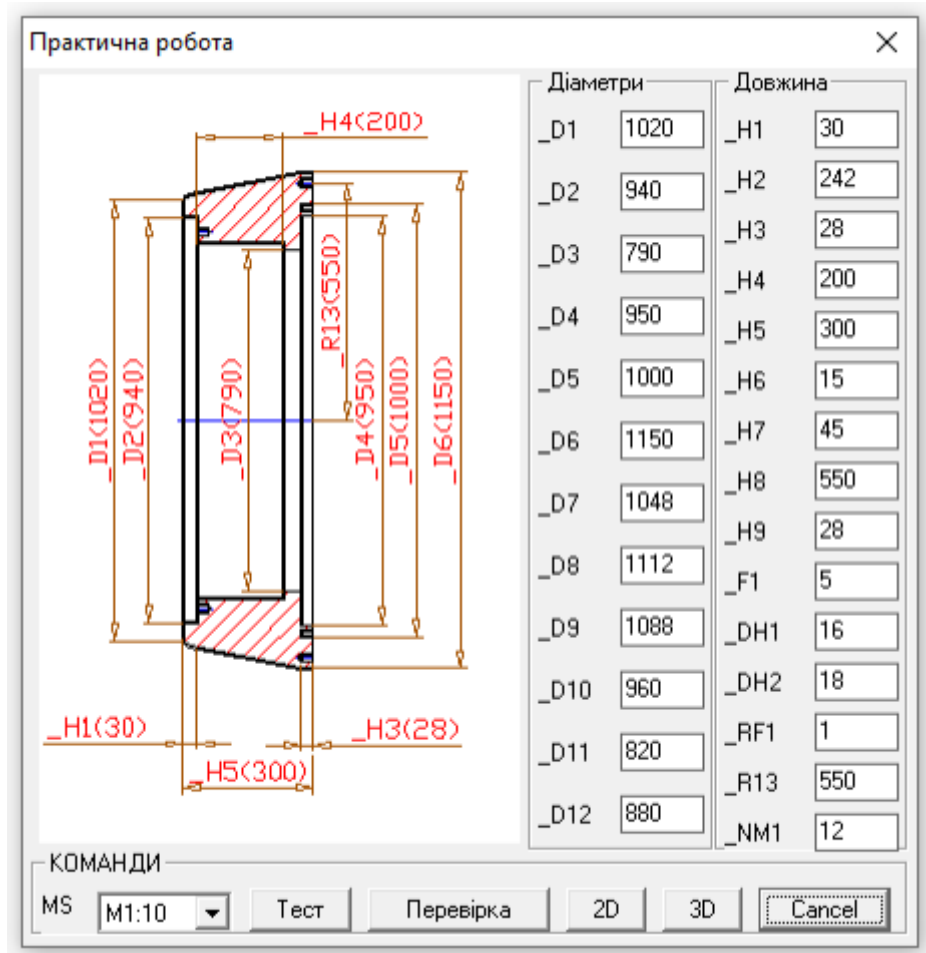


Рисунок 1 – Діалогове вікно уведення параметрів упорного ролика

З рисунку видно, що діалогове вікно розділене на 2 вертикальних секцій, це рисунок креслення та його основні параметри, також має одне горизонтальне меню знизу.

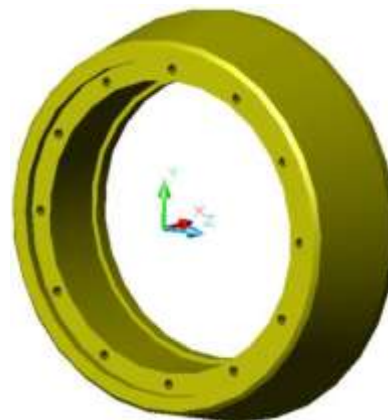
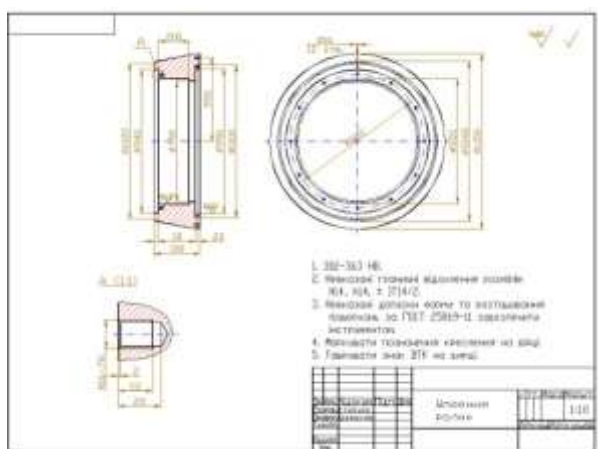
Перша частина діалогового вікна, що знаходиться зліва, містить у собі схематичне зображення креслення. Друга частина діалогового вікна має списки це "Діаметри" та "Довжина", для зручності, замість конкретних значень кожного розміру використані короткі аббревіатури, які співпадають з

назвами. Наступна частина призначена для введення розмірів деталі з відповідними комірками.

Остання частина КОМАНДИ діалогового вікна дозволяє обрати:

- масштабування деталі (присутні масштаби збільшення та зменшення);
- кнопку "Тест", яка виставляє всі розміри за заздалегідь обраними значеннями ("За замовчуванням");
- "Перевірка". Кнопка виконує перевірку даних введених в активні поля діалогового вікна. У разі помилки з'являється системне вікно, в якому вказуються конкретні помилкові значення. У випадку вірного введення відбувається повідомлення, що помилок не знайдено. Без натиснення "Перевірки" кнопки "2D" та "3D" не активуються.
- "2D". Виконує 2D-креслення деталі за заданими розмірами;
- "3D". Створює 3D-модель деталі за заданими розмірами.
- "Cancel". Вихід з меню діалогового вікна та відміна виконання програми.

На рис.2 приведені результати виконання креслення та 3D конструкції при введенні базових даних для шестерні приводу.



а)

б)

Рисунок 2 – Побудова типового креслення

упорного ролика

а) креслення деталі; б) твердотільна модель

Для креслення показаного на рисунку використовуються вихідні дані отримані з розрахунку базових технологічних параметрів деталі. Після введення вказаних параметрів в діалогове вікно виконується розрахунок необхідних геометричних параметрів конструкції, будується 3D модель типу SOLID (рис. 2б) та виконується креслення упорного ролика (рис.2а). По 3D моделі, з допомогою візуального контролю розробник аналізує отриману деталь і при необхідності вносить необхідні зміни в конструкцію.

Таким чином розроблена програма може використовуватись як складовий елемент для вдосконалення методів автоматизованого проектування при виконанні конструкторських та проектних робіт в розробці нових та модернізації діючих механізмів приводу. Що значною мірою прискорює розробку та перевірку деталі, що економить час та затрати на подальші ремонтні роботи, та під час аналізу розробленої деталі можна вже перейти до виготовлення або закупівля аналогів.

Висновки. Розроблена програма для вдосконалення методів автоматизованого проектування упорного ролика та дозволяє виконувати 2D-креслення та 3D-модель типу SOLID. В програмному забезпеченні використані функціональна мова AutoLISP та мова управління діалоговими вікнами DCL, що дає змогу застосовувати інтерактивний режим введення даних та контролювати їх значення, що значно підвищує швидкість та ефективність виконання конструкторської документації і дає можливість оперативної зміни розмірних даних та корегування значень конструктивних розміри деталі в процесі проектування.

Також було б не погано використовувати дану програму в тандемі з програмним забезпеченням VESNA, що дасть змогу зразу перевірити чи дана конструкція задовільняє умови міцності та стійкості і вразі негативного

результату змінити параметри в автоматизованій проектній системі яка наведена вище.

Перелік посилань

1. Степанюк А. Р., Гусарова О. В. Обладнання хімічних виробництв: практикум навчальний посібник. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 152 с. URL: <https://ela.kpi.ua/items/fc79cb40-3309-4523-9eb9-50739325579b>
2. Щербина В.Ю., Гондляр О.В., Чемерис А.О., Швачко Д.Г. AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. 175 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІДГРІВАЧА ВИРОБНИЦТВА ФОРМАЛІНУ ОКИСНЕННЯМ МЕТИЛОВОГО СПИРТ

студентка Матвійчук В. С., ст.викл., PhD, Подиман Г. С.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: У роботі розглянуто питання модернізації підігрівача установки виробництва формаліну, що працює в технологічній схемі окиснення метилового спирту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПІДГРІВАЧ, ТЕПЛООБМІННИК, ВИРОБНИЦТВО, ФОРМАЛІН, МЕТИЛОВИЙ СПИРТ.

MODERNIZATION OF THE HEATER FOR FORMALIN PRODUCTION BY OXIDATION OF METHYL ALCOHOL

Student Matviichuk V. S., Senior Lecturer, PhD, Podyman H. S.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ABSTRACT: The paper considers the issue of modernization of the heater in the formalin production unit, which operates within the technological scheme of methyl alcohol oxidation.

KEYWORDS: HEATER, HEAT EXCHANGER, PRODUCTION, FORMALIN, METHYL ALCOHOL.

У технологічній схемі виробництва формаліну, який здійснюється шляхом каталізованого окиснення метилового спирту, значну роль відіграють теплообмінні апарати, що забезпечують оптимальний тепловий баланс технологічних потоків. Формалін утворюється в екзотермічній реакції, яка супроводжується значним виділенням тепла; тому для підтримання необхідної

температури реактора, підготовки вихідної сировини та охолодження продуктів реакції на різних стадіях використовуються підігрівачі й охолоджувачі. Основним апаратом для реалізації цих функцій є горизонтальний кожухотрубний теплообмінник.

Горизонтальний кожухотрубний теплообмінник у схемі окиснення метилового спирту виконує кілька ключових функцій. По-перше, він дозволяє попередньо підігріти потік метилового спирту або реакційної суміші до температури, близької до оптимальної для реактора, що підвищує кінетичну швидкість процесу й стабільність реакції. По-друге, теплообмінник здатний відбирати надлишкову теплоту з реакційної зони після окиснення, що дозволяє підтримувати встановлені температурні режими й запобігати перегріву системи. По-третє, у складних схемах із використанням рекуперації енергії такі теплообмінники входять до контурів, де гарячі потоки передають тепло холоднішим, зменшуючи загальне енергоспоживання підприємства [1,2].

Одним із перспективних напрямів модернізації є використання нерівномірного профілю ребер внутрішньої або зовнішньої поверхні труб, при якому висота та/або крок ребер змінюються уздовж довжини труби для оптимального розподілу теплового потоку (рисунок 1). Такий підхід дозволяє адаптувати геометрію поверхні до змін теплових навантажень уздовж апарата, підвищити локальний коефіцієнт тепловіддачі та зменшити гідродинамічні втрати [3].



Рисунок 1 – Зображення ребер на зовнішньої поверхні труб

Нерівномірний профіль ребер передбачає, що по довжині труби параметри ребер не є постійними, а змінюються відповідно до локальних вимог до теплопередачі. Основні варіанти реалізації:

Змінна висота ребер: у першій частині теплообмінної труби (де відбувається найбільш інтенсивна конденсація або нагрів) ребра можуть мати велику висоту для збільшення поверхні контакту з теплоносієм та інтенсифікації теплового потоку. У нижчих теплових навантаженнях висота ребер може зменшуватися для зменшення гідравлічного опору.

Змінний крок ребер: початкові ділянки труби можуть мати менший міжреберний крок, що підсилює турбулентність потоку та збільшує локальний коефіцієнт тепловіддачі. У ділянках зі слабшою тепловою потребою крок ребер може збільшуватися, зменшуючи втрати тиску.

Така конструкція може бути реалізована шляхом механічного профілювання труб, спеціального вальцювання, лазерного травлення, або за допомогою високоточних методів лиття/екструзії, що дозволяють одержувати ребристі профілі з мінливими параметрами.

Змінна геометрія ребер створює диференційовані умови течії потоку в різних ділянках теплообмінника. У зоні з високою тепловою потребою (зона конденсації парів або зона підігріву) ущільнені ребра стимулюють турбулентність, прискорюють руйнування прикордонного шару та підвищують місцевий коефіцієнт тепловіддачі. У ділянках із нижчими тепловими навантаженнями збільшений міжреберний крок та менша висота ребер зменшують опір потоку, що дозволяє уникати надмірного підвищення втрат тиску. Такий адаптивний профіль дозволяє вирівнювати теплові поля вздовж трубного пучка та оптимізувати розподіл енергії [4].

Переваги

- Покращення ефективності теплопередачі завдяки підвищенню локальних коефіцієнтів тепловіддачі у критичних зонах.

- Зниження «мертвих зон» та застійних ділянок завдяки адаптивній геометрії ребер.
- Оптимізація гідродинамічного режиму за рахунок зменшення гідравлічних втрат у ділянках з меншою потребою у турбулізації.
- Підвищення сумарної енергоефективності апарата без значного збільшення габаритів.

Недоліки

- Ускладнення виготовлення трубного пучка з нерівномірним профілем ребер, що потребує високоточного обладнання й технологій.
- Підвищена собівартість теплообмінного обладнання.
- Потреба в детальному гідродинамічному та теплотехнічному проектуванні для уникнення небажаних гідравлічних опорів та локальних перегрівів.
- Складність технічного обслуговування та очищення, оскільки нерівномірні ребра можуть утримувати відкладення [3,4].

Перелік посилань

1. US 2025/0102248 A1. Self-defrosting heat exchanger and method of using same / Moroz M. N., Savin P. A., Fedorov V. V. ; U.S. Patent and Trademark Office. - Оpubл. 27.03.2025. - Режим доступу: <https://patents.justia.com/patent/20250102248> (дата звернення: 20.02.2026).
2. CN 119509220 A. Heat exchanger / China National Intellectual Property Administration. - Оpubл. 25.02.2025. - Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/CN119509220A>(дата звернення: 20.02.2026).
3. JP 2025-528281 A. Heat exchanger / Japan Patent Office. - Оpubл. 2025. - Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/JP2025528281A> (дата звернення: 20.02.2026).

4. WO 2025/056394 A1. Plaque d'échangeur de chaleur et échangeur de chaleur à plaques / World Intellectual Property Organization (WIPO). - Оубл. 20.03.2025. - Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/WO2025056394A1> (дата звернення: 20.02.2026).

УДК 66.045.1

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОСЕКЦІЙНОГО МІКРОКАНАЛЬНОГО ТЕПЛООБМІННИКА

студентка Пашенько В.М., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: Розглянуто патент, в якому проаналізовано конструкцію та принцип роботи двосекційного мікроканального теплообмінника, проаналізовано його переваги та недоліки.

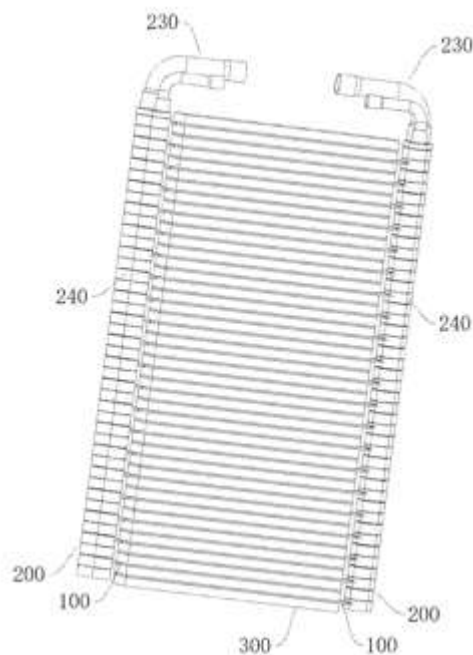
КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕПЛООБМІННИК; МІКРОКАНАЛЬНИЙ ТЕПЛООБМІННИК; ТЕПЛООБМІН; ТЕПЛОВІ СИСТЕМИ.

Abstract: The patent is considered, in which the design and operating principle of a two-section microchannel heat exchanger are analyzed, along with its **ADVANTAGES AND DISADVANTAGES.**

KEYWORDS: HEAT EXCHANGER; MICROCHANNEL HEAT EXCHANGER; HEAT TRANSFER; THERMAL SYSTEMS.

Розглянули патент US20260098687A1 [1], який описує компактний двосекційний мікроканальний теплообмінник із почерговим розташуванням трубок та зворотним рухом теплоносія, який зображений на рисунку 1.

Два теплоносії циркулюють у трубках двох незалежних контурів. Вхід і вихід кожного контуру розташовані з одного боку через колектори, а теплообмін відбувається між трубками через стінки та ребра оребрення за рахунок повітряного потоку, який проходить через теплообмінник.



100 – теплообмінні плоскі трубки, 200 – колектори, 230 – з'єднувальні трубки, 240 – секційні трубки колекторів, 300 –ребра;

Рисунок 1 – Загальний вид теплообмінника.

Принцип роботи теплообмінника базується на одночасному проходженні двох теплоносіїв через дві незалежні теплообмінні секції. Кожен теплоносій подається через вхідний колектор у плоскі трубки своєї секції. Далі він рухається по внутрішньому каналу трубки, який має зворотну (U-подібну) конфігурацію, що подовжує шлях руху і забезпечує більш інтенсивний теплообмін. Після проходження по каналу теплоносій повертається до того ж боку трубки і виходить через вихідний колектор. Оскільки трубки двох секцій розташовані по чергово і контактують між собою через стінки та ребра, між потоками різних теплоносіїв відбувається передача тепла.

Додатково теплообмін може посилюватися за рахунок повітряного потоку, який проходить через ребрення між трубками, що дозволяє реалізувати

триконтурний теплообмін. Залежно від умов роботи, один контур може виконувати функцію випарника, а інший — конденсатора.

У складі системи теплообміну циркуляція холодоагенту забезпечується компресором і дросельним елементом. При цьому дві секції теплообмінника можуть працювати незалежно або одночасно, що дозволяє регулювати продуктивність системи.

Основною перевагою є відсутність необхідності згинання трубок, що прямо вирішує проблему відомих конструкцій і спрощує виробництво. Конструкція теплообмінника є більш компактною завдяки оптимальному розташуванню колекторів і підключень. Використання проміжних трубок дозволяє підвищити герметичність і зменшити деформації при зварюванні. Також підвищується ефективність теплообміну завдяки збільшенню довжини шляху потоку та можливості створення турбулізації в каналах. Конструкція є гнучкою у використанні, оскільки може працювати як випарник або конденсатор і підтримує різні теплоносії. Додатковою перевагою є можливість роботи системи на частковому або повному навантаженні.

Основними недоліками є: конструкція вимагає точного дотримання геометричних параметрів, оскільки задано багато співвідношень між розмірами елементів, що підвищує вимоги до точності виготовлення; наявність великої кількості складових частин, таких як секційні та проміжні трубки, ускладнює процес складання; надто великі розміри ускладнюють зварювання, а надто малі збільшують гідравлічний опір.

Висновок: Запропонована конструкція теплообмінника забезпечує ефективну теплопередачу за рахунок подовженого шляху руху теплоносіїв, почергового розташування трубок та можливості додаткового повітряного теплообміну. Це підвищує інтенсивність процесу та загальну ефективність роботи пристрою. До недоліків належать підвищені вимоги до точності виготовлення та складність складання через велику кількість елементів. Попри

це, конструкція є перспективною завдяки поєднанню ефективності та функціональної гнучкості.

Перелік посилань:

1. HEAT EXCHANGER AND HEAT EXCHANGE SYSTEM: пат. US20260098687A1 USA: F28D7/16. Заявл. 28.11.2025; опубл. 09.04.2026.

URL:

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=pn%3DUS20260098687A1>

UDC 66.047; 544.421

KINETIC FEATURES OF BISCHOFITE DEHYDRATION UNDER THERMORADIATIVE HEATING

PhD student Filipov V.V., PhD, Associate Professor Novokhat O.A.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract: *Generalized results of an experimental study on the dehydration of natural crushed bischofite in its initial hexahydrate form under thermoradiative heat supply are presented. It is shown that as the surface temperature of the material increases from 70 to 110 °C, the degree of dehydration rises and the transition to lower hydrate forms accelerates. Based on the linearization of experimental data by the Avrami-Erofeev equation, a two-stage character of the process was established. The first stage is characterized by a higher rate and is governed mainly by thermal action, whereas at the second stage the internal diffusion resistance becomes significant. The obtained results can be used to select temperature-time modes for partial dehydration of bischofite.*

KEYWORDS: BISCHOFITE, MAGNESIUM CHLORIDE, DEHYDRATION, KINETICS, INFRARED HEATING.

КІНЕТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДЕГІДРАТАЦІЇ БІШОФІТУ ЗА ТЕРМОРАДІАЦІЙНОГО НАГРІВАННЯ

Аспірант Філіпов В.В., к.т.н., доцент Новохат О.А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *Наведено узагальнені результати експериментального дослідження дегідратації природного подрібненого бішофіту у початковій гексагідратній формі за терморадіаційного підведення теплоти. Показано, що зі зростанням температури поверхні матеріалу від 70 до 110 °C зростає*

ступінь дегідратації та пришвидшується перехід до нижчих гідратних форм. На підставі лінеаризації експериментальних даних рівнянням Аврамі-Єрофєєва встановлено двостадійний характер процесу. Перша стадія характеризується вищою швидкістю та визначається переважно тепловим впливом, тоді як на другій стадії істотного значення набуває внутрішній дифузійний опір. Отримані результати можуть бути використані для вибору температурно-часових режимів часткової дегідратації бішофіту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БІШОФІТ, ХЛОРИД МАГНІЮ, ДЕГІДРАТАЦІЯ, КІНЕТИКА, ІНФРАЧЕРВОНЕ НАГРІВАННЯ.

Bischofite dehydration is an important technological operation in the preparation of magnesium-containing raw material for storage, transportation, and further use. Partial removal of crystallization water makes it possible to reduce caking of the material, improve the stability of its properties, and purposefully obtain lower hydrates. For practical implementation of such a process, it is necessary to know the regularities of the dehydration rate as a function of temperature.

In the study, the heat flux was generated by a ceramic infrared emitter, while the course of the process was monitored by continuous thermogravimetric analysis. The experiments were carried out at steady bischofite surface temperatures of 70, 90, 100, and 110 °C. From the change in sample mass over time, the dehydration degree α was determined, which characterizes the fraction of removed crystallization water relative to its total content in $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Analysis of the experimental curves showed that dehydration proceeds most intensively at the beginning of the process, whereas later the rate gradually decreases. This behavior is associated with heating of the material, removal of residual adsorbed moisture, and subsequent formation of a partially dehydrated layer on the crystal surface, which hinders the movement of water molecules from the internal zones to the

surface. For the same process time, the final dehydration degree increases from 14% at 70 °C to 39% at 110 °C.

For quantitative description of the process, the Avrami-Erofeev equation was used. Linearization of the experimental data confirmed the presence of two kinetic stages. The first stage is more sensitive to temperature and is characterized by higher rate constants than the second one. It was established that the ratio k_1/k_2 decreases from 2.5 to 1.9 with increasing temperature, which indicates weakening of diffusion limitations under more intensive heat supply.

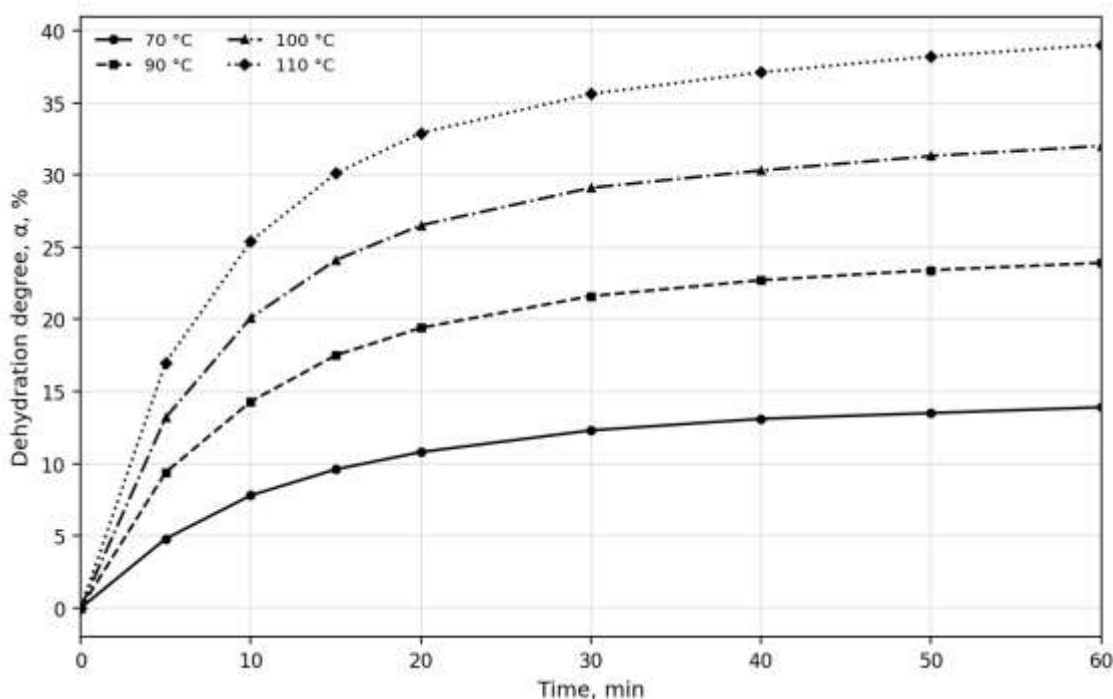


Figure 1. Generalized curves of changes in the degree of bischofite dehydration at different surface temperatures

The presented dependences confirm that the thermoradiative heating method ensures a controllable course of dehydration and makes it possible to predict attainment of the required dehydration degree (fig. 1). In practice, this is important for choosing conditions under which the process can be limited to the tetrahydrate level without excessive transition to less stable or undesirable forms. Thus, the kinetic

parameters of the process may serve as a basis for calculating rational modes of bischofite thermal treatment.

References

1. Marchevskiy V. M., Novokhat O. A., Filipov V. V. Kinetic regularities of bischofite drying by infrared radiation. Proceedings of the Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University. 2025. 25(1). P. 21-29.
2. Xu J., Li T. X., Yan T., Chao J., Wang R. Dehydration kinetics and thermodynamics of magnesium chloride hexahydrate for thermal energy storage. Solar Energy Materials and Solar Cells. 2020. Vol. 219. Article 110819.
3. Sugimoto K., Dinnebier R. E., Hanson J. C. Structures of three dehydration products of bischofite from in situ synchrotron powder diffraction data ($MgCl_2 \cdot nH_2O$; $n = 1, 2, 4$). Acta Crystallographica Section B. 2007. B63. P. 235-242.

УДК 547.233

ТЕХНОЛОГІЇ СИНТЕЗУ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ

студент Крутоголов О.С., керівник Семінський О.О.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: розглянуто технології синтезу оцтової кислоти, такі як рідиннофазне окиснення, пряме окиснення нижчих органічних сполук та карбонілювання. Проаналізовано технологічну схему синтезу оцтової кислоти методом рідиннофазного окиснення. Приділено увагу доцільності удосконалення реактора перемішування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ОЦТОВА КИСЛОТА, РІДИННОФАЗНЕ ОКИСНЕННЯ, РЕАКТОР, СИНТЕЗ, ТЕХНОЛОГІЯ.

Abstract: This work examines the main industrial technologies for the synthesis of acetic acid, including liquid-phase oxidation, direct oxidation of lower organic compounds, and carbonylation. The technological scheme of acetic acid synthesis by the liquid-phase oxidation method is analyzed. Special attention is given to the feasibility of improving the mixing reactor to enhance process efficiency and operational reliability.

KEYWORDS: ACETIC ACID, LIQUID-PHASE OXIDATION, REACTOR, SYNTHESIS, TECHNOLOGY.

Оцтова кислота (CH_3COOH) є представником карбонових кислот без кольору, з різким запахом та кислим смаком. Вона широко використовується у харчовій промисловості, де входить до складу оцту (зазвичай 6% або 9% розчин), та у хімічній промисловості, у якості органічного реагенту. Завдяки своїм властивостям вона розповсюджена при виготовленні полімерів, розчинників, клею, ацетатних волокон, фарб тощо [1].

Існує два основні способи отримання оцтової кислоти: хімічний синтез та ферментація. Кожен з цих способів має декілька можливих підходів. Хімічний синтез дозволяє отримати високу чистоту кінцевого продукту (99-100%) зі значними відходами у вигляді побічних органічних продуктів, невідрагованої сировини, каталітичних залишків та забруднених стічних вод. Ферментаційний спосіб базується на біологічному окисненні етанолу оцтовокислими бактеріями, такими як *Acetobacter* та *Gluconacetobacter* [2].

Існує три найпоширеніші методи синтезу оцтової кислоти.

Перший метод це карбонілювання метанолу. У реакторі метанол взаємодіє з оксидом вуглецю у присутності каталізатора – іридію, в результаті чого утворюється оцтова кислота. Процес можна охарактеризувати високою селективністю, великими масштабами виробництва та мінімальною кількістю побічних продуктів. На даний момент він найпоширеніший у світі. [3]

Другий метод – окиснення ацетальдегіду. Він розроблений ще на початку ХХ століття та був основним промисловим способом виготовлення оцтової кислоти до розвитку карбонілювання метанолу. Ацетальдегід окислюється киснем у рідкій фазі за наявності солей марганцю, кобальту чи нікелю, що дає можливість отримати кислоту з чистотою 88–95%. Новітні схеми реалізують безперервне окиснення та забезпечують стабільність процесу.[3]

Третій метод - окиснення вуглеводнів. Оцтова кислота здатна утворюватися під час окиснення легких алкінів та нафтонових фракцій, таких як бутан або легкий бензол. Цей процес проходить у рідкій фазі з температурою 105-200 °С у присутності каталізаторів. Проте такий процес менш селективний і потребує складного очищення від побічних продуктів у вигляді мушариної кислоти, кетонів, естерів. [3]

Ферментаційний спосіб також описується трьома основними методами виготовлення оцтової кислоти. Він поширений у харчовій промисловості для

виробництву столового, винного, яблучного оцту. Концентрація оцтової кислоти у даних розчинах не перевищує 5-10% [4].

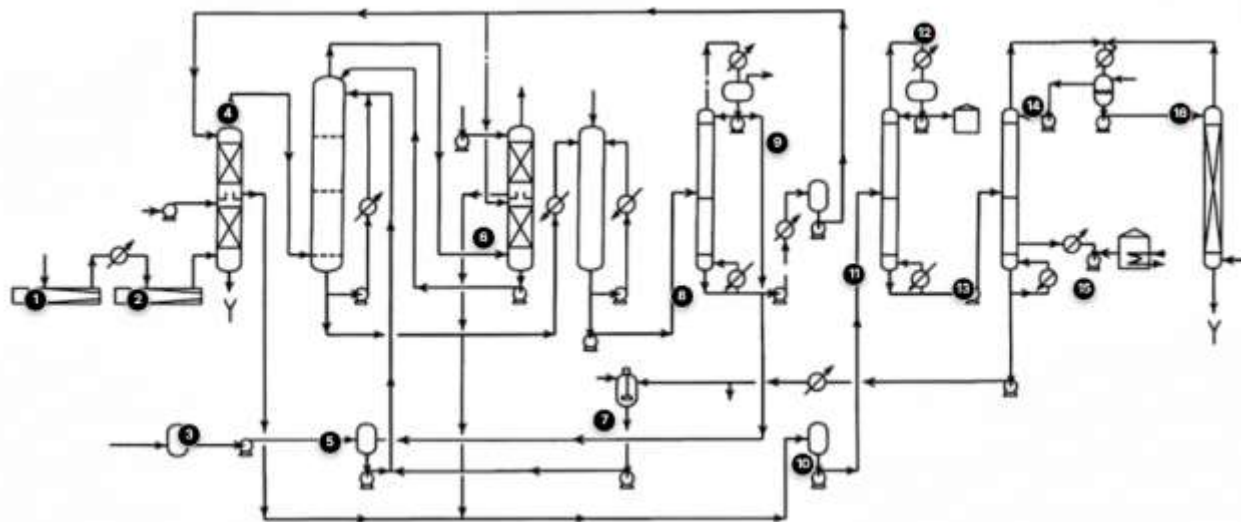
Перший метод називається методом Орлеана і він є одним із найстаріших традиційний способів отримання оцту. Ферментація здійснюється поверхнево в дерев'яних діжках. Етаноловим розчином частково заповнюють ємність, де на поверхні утворюється бактеріальна плівка на якій і відбувається окиснення. Метод дозволяє отримати оцет високої якості, але процес ферментації займає від декількох тижнів до декількох місяців. [4]

Другий метод називається крапельним процесом. Він був розроблений для прискорення поверхневої ферментації методом Орлеана. Субстрат рівномірно розбризкується через насадку, що суттєво збільшує площу контакту з культурою бактерій. Інтенсивна подача повітря прискорює оцетифікацію, що дозволяє досягти значно вищих швидкостей ферментації. Недолік методу полягає у нестабільності поверхневих бактеріальних плівок і меншій придатності до промислової автоматизації. [4]

Третій метод - безперервний глибинний процес, який є найефективнішим методом виробництва харчового оцту у промислових масштабах. Бактерії перебувають у зваженому стані в повністю заповненому реакторі і завдяки інтенсивному перемішуванню та аерації досягається висока швидкість окиснення. Цей метод у 30 разів швидший за метод Орлеана та відносно легко піддається автоматизації. З іншого боку для роботи необхідна чиста сировина та дотримання високих санітарних вимог через ризик контамінації. [4]

Опис технологічної схеми синтезу оцтової кислоти

Технологічна схема описує окиснення ацетальдегіду до оцтової кислоти в рідкій фазі у присутності каталізатора на основі солей кобальту чи марганцю (рисунок 1) [5].



1 – повітряний компресор першого ступеня, 2 – повітряний компресор другого ступеня, 3 – сховище ацетальдегіду, 4 – колона очищення повітря, 5 – окислювальний реактор, 6 – скруббер, 7 – каталізатор, 8 – колона вилучення ацетальдегіду, 9 – буферний бак, 10 – буферний бак кислоти, 11 – колона метилацетату, 12 – сховище метилацетату, 13 – колона фінішного очищення уксусної кислоти, 14 – сепаратор, 15 – резервуар оцтової кислоти, 16 – колона вилучення етилацетату

Рисунок 1 – Технологічна схема синтезу оцтової кислоти

Вона характеризується високою конверсією та селективністю, але водночас є енергоємною, багатостадійною і потребує складного апаратурного оформлення, систем очищення газів, ректифікації, хімічного доочищення та роботи з токсичними реагентами і корозійно-небезпечними середовищами. Зазначені особливості передбачають значні витрати і роблять цей процес доцільним переважно для отримання технічної оцтової кислоти. Для виробництва харчового оцту економічно більш вигідним є ферментативний метод, який здійснюється за м'яких умов, використовує дешевшу і безпечнішу сировину, не потребує складних стадій очищення та забезпечує одержання продукту, що безпосередньо відповідає вимогам харчової промисловості зі значно меншими економічними витратами.

Реактор являє собою вертикальний апарат, оснащений відбивачами, які рівномірно розподіляють і перенаправляють повітряні бульбашки. Кисень повністю споживається до того моменту, коли бульбашка досягає першого відбивача; бульбашки, що піднімаються вище першого відбивача, виконують переважно функцію перемішування рідкої фази. Таке механічне перемішування руйнує проміжні нестійкі продукти та стабілізує розчин у реакторі.

Незважаючи на те, що реактор працює за помірною тиску, частина ацетальдегіду випаровується, тому необхідний скруббер для очищення газів. Окиснена суміш подається до колони, яка працює під надлишковим тиском азоту, де відбувається відділення невідреагованого ацетальдегіду, що повертається в процес. Важливо також те, що в цій колоні розкладається значна кількість небезпечних пероксидів, частина яких перетворюється на оцтову кислоту, а сліди етанолу естерифікуються з утворенням етилацетату.

Сира оцтова кислота відводиться з нижньої частини колони та спрямовується на подальшу перегонку для видалення легколетких компонентів, окрім ацетальдегіду.

Сирі окиснену суміш подають у випарну колону, де видаляють невідреагований ацетальдегід і низькокиплячі побічні продукти (метилацетат, ацетон, CO, CO₂, N₂). Отримують висококонцентровану водну оцтову кислоту. Основні домішки – етилацетат, формальдегід і мурашина кислота, а іноді присутні сліди сильних окисників. Якщо ацетальдегід містив етиленоксид, можливе утворення діацетату етиленгліколю. Мурашина кислота може потрапляти при використанні азеотропних агентів. Домішки зазвичай низькі та можуть бути видалені хімічним окисненням. Окисник (наприклад, дихромат натрію) подають у колону очищення. Розчин перманганату калію також використовують, але він забруднює тарілки.

Остаточне очищення здійснюється дистиляцією. Готову кислоту відбирають бічним потоком. Перманганат застосовують також для окиснення

формальдегіду та мурашиної кислоти. Вміст води в окиснику регулює корозію: кислота чистотою 99,9-100% є корозійною для сталі SS-316/SS-320, а зниження чистоти до 99,75-99,8% уповільнює корозію.

Залишки, що містять ацетати марганцю або хрому промивають двофазною системою «вода – бутилацетат» або «вода – толуол». Органічна фаза видаляє смолисті та високомолекулярні домішки, металеві ацетати залишаються у воді

Конверсія ацетальдегіду зазвичай перевищує 90%, селективність до оцтової кислоти – понад 95%. Устаткування виготовляють з нержавіючої сталі. Процес добре вивчений і являє собою найнадійніший спосіб виробництва оцтової кислоти.

Висновок

У даній роботі було проведено порівняльний аналіз основних методів отримання оцтової кислоти, проаналізовано їхні технологічні особливості, переваги та обмеження. В результаті було обрано ферментативний синтез оцтової кислоти, як найбільш раціональний для харчової промисловості, простіший та економічно вигідніший.

Під час розгляду технологічної схеми було визначено ключову роль реактора окиснення для стабілізації розчину та більш повного поглинання кисню. Удосконалення реактору є перспективним методом модернізації і може ґрунтуватися на покращенні конструкції як перемішуючого пристрою, так і корпусу реактора.

Список літератури:

1. Ластухін, Ю.О., Воронов, С.А. Органічна хімія. Вид. 3-тє, стереотип. Львів : Центр Європи, 2006. 832 с.
2. Acetic acid and its derivatives / eds. V.H. Agreda, J.R. Zoeller. New York : Marcel Dekker, Inc., 1993. — (Chemical industries ; vol. 49). — ISBN 0-8247-8792-7.

3. Acetic acid and its derivatives / V.H. Agreda, J.R. Zoeller. New York : Marcel Dekker, Inc., 1993. — (Chemical industries ; vol. 49). — ISBN 0-8247-8792-7.
4. Deshmukh, G., Manyar, H. Production pathways of acetic acid and versatile applications in food industry. In: Basso, T. P., Basso, T. O., Basso, L. C. (eds.). Biotechnological applications of biomass. InTechOpen, 2021.
5. Encyclopedia of Chemical Technology / edited by Kirk-Othmer. — 4th ed. — New York : John Wiley & Sons, 2004. — Vol. 13 : Helium Group to Hypnotics, Sedatives, Anticonvulsants, and Anxiolytics. — 1000 p.

UDC 66.02:532.5

**HYDRODYNAMICS AND MASS TRANSFER INTENSIFICATION IN GAS–
LIQUID CONTACT DEVICES FOR CHEMICAL ENGINEERING
APPLICATIONS**

assistant Byshko Mykyta.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: *The paper addresses hydrodynamic behavior and mass transfer phenomena in gas–liquid contact devices widely used in chemical and petroleum industries. Key limitations of conventional equipment, including phase maldistribution, hydrodynamic instability, and insufficient interfacial area development, are analyzed. It is shown that the efficiency of absorption, stripping, and gas purification processes is strongly governed by flow structure and turbulence intensity.*

KEY WORDS: GAS–LIQUID SYSTEMS; MASS TRANSFER; HYDRODYNAMICS; PROCESS INTENSIFICATION; STRUCTURED PACKING; CFD MODELING; SHERWOOD NUMBER; GAS ABSORPTION; MULTIPHASE FLOW

**ГІДРОДИНАМІКА ТА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ МАСООБМІНУ В
ПРИСТРОЯХ ГАЗ-РІДИНА КОНТАКТУ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В
ХІМІЧНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ**

асистент Бишко М.А,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: *Розглянуто особливості гідродинаміки та масоперенесення в газ–рідинних контактних пристроях, що широко застосовуються в хімічній та нафтопереробній промисловості. Проаналізовано основні обмеження традиційних апаратів, пов'язані з нерівномірним розподілом фаз,*

гідродинамічною нестабільністю та недостатнім розвитком міжфазної поверхні. Показано, що ефективність процесів абсорбції, десорбції та очищення газів значною мірою визначається структурою потоків та інтенсивністю турбулентного перемішування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГАЗ–РІДИННІ СИСТЕМИ; МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ; ГІДРОДИНАМІКА; ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ; СТРУКТУРОВАНІ НАСАДКИ; CFD МОДЕЛЮВАННЯ; ЧИСЛО ШЕРВУДА; АБСОРБЦІЯ ГАЗІВ; БАГАТОФАЗНІ ПОТОКИ

Gas–liquid contact processes are fundamental to a wide range of chemical and petrochemical technologies, including absorption, stripping, gas purification, catalytic oxidation, and reactive mass transfer systems. The performance of such processes is governed by a complex interplay between hydrodynamics, interfacial phenomena, and transport resistances in both phases. In modern process engineering, increasing attention is given to process intensification strategies aimed at reducing equipment size while simultaneously improving mass transfer efficiency and lowering energy consumption.

Despite the maturity of classical equipment design, conventional gas–liquid contactors such as packed columns, tray columns, and bubble columns still suffer from inherent inefficiencies. These include maldistribution of phases, incomplete wetting of structured or random packings, channeling, backmixing, and non-uniform residence time distributions. Such non-idealities result in reduced effective interfacial area and lower mass transfer coefficients compared to theoretical predictions. Consequently, real industrial performance often deviates significantly from ideal design calculations.

Hydrodynamics in gas–liquid systems is characterized by strongly coupled multiphase flow phenomena. The system behavior depends on the interaction between inertial, viscous, and gravitational forces, which can be described using dimensionless numbers such as Reynolds, Weber, Froude, and Eötvös numbers. These parameters

determine flow regime transitions, bubble stability, and dispersion quality. In particular, the Weber number governs bubble breakup, while the Eötvös number reflects the balance between buoyancy and surface tension forces, directly influencing bubble shape and rise velocity.

The interfacial area between phases is a key parameter controlling mass transfer rates. It is strongly influenced by bubble size distribution, liquid turbulence intensity, and coalescence–breakup dynamics. In real systems, the interfacial area is not constant but dynamically evolves due to population balance mechanisms. Therefore, modern modeling approaches often employ population balance equations (PBE) coupled with computational fluid dynamics (CFD) to describe bubble size distribution and interfacial area evolution more accurately.

Mass transfer in gas–liquid systems is commonly described by the two-film theory, where resistance is assumed to be concentrated in thin boundary layers on both sides of the interface. The overall volumetric mass transfer coefficient (kLa) depends on both the interfacial area (a) and the liquid-side mass transfer coefficient (kL), which is often the controlling resistance in liquid-phase limited systems. However, in turbulent flows, surface renewal mechanisms and eddy diffusion significantly enhance transport beyond classical diffusion-based assumptions, requiring more advanced models such as penetration theory and surface renewal theory.

In packed columns, hydrodynamic performance is strongly influenced by packing geometry, surface roughness, and liquid distribution quality. Structured packings provide ordered flow channels that reduce pressure drop and improve wetting efficiency. However, even in structured systems, maldistribution phenomena may occur at large scales due to improper liquid redistribution, which leads to local dry zones and reduced mass transfer efficiency. Therefore, scale-up remains one of the most challenging aspects of packed column design.

Tray columns, on the other hand, operate based on staged contact between phases. Their performance is governed by weeping, entrainment, and flooding limits.

Tray efficiency depends on vapor–liquid contact time, froth height, and turbulence intensity on the tray surface. While tray systems are mechanically robust, they typically exhibit higher pressure drops compared to packed systems, making them less suitable for vacuum or energy-sensitive applications.

Bubble column reactors represent another important class of gas–liquid contactors, especially in biochemical and catalytic processes. In these systems, gas holdup, bubble size distribution, and circulation patterns determine overall reactor performance. Flow structure is typically divided into homogeneous bubbly flow and heterogeneous churn-turbulent regimes. Transition between these regimes significantly affects mixing intensity and mass transfer rates.

Advanced numerical modeling techniques have become essential tools for analyzing such complex systems. CFD simulations combined with turbulence models (e.g., k – ϵ , LES) and population balance models enable prediction of local velocity fields, gas holdup, interfacial area density, and reaction rates. These methods provide detailed insight into flow non-uniformities that cannot be captured by empirical correlations alone. However, model validation remains a critical issue due to the complexity of multiphase interactions.

From a process intensification perspective, several strategies are applied to enhance gas–liquid mass transfer. These include reduction of characteristic diffusion lengths, increase of interfacial renewal frequency, and improvement of phase dispersion quality. Practical implementation involves the use of structured packings, rotating packed beds, microchannel contactors, and static mixers. Rotating packed bed systems generate high centrifugal forces that significantly intensify mass transfer by increasing effective gravitational acceleration and reducing boundary layer thickness.

Environmental applications of gas–liquid systems are becoming increasingly important due to tightening emission regulations. Technologies such as carbon dioxide absorption using amine solutions, hydrogen sulfide removal, and volatile organic compound scrubbing rely heavily on efficient mass transfer. In these systems, even

small improvements in kLa or interfacial areas can lead to significant reductions in solvent circulation rates and energy demand.

In addition, exergy considerations are increasingly integrated into the design of gas–liquid contact systems. Irreversibilities arising from finite-rate mass transfer, pressure losses, and mixing contribute to exergy destruction. Minimization of these losses is essential for improving overall process sustainability and reducing lifecycle environmental impact.

In conclusion, gas–liquid contact devices represent a highly complex class of process equipment where hydrodynamics and mass transfer are strongly coupled. Modern approaches combining experimental studies, dimensionless analysis, and advanced numerical modeling provide a robust framework for understanding and optimizing these systems. Continued development of intensification techniques and predictive models is essential for achieving next-generation high-efficiency chemical and petrochemical processes.

References

1. Shah, Y. T. (1979). *Gas-Liquid-Solid Reactor Design*. McGraw-Hill.
2. Krishna, R., & Van Baten, J. M. (2003). "Scaling up bubble column reactors." *Chemical Engineering Science*, 58(21), 4309–4324.
3. Danckwerts, P. V. (1970). *Gas-Liquid Reactions*. McGraw-Hill.
4. Billet, R., & Schultes, M. (1993). "Prediction of mass transfer columns with dumped and arranged packings." *Chemical Engineering Research and Design*, 71(3), 252–257.
5. Stichlmair, J. G., Fair, J. R., & Bravo, J. L. (1989). "Mass transfer in packed columns." *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 28(8), 1271–1276.
6. Deckwer, W. D. (1992). *Bubble Column Reactors*. Wiley.
7. Ranade, V. V. (2002). *Computational Flow Modeling for Chemical Reactor Engineering*. Academic Press.

8. Rochelle, G. T. (2009). "Amine scrubbing for CO₂ capture." *Science*, 325(5948), 1652–1654.
9. Kunii, D., & Levenspiel, O. (1991). *Fluidization Engineering*. Butterworth-Heinemann.

УДК 66.047.57

ПРОЕКТУВАННЯ УПОРНОГО РОЛИКА БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

Гніденко С.В., магістр; Щербина В.Ю., д.т.н., проф.,

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ. Виконана розробка програми для автоматизованого проектування частини упорного ролика барабанної сушарки, що включає в себе автоматичне виконання 2D-креслення деталі та побудови 3D-моделі з можливістю налаштування розмірів за допомогою діалогового вікна. Програма може використовуватись як елемент автоматизованого проектування при виконанні конструкторських та проектних робіт при розробці нових та модернізації діючих механізмів приводу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БАРАБАННА СУШАРКА, РОЛИК, УПОРНИЙ РОЛИК.

Вступ. У процесі експлуатації барабанних сушарок важливим фактором є забезпечення стабільності положення барабана та запобігання його осьовому зміщенню. Для цього в конструкції сушильних агрегатів застосовуються упорні ролики, які сприймають осьові навантаження та утримують барабан у визначеному робочому положенні. Робота упорного ролика безпосередньо впливає на надійність, довговічність та ефективність сушильної установки, оскільки порушення осьової стабілізації барабана призводить до підвищеного зносу опорних вузлів, погіршення умов тертя та можливих аварійних ситуацій [1, 2]. Тому завданням даної роботи є створення програми для забезпечення автоматизованого проектування деталей приводу, зокрема ролика, що дозволить значно скоротити час на розробку документації та специфікацій.

Мета роботи: розробка програмного забезпечення для автоматизованого проектування 2D-креслень та 3D-моделей упорного ролика барабанної сушарки на основі введення параметричних змінних, що дозволить суттєво скоротити час проектування при розробці конструкторської документації..

Математична модель. При розробці програм автоматизованого проектування форм, як базова, була використана система AutoCAD, яка на сьогоднішній день є найбільш розповсюдженою в Україні і світі інженерною системою для автоматизації проектування. Розроблене програмне забезпечення базується на використанні функціональної мови AutoLISP та мови управління діалоговими вікнами DCL [3], що дає можливість використовувати інтерактивний режим введення даних, значно прискоривши процес розробки проектної документації, та здійснювати доступ до графічної бази даних з програмною обробкою текстової та числової інформації [4].

Розроблена система являє собою багаторівневу віконну структуру, призначену для оперативного введення або корегування параметрів і виконання креслення деталі в 2D та 3D форматі. Введення і корегування інформації здійснюється в інтерактивному режимі з використанням діалогового вікна наведеного на рисунку 1.

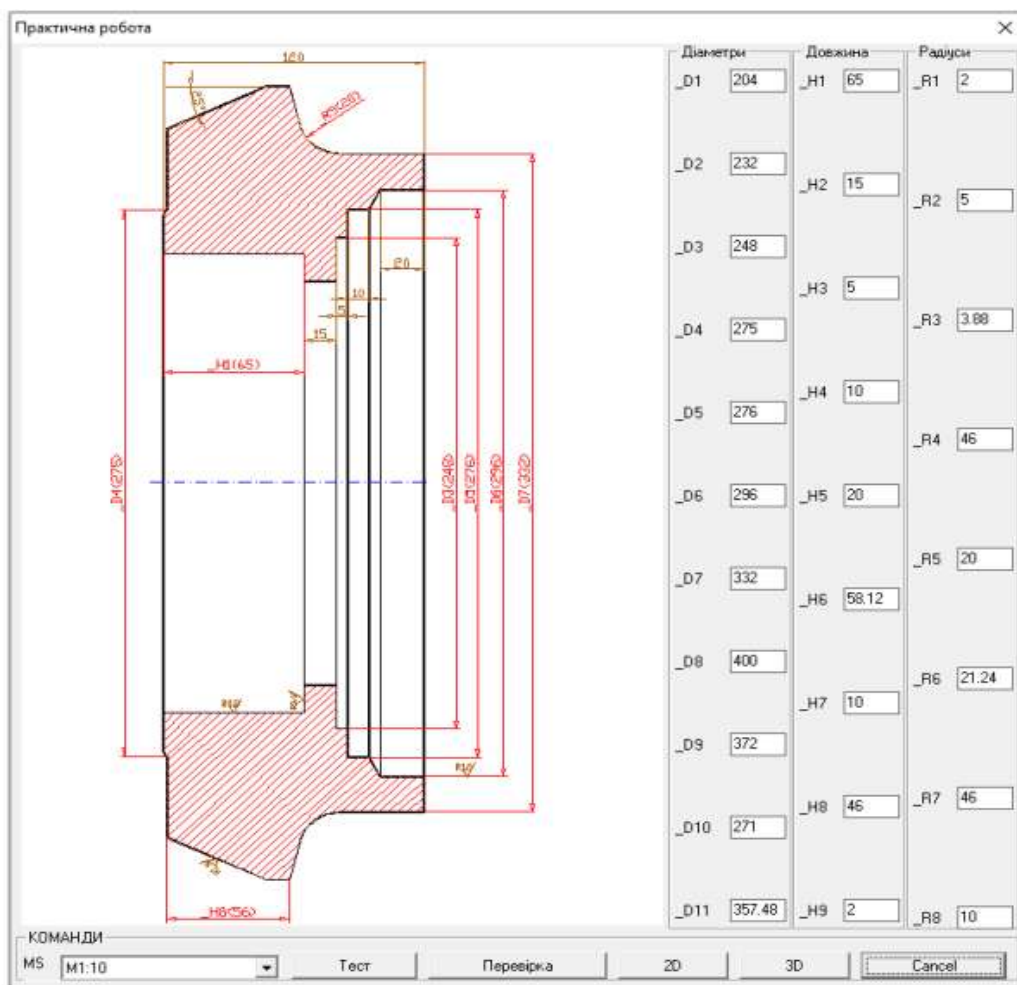


Рисунок 1 – Діалогове вікно введення даних для ролика

З рисунку видно, що діалогове вікно розділене на 4 вертикальних секцій, кожна з яких має свою назву для інтерактивного використання.

Перша частина діалогового вікна, що знаходиться зліва, містить у собі схематичне зображення креслення. Для зручності, замість конкретних значень кожного розміру використані короткі аббревіатури, які співпадають з назвами, що знаходяться правіше.

Наступні частини призначені для введення розмірів деталі. Окремо виділені блоки для введення значень діаметрів, довжини та геометрії пазу шпонки.

Остання частина КОМАНДИ діалогового вікна дозволяє обрати:

- масштабування деталі (присутні масштаби збільшення та зменшення);

- кнопку "Тест", яка виставляє всі розміри за заздалегідь обраними значеннями ("За замовчуванням");
- "Перевірка". Кнопка виконує перевірку даних введених в активні поля діалогового вікна. У разі помилки з'являється системне вікно, в якому вказуються конкретні помилкові значення. У випадку вірного уведення відбувається повідомлення, що помилок знайдено. Без натиснення "Перевірки" кнопки "2D" та "3D" не активуються.
- "2D". Виконує 2D-креслення деталі за заданими розмірами;
- "3D". Створює 3D-модель деталі за заданими розмірами.
- "Cancel". Вихід з меню діалогового вікна та відміна виконання програми.

На рисунку 2 приведені результати виконання креслення та 3D конструкції при уведенні базових даних для упорного ролика.

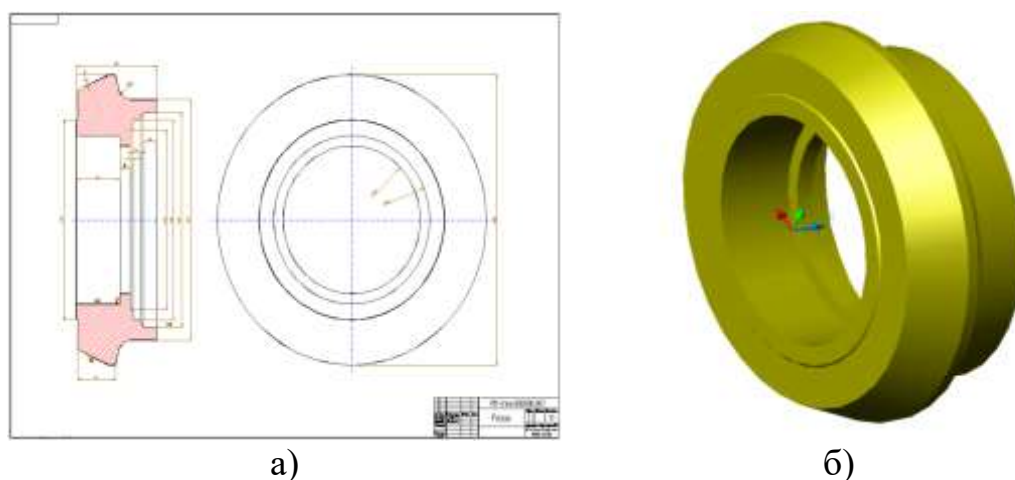


Рисунок 2 – Побудова типового креслення ролика
а) креслення деталі; б) 3-D модель деталі

Для креслення показано на рисунку використовуються вихідні дані отримані з розрахунку базових технологічних параметрів деталі. Після уведення вказаних параметрів в діалогове вікно виконується розрахунок необхідних геометричних параметрів конструкції, будується 3D модель типу SOLID (рисунок 2б) та виконується креслення ролика (рисунок 2а). По 3D моделі, з допомогою візуального контролю

користувач-проектувальник аналізує отриману деталь і при необхідності вносить необхідні зміни в конструкцію.

В програмі передбачена зміна масштабу з допомогою діалогового вікна. На рисунок 3 приведені результати виконання креслення при зміні основного масштабу базової деталі.

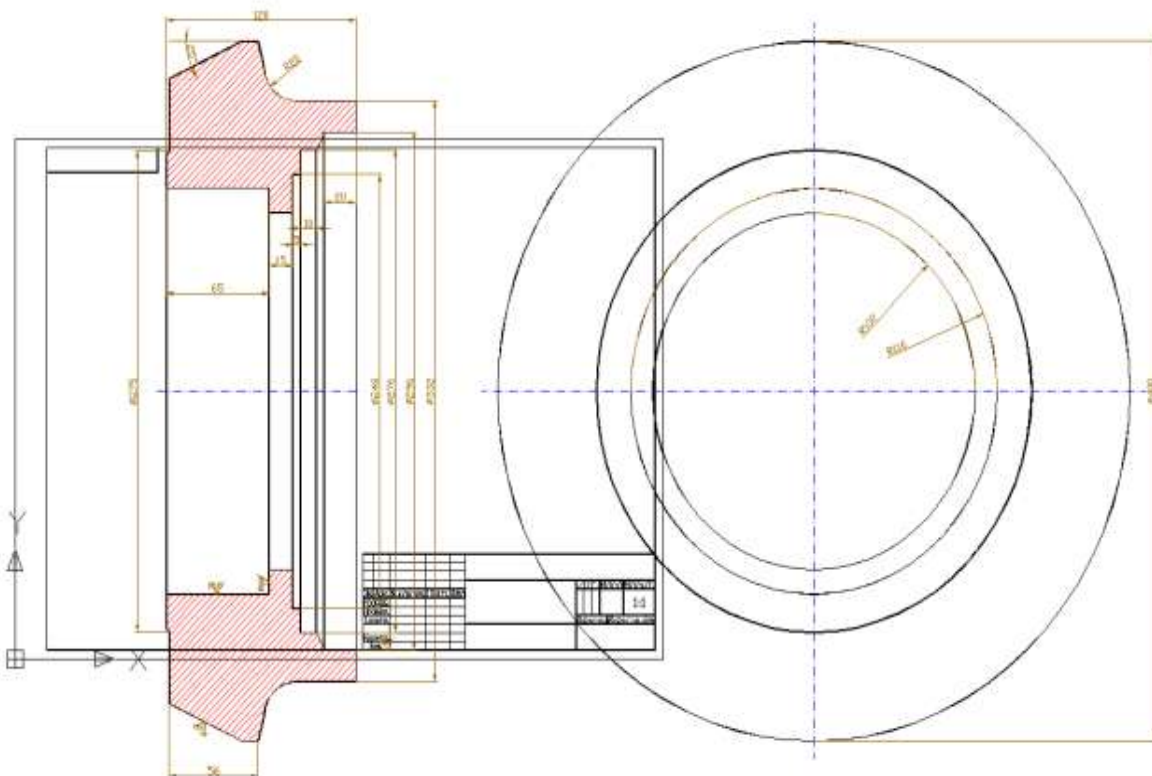


Рисунок 3 – Побудова 2-D креслення зі зміною масштабу

Висновки. Розроблена програма для вдосконалення методів автоматизованого проектування упорного ролика, яка дозволяє виконувати 2D-креслення та 3D-модель типу SOLID. У програмному забезпеченні використані функціональна мова AutoLISP та мова управління діалоговими вікнами DCL, що дає змогу застосовувати інтерактивний режим введення даних та контролювати їх значення.

Застосування програми значно прискорює виконання конструкторської документації та підвищує її якість у процесі розроблення нових і модернізації діючих механізмів приводу. У перспективі програмне забезпечення може бути доопрацьоване та доповнене новими функціями залежно від виробничих потреб, зокрема для

інтеграції з комплексом VESNA з метою поєднання розрахунків на міцність і автоматизованого створення креслярської документації.

Перелік посилань

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%96_%D1%81%D1%83%D1%88%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B8 від 22.10.25
2. Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Механічне обладнання для виробництва в'язучих будівельних матеріалів [Електронний ресурс] / В.Ю.Щербина, О.В.Гондлях, В.І.Сівецький – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 147 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45720>
3. Конструкторське проектування обладнання. Курсовий проект [Електронний ресурс] / В.Ю. Щербина, А.О. Чемерис; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 38 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25664>
4. Щербина В.Ю., Гондлях О.В., Чемерис А.О., Швачко Д.Г. AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. 175 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>

УДК 662.766.3

ОСОБЛИВОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА АЦЕТИЛЕНУ

студент Каліновський О.А., керівник Семінський О.О.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: розглянуто основні підходи до промислового виробництва ацетилену, наведені особливості поширених способів виробництва.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АЦЕТИЛЕН, КАРБІД КАЛЬЦІЮ, ГІДРАТАЦІЯ КАРБІДУ КАЛЬЦІЮ, КАРБІДНИЙ МЕТОД, ПІРОЛІЗ ВУГЛЕВОДНІВ, АЦЕТИЛЕНОВІ ГЕНЕРАТОРИ, СКРУБЕР, ВИРОБНИЦТВО АЦЕТИЛЕНУ

Abstract: *The main approaches to the industrial production of acetylene are considered, and the features of the most common production methods are presented.*

KEYWORDS: ACETYLENE, CALCIUM CARBIDE, HYDRATION OF CALCIUM CARBIDE, CARBIDE METHOD, HYDROCARBON PYROLYSIS, ACETYLENE GENERATORS, ACETYLENE PRODUCTION

Ацетилен відіграє значущу роль у промисловості, де його застосовують:

1. Як сировину для одержання хімічних речовин (спирт, ацетон, вінілацетилен, поліакрилонітрил, вінілацетат тощо). Ацетилен змішують з хлороводнем для отримання полівінілхлориду, який використовують у будівництві та виробництві тканин.
2. У газовому зварюванні, як основний та найефективніший пальний газ, оскільки в суміші з киснем створює найвищу температуру полум'я до 3150 °С, забезпечує концентрований нагрів, високу якість шва. [1]

Ацетилен не поширений у природі. Його можна одержати лише за допомогою синтезу. Наразі поширені 2 методи одержання ацетилену:

1. Піроліз вуглеводнів [2]. Найчастіше для цього процесу використовують природний газ. Під час нагрівання газів, що містять метан і його гомологи, за певних температур настає ступінчасте розкладання вуглеводнів з утворенням нестабільних радикалів, таких як « $\text{CH}_3\cdot$ », « $\text{CH}_2\cdot$ » і « $\text{CH}\cdot$ ». Час існування цих радикалів дуже короткий – частки секунди. Якщо температуру такої газової суміші швидко знизити, радикали з'єднуються між собою, утворюючи різноманітні вуглеводні. Спостерігати це можна нагрівши природний газ до температури $1600\text{ }^\circ\text{C}$ і швидко охолодивши його до $150\text{ }^\circ\text{C}$. Утворена суміш складатиметься з: ацетилену та його гомологів (13...14 %), водню (45 %), метану (30...35 %), етин (1 %), сажі (1 %) та інших домішок. Цей спосіб здійснюють одним з двох методів: *електро- або термоокислювальним крекінгом*.

Електрокрекінг природного газу відбувається в електродуговій печі. Під тиском $1,4\text{...}1,5\cdot 10^5\text{ Па}$ природний газ, рухаючись із швидкістю понад 100 м/с, подається в реакційну камеру яка являє собою порожній сталевий циліндр. Газ, що надходить у піч, нагрівається до $1600\text{ }^\circ\text{C}$ за допомогою електродуги, яка створюється постійним струмом при напрузі 8000 В. Газ з високою швидкістю виводиться з печі по вузькій трубці, яка охолоджується водою і знижує температур до $600\text{ }^\circ\text{C}$, та безпосереднім вприскуванням, швидко охолоджується до $150\text{ }^\circ\text{C}$. Термічний крекінг проводиться в регенеративних печах, де природний газ контактує з нагрітою насадкою. Насадка являє собою пластину з оксиду алюмінію з циліндричними проходками. Для початку крекінгу піч розігрівають до високих температур (від $1450\text{ }^\circ\text{C}$ до $1600\text{ }^\circ\text{C}$). У процесі реакції насадка поступово охолоджується і піч повторно нагрівають. За наявності двох печей, забезпечується неперервний процес, при якому насадка однієї печі нагрівається у той час як на іншій відбувається крекінг, потім йде зміна потоку газів. Продукт термічного крекінгу містить 7...10 % ацетилену [2].

2. Карбідний метод [2]. Даний метод базується на взаємодії карбіду кальцію та води, при якій утворюється ацетилен та гідроксид кальцію (гашене вапно). Теоретично, при повному розкладанні 1 кг чистого карбіду кальцію при 20 °C та 760 мм. рт. ст., утворюється 347 літра сухого ацетилену або 380,9 літра ацетилену, насиченого парами води. Однак практичний вихід ацетилену завжди нижчий теоретичного, оскільки в технічному карбіді кальцію міститься в середньому лише 70% CaC_2 , решта це домішки та побічні компоненти. Кількість ацетилену, утвореного при повному розкладанні водою 1 кг карбіду кальцію, називають літражом карбіду кальцію даного сорту. На практиці літраж технічного карбіду кальцію коливається в межах 230-300 л/кг.

Апарати, в яких проводиться розкладання карбіду кальцію водою, називають *ацетиленовими генераторами*. За принципом дії та способом регулювання кількості ацетилену, що виділяється розрізняють генератори систем «Вода-карбід», «Карбід-воду» «сухі» або «безшламові» генератори.

В генераторах системи «Вода-карбід» шматки карбіду кальцію завантажують в спеціальні ємності і процес розкладання регулюють, змінюючи кількість води, що додається до карбіду. Перевагами таких генераторів є легке обслуговування і невеликі розміри, порівняно з генератором за принципом дії «Карбід у воду». Недоліками є невелика продуктивність, через що їх використання на виробництві не доцільне.

Генератори системи «Карбід-воду» заповнюють водою до заданого рівня, після чого живильником завантажують у воду гранульований карбід кальцію. Подачу карбіду визначає тиск у робочій камері генератора: якщо тиск менше за необхідний – відбувається подача наступної порції. Перевагами такого апарату є легкість обслуговування і високий вихід ацетилену (отримання 95...97 %). Недоліки полягають у підвищеній витраті води та габаритності.\

«Сухий спосіб» базується на методі «Вода-карбід». За цим методом до реактора спочатку дають карбід в певній кількості, а до нього додають воду в кількості необхідній для повного протікання реакції гідратації. Недоліками є підвищені вимоги до рівномірності подачі та складність конструкції дозуючих пристроїв. [3]

Карбідний метод виробництва ацетилену має кілька ключових переваг: він забезпечує отримання ацетилену високої чистоти завдяки вибіркової реакції гідратації карбиду кальцію, не потребує природного газу чи нафтопродуктів (лише значно доступніші CaC_2 та воду), дозволяє використовувати відносно просте та недороге обладнання, а також дає можливість легко регулювати інтенсивність утворення ацетилену шляхом зміни подачі води, що робить процес гнучким і зручним для різних умов виробництва.

Перелік посилань:

1. Носов Д. Г. КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ з дисципліни «Газотермічна обробка матеріалів» - Кам'нське: Вид-во ДДТУ, 2019. 51 с.
2. Денисюк Р. О. Хімічна технологія: Підручник. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2017. 350 с.
3. Юкельсон І. І. Технологія основного органічного синтезу / Ілля Ісаєвич Юкельсон. – Київ: Державне видавництво технічної літератури УРСР, 1960. – 511 с.

TYPES AND STRUCTURE OF FURNACE GRATES

Student Igor Kovtun, PhD, Assoc. Prof. Andrii Stepaniuk

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract: *The design, types, and operating principles of furnace grates are presented. The functions of grates in the combustion process and air supply are described. The advantages and disadvantages of different grate types are analyzed.*

Keywords: *GRATE BARS, FUNCTION, GRATE STRUCTURE, TYPES OF GRATES*

ТИПИ ТА КОНСТРУКЦІЯ ТОПКОВИХ КОЛОСНИКОВИХ РЕШТОК

Студент Ігор Ковтун, к.т.н., доц. Андрій Степанюк

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Анотація: *Представлено конструкцію, типи та принципи роботи топкових колосникових решіток. Описано функції решіток у процесі горіння та подачі повітря. Проаналізовано переваги та недоліки різних типів решіток.*

Ключові слова: *КОЛОСНИКИ, ФУНКЦІЯ, КОНСТРУКЦІЯ РЕШІТКИ, ТИПИ РЕШТОК*

The grate bar grate is a special separating structure in the form of a grate of the heating part of a furnace or boiler that supports a layer of solid fuel. At the same time, burnt fuel in the form of ash freely passes through the gaps and openings between the grate bars, which thereby does not block the free passage of air masses. The grate is located between the fuel combustion chamber and the ash compartment. Grate bars are a separate cast-iron or steel element of grate bars, intended mainly for installation in large furnaces.[\[1\]](#)

Why grate bars are needed

- for maintaining the combustion of solid fuel by creating natural air convection coming through the ash pan;
- for removing ash from the furnace, which interferes with the passage of air.

Grate bars are divided into two types:

- Movable;
- Fixed.

Movable grate bars for fireplaces and furnaces consist of several sections and a common shaft. They allow saving effort during cleaning and maintenance. The main feature is the presence of a horizontal or vertical axis of rotation, which facilitates ash removal and improves the fuel combustion process. Depending on the angle of rotation, such furnace grate bars can be full-turn or rocking. When tilted by 30°, the slag loosens, allowing the burnt mass to crumble into the ash pan. A special type is represented by movable vibrating grate bars of two plate grates rotating by 180°. The installation provides additional cutouts in the brick, which caused the limited use of such structures and their high cost.[\[2\]](#)

Advantages of the movable grate bar:

- Combustion efficiency: Allows maintaining optimal conditions for combustion, ensuring complete fuel combustion and reducing emissions.
- Ease of operation: Facilitates ash removal and prevents its accumulation, which reduces the need for frequent maintenance.
- Durability: Helps prevent overheating and damage to the boiler, extending its service life.

Disadvantages:

- Need for maintenance: Even with a movable grate bar, regular maintenance is required to ensure its normal operation.

- Complexity of construction: Mechanisms of adjustment and movement of the grate bar may increase the cost and complexity of the boiler.[3]

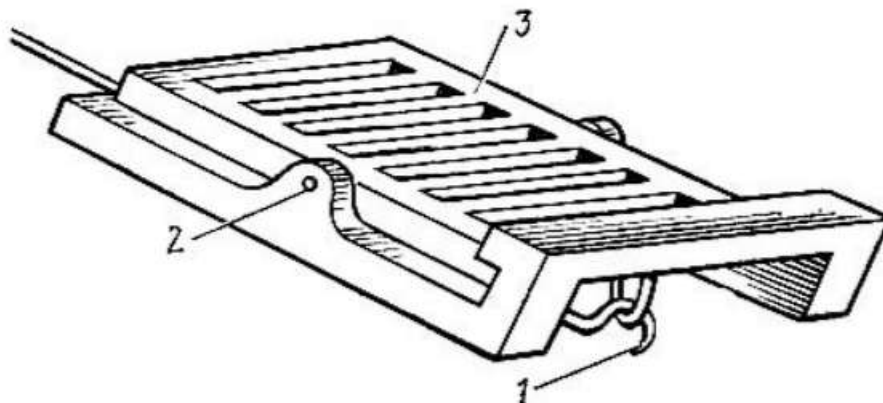


Fig.1 – Movable grate bar grate

1 – rod; 2 – axis; 3 – grate

Fixed grate bars for furnaces mainly have the shape of a rectangle with closely spaced ribs and are produced in various sizes and thicknesses. There are basket grates used in open-type furnaces. They are not particularly popular, therefore it is quite difficult to buy such a model.

Advantages of the fixed grate bar:

- resistant to prolonged heating;
- cheapness relative to water-filled ones (shaft-type boilers with cast-iron grate bars are cheaper);
- easily replaceable in case of malfunction.

Disadvantages:

- cast iron is a brittle metal. During installation of the grate bar, this must be done carefully.
- when using coal as fuel, it may coke, forming lumps. Air will not pass in sufficient quantity and the combustion process will stop.[4]

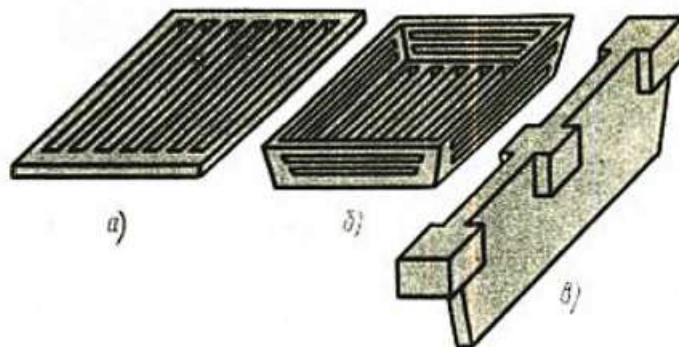


Fig.2 – Fixed grate bar grate

a – flat tile; b – box tile; c – beam grate bar

List of references

1. <https://pic-distribution.ua/kolosniki-chavunni-dlya-pechey-i-kazaniv/>
2. <https://remontu.com.ua/kolosniki-dlya-opalyvalnix-pechej>
3. <https://firebox.com.ua/uk/podvizhnyj-kolosnik/>
4. <https://teplofocus.com.ua/kakoy-kolosnik-dlya-tverdotoplivnogo-kotla-luchshe-chugunnyy-ili-vodonapolnennyy>

УДК 665.642.26

HEAT TRANSFER INTENSIFICATION IN A SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER

Student Zykin I. S., associate professor, Ph.D. Novokhat O. A.

National Technical University of Ukraine

«Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Annotation. *The importance of obtaining hydrogen fluoride, in particular by sulfuric acid decomposition of fluorite, is shown. The negative aspects arising during the operation of heat exchangers are defined. Proposed solutions for improving the design of heat exchangers and their operation.*

KEYWORDS: HEAT EXCHANGER, SULFURIC ACID, HYDROGEN FLUORIDE, HEATING.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ В КОЖУХОТРУБНОМУ ТЕПЛООБМІННИКУ

Студент Зикін І. С., доц., к.т.н. Новохат О. А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація. *Наведено важливість отримання фтористого водню, зокрема сірчаноокислим розкладанням флюориту. Визначені негативні аспекти, що виникають під час експлуатації теплообмінників. Запропоновані рішення вдосконалення конструкції теплообмінників та їх експлуатації.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕПЛООБМІННИК, СІРЧАНА КИСЛОТА, ФТОРИСТИЙ ВОДЕНЬ, НАГРІВАННЯ.

Hydrogen fluoride is an important chemical used in various industries, including the chemical industry, metallurgy, electronics, and pharmaceuticals. One method of producing anhydrous hydrogen fluoride is by decomposing fluorite with sulfuric acid

(H₂SO₄), which is cost-effective but requires high temperatures. For efficient decomposition of fluorite, it is necessary to maintain a high temperature of the sulfuric acid, which is usually heated to 200–300°C.

To heat sulfuric acid, saturated water vapor is usually used, which condenses during heat exchange to form condensate and uncondensed inert gases.

The developed heat exchanger will allow for more intensive heat exchange between the two environments, in particular when a gas coolant is used.

The essence of the heat exchanger modernization is to add grooves in the side parts of the partitions (Fig. 1). During operation, it was observed that when supplying a gaseous coolant to the intertube space, it, alternately passing in a wave-like manner through the existing partitions, has the lowest resistance in the center. Because of this, along the sides near the inner surface of the shell, the amount of coolant can decrease and heat exchange can deteriorate.

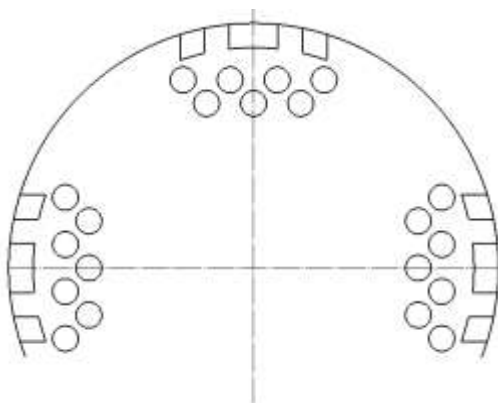


Fig. 1 – Grooves in the upper intertube partitions

Additional grooves in the partitions near the sides of the shell will increase the amount of coolant flow and equalize its flow across the entire cross-section of the shell. This will ensure more uniform heating of the pipes near the walls of the casing during heating.

The slots in the top of the intertube walls facilitate the passage of both the gaseous coolant and some of the non-condensable inert gases released during the condensation of water vapor. These gases can pass through the top of the intertube in a straight line to the non-condensable gases outlet.

In addition, the grooves in the lower part of the partitions will improve the movement of the condensed coolant to the outlet fitting (Fig. 2). The condensate present in the middle of the heat exchanger when covering the lower pipes is an additional thermal resistance and contributes to the acceleration of metal corrosion.

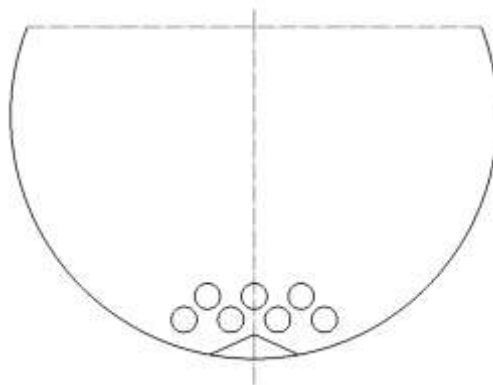


Fig. 2 – Groove for condensate flow in the lower pipe partitions

Thus, adding appropriate grooves to the intertube partitions will improve heat transfer between the two media when using water vapor as the heat carrier.

References:

1. G. Towler, R. Sinnott. Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design / G. Towler, R. Sinnott. – Butterworth-Heinemann, 2013. – 1320 p.
2. J. M. Smith, H. C. Van Ness, M. M. Abbott. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics / J. M. Smith, H. C. Van Ness, M. M. Abbott. – McGraw-Hill, 2005. – 768 p.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИПАРНИКА ДІЛЯНКИ РЕКУПЕРАЦІЇ ПАРІВ АЦЕТОНУ

студент Бельченко О.М.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: У роботі розглянуто технічні аспекти модернізації випарника ділянки рекуперації парів ацетону з метою підвищення енергоефективності та стабільності теплообміну. Запропоновано впровадження системи механічного очищення труб за допомогою очисних куль та використання низькоробрих труб як інструментів інтенсифікації процесу кипіння й зменшення забруднення теплообмінної поверхні. Обґрунтовано технічну доцільність запропонованих заходів та їх вплив на експлуатаційні показники установки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИПАРНИК, РЕКУПЕРАЦІЯ АЦЕТОНУ, КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛОБМІННИК, НИЗЬКОРЕБРИСТІ ТРУБИ, МЕХАНІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛОБМІНУ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

Випарник у системі рекуперації парів ацетону виконує ключову технологічну функцію - забезпечує повторне випаровування або підігрів конденсату ацетону з метою його повернення в виробничий цикл. Таким чином, апарат підвищує ступінь утилізації розчинника, знижує втрати летких органічних сполук (ЛОС), мінімізує викиди в атмосферу та зменшує енерговитрати підприємства. Стабільна робота випарника безпосередньо впливає на матеріальний баланс та екологічні показники виробництва.

Конструктивно випарник ділянки рекуперації парів ацетону мають трубний пучок, який розміщується всередині циліндричного корпусу; нагрів здійснюється насиченою водяною парою, яка подається у трубний простір, тоді як ацетон або ацетонвмісна суміш рухається по міжтрубному просторі. Для

інтенсифікації теплообміну застосовуються сегментні перегородки, що формують поперечний потік теплоносія [1].

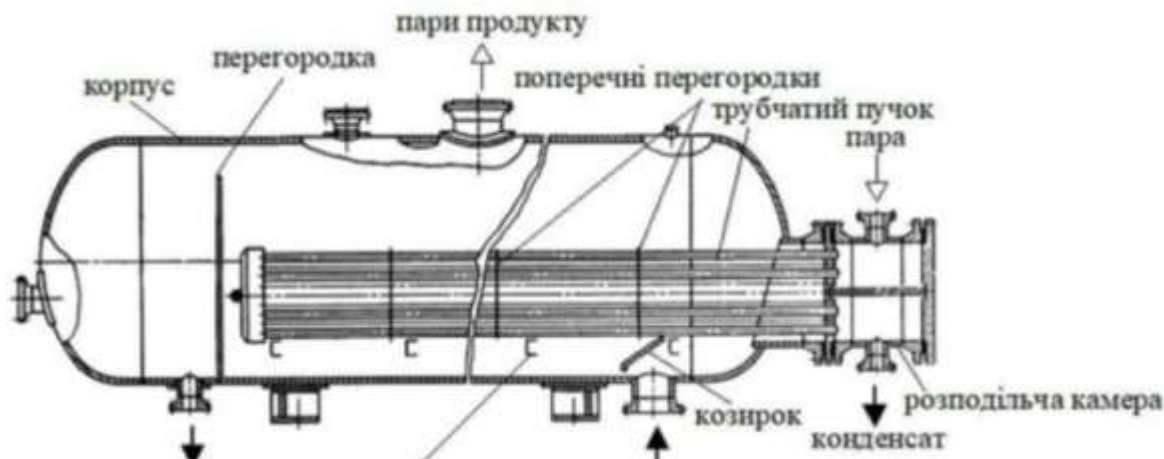


Рисунок 1 – Схематичне зображення випарника

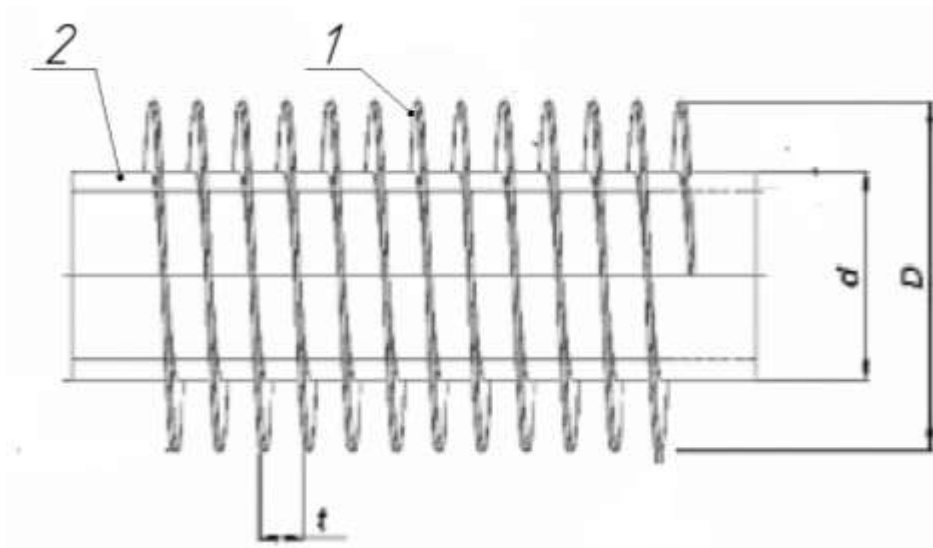
Одним із перспективних напрямів модернізації теплообмінних апаратів є оребрення труб, що дозволяє одночасно збільшити площу контактної поверхні, інтенсифікувати турбулентність потоку теплоносія та покращити відтік конденсату.

Це оребрення, у поєднанні з оптимізованою формою ребер, забезпечує прискорений відтік конденсату, зменшує небажане накопичення рідини та знижує гідравлічні втрати у міжтрубному просторі. Під час кипіння ацетону на оребреній поверхні відбувається активніше зародження бульбашок, що підвищує коефіцієнт тепловіддачі [2].

Зокрема, комбіноване оребрення труб у дефлегматорі виконує такі функції:

- 1) Збільшення площі теплового контакту без значного ускладнення конструкції, що прямо підвищує теплову потужність апарата.
- 2) Покращення фільтрації фазового переходу (конденсації парів), зменшення зон застою та локальних температурних градієнтів.
- 3) Зниження гідравлічного опору у порівнянні із суто гладкими або однорідно ребристими трубами, завдяки адаптивній геометрії ребер у різних зонах апарата.

- 4) Інтенсифікація теплоносієвого потоку, що дозволяє використовувати дефлегматори в умовах змінних теплових навантажень без значних коливань температурного режиму.



1 – спіральне оребрення; 2 – теплообмінна труба

Рисунок 2 – Оребрення труби

Основні конструктивні параметри ореброваних труб:

- зовнішній діаметр ребра (D): до трьох діаметрів базової труби (d)
- крок ребра (t): від 2,5 до 10 мм;
- матеріал ребра: алюміній або мідь;

Отже, модернізація випарника ділянки рекуперації парів ацетону шляхом застосування низькоробрих труб з спіральною формою є технічно доцільною та економічно обґрунтованою. Запропоноване рішення забезпечує підвищення інтенсивності теплообміну, що підвищує коефіцієнт тепловіддачі.

Список літератури

1. Shah R. K., Sekulic D. P. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003. 941 p.
2. Hewitt G. F., Shires G. L., Bott T. R. Process Heat Transfer. Boca Raton: CRC Press, 1994. 594 p..

UDC 630

**MUTUAL DEVELOPMENT OF FORESTRY ENTERPRISES AND
HEAT GENERATING FACILITIES WITH CONSTANT
INTERACTION**

Kremnov V., Belyaev G., Belyaeva I., Zhukov K.,

Korbut N., Stetsuk V., Timoshchenko A.

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

***ABSTRACT.** The paper is devoted to the organization of long-term sustainable interaction of forest farms and enterprises close to them with mandatory technical and organizational re-equipment of their fixed assets.*

***KEYWORDS:** FORESTRY ENTERPRISE, WOOD FUEL COD, ILLIQUIDWOOD WASTE.*

**ВЗАЄМНИЙ РОЗВИТОК ЛІСОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА
ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ СТАЛІЙ ВЗАЄМОДІЇ**

Кремньов В.О., Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Жуков К.Л.,

Корбут Н.С., Стецюк В.Г., Тимощенко А.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України

***АНОТАЦІЯ.** Робота присвячена організації довгострокової сталої взаємодії лісгоспів та наближених до них підприємств з обов'язковим техніко-організаційним переоснащенням їх основних фондів.*

***КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДЕРЕВНА ПАЛИВНА ТРИСКА, ЛІСОГОСПОДАРСЬКЕ ПІДПРИЄМСТВО, НЕЛІКВІДНІ ВІДХОДИ ДЕРЕВИНИ.*

The purpose of the work. Development of technical requirements and design solutions for the organization of the system of sustainable energy use of renewable wood resources.

Results. The report belongs to one of the traditional activities of the laboratory of heat and mass transfer processes and equipment - a drastic reduction in unit costs for fuel and energy component in heating and production processes through systematic intensification of thermal technologies and extensive involvement of secondary energy and material resources [1].

The work is based on the following conceptual provisions.

1. Transfer of heat-generating objects territorially close to the forestry enterprise into fuel in the form of pre-dried to moisture $W \leq 20\%$ of wood chips or firewood necessarily requires a number of organizational and technical measures, both at heat-generating objects and in forestry enterprises that are accompanied by significant capital investments.

2. Measures in accordance with paragraph 1 shall be carried out simultaneously.

3. The relationship between heat generating and forestry enterprises must be legally binding and long-term.

4. In addition to the current legislation, the guarantor of compliance with mutual obligations under the contract must also be local governments on the one hand, and on the other - the regional forestry department, which is subordinated to the forestry enterprise-supplier of wood fuel.

5. In addition to the measures under item 1 at the forestry enterprise-supplier it is necessary to make certain changes in the nomenclature of marketable products.

6. Ensuring the measures provided for in paragraphs 1-5 necessarily requires the development and approval of a targeted scientific and technical program aimed at integrating local forestry enterprises into the energy use of by-products of forestry activities.

Conclusions. Technical requirements, design solutions and a "road map" for the gradual involvement of forestry enterprises in sustainable interaction with energy facilities have been developed [2, 3].

References.

1. Дослідження тепломасообмінних процесів і розробка нових енергоефективних методів та технологічного обладнання виробництва біопалива з лісорослинницьких відходів: звіт про НДР (заключний) ІТТФ НАН України. № ДР 0115U002667; кер. В.О.Кремньов, А.В.Тимощенко. Київ, 2019, 390 с.

2. Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Жуков К.Л. Скоординовані організаційно-технічні заходи на підприємствах лісового господарства – постачальниках і теплогенеруючих об'єктах-користувачах деревного палива. / Матеріали XII Міжнародної онлайн конференції «ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОФІЗИКИ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ», 26 – 27 жовтня 2021 року, м. Київ. С. 48.

3. Кремньов В.О., Тимощенко А.В., Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Жуков К.Л., Корбут Н.С., Стецюк В.Г. Системна інтенсифікація тепло- і біотехнологічних процесів при утилізації ресурсоцінних відходів біологічного походження на території об'єднаних територіальних громад/ Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій– 2022: колективна монографія Полтава – Львів: НУПП імені Юрія Кондратюка, НУ «Львівська політехніка» — Дніпро: Середняк Т. К., 2022, С. 326-339.<https://nupp.edu.ua/page/opis-kolektivnoi-monografii.html>

МОДЕРНІЗАЦІЯ ДЕФЛЕГМАТОРА УСТАНОВКИ АЛКІЛУВАННЯ БЕНЗОЛУ

студент Антончик Є. Є., старший викладач, д.т.н., с.н.с. Коник А.В.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

АНОТАЦІЯ: У роботі запропоновано модернізацію дефлегматора установки алкілування бензолу шляхом оснащення внутрішньої поверхні теплообмінних труб мікроребрами, що формують турбулентність потоку охолоджуючого середовища. Така модифікація забезпечує зниження габаритів апарата при збереженні його теплової потужності за рахунок нормалізації температурного режиму конденсації та зменшення локальних перегрівів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДЕФЛЕГМАТОР, АЛКІЛУВАННЯ БЕНЗОЛУ, ТЕПЛООБМІННИЙ КОЖУХОТРУБНИЙ АПАРАТ, МІКРОРЕБРА, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ.

Процес алкілування бензолу вимагає високої точності підтримки температурного режиму в дефлегматорі, оскільки ефективність відділення алкілбензолів безпосередньо залежить від рівномірності конденсації та контролю фракційного складу. Традиційні кожухотрубні теплообмінники (дефлегматори), що використовуються на промислових установках, мають обмежену ефективність теплопередачі через нерівномірність розподілу пари та теплоносіїв, локальні застої та недостатню площу контактної поверхні.

Одним з перспективних напрямків модернізації дефлегматора є використання ребрення на внутрішній поверхні теплообмінних труб (рисунок 1). Така конструктивна зміна дозволяє суттєво підвищити ефективність процесу теплообміну без істотного збільшення габаритів апарата чи додаткових витрат енергії [1, 2].

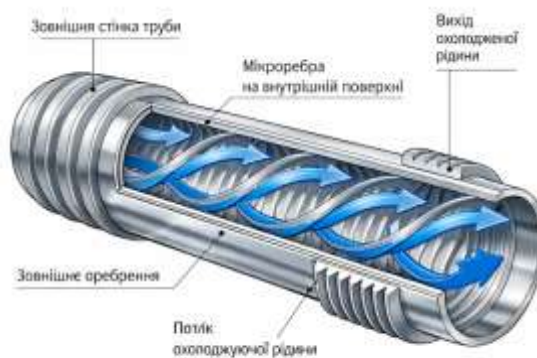


Рисунок 1 – Зображення мікроребер на внутрішній поверхні теплообмінних труб

Ідея оребрення полягає у створенні на внутрішній поверхні теплообмінних труб невеликих спіральних або поздовжніх виступів, які формують турбулентність потоку робочого середовища. Турбулентний рух сприяє підвищенню теплопередачі від стінки труби до потоку охолоджуючої рідини, зменшуючи при цьому товщину теплового пограничного шару, відповідно, підвищується коефіцієнт теплопередачі. У дефлегматорах для алкілування бензолу це дозволить більш ефективно відводити теплову енергію від конденсованих парів алкілбензолу, стабілізувати температурний режим та забезпечити рівномірну конденсацію по всій довжині апарата [2].

Методи реалізації внутрішнього оребрення у трубах дефлегматора:

1) механічне профілювання внутрішньої поверхні труб – включає гвинтове або спіральне проточування металу, холодне деформування або обробку металевими роликками для формування поздовжніх або спіральних виступів. Цей метод забезпечує точне визначення висоти та кроку ребер для оптимальної інтенсифікації теплообміну [3,4].

2) лиття або екструзія труб із інтегрованою мікроструктурою – труби виготовляються з ребристою внутрішньою поверхнею відразу при формуванні металу або композитного матеріалу. Це дозволяє отримати точні профілі ребер та уникнути додаткової механічної обробки.

3) використання вставних ребристих елементів – у гладкі труби інтегруються внутрішні вставки з поздовжніми або спіральними канавками. Такий метод забезпечує легку модифікацію існуючих труб без їх повної заміни і дозволяє експериментально підбирати оптимальний профіль для конкретного потоку [4].

Кожен із цих методів реалізує прогнозовану турбулентність потоку і підвищує коефіцієнт теплопередачі, водночас зберігаючи допустимі гідравлічні втрати. Поєднання внутрішніх мікроребер із зовнішнім оребренням труб та оптимізацією компонування пучка труб забезпечує комплексну інтенсифікацію теплообміну, що підвищує ефективність роботи дефлегматора.

Переваги застосування внутрішніх мікроребер включають:

- підвищення коефіцієнта теплопередачі в межах 10÷25 % залежно від геометрії ребер і швидкості потоку;
- зменшення локальних зон перегріву та застою охолоджуючої рідини;
- можливість використання труб меншого діаметра при збереженні теплової потужності апарата;
- підвищення енергоефективності установки та зниження витрат охолоджуючого середовища.

Серед недоліків слід зазначити:

- коштовне та технологічно ускладнене виготовлення труб;
 - необхідність точного гідравлічного розрахунку;
 - складність обслуговування при очищенні внутрішніх каналів труб
- [2].

Список літератури

- 1) Jasiński P. B. Numerical investigation of thermo-flow characteristics of tubes with transverse micro-fins / P. B. Jasiński // *Energies*. — 2024. — Vol. 17, Issue 3, Art. 714. — DOI:10.3390/en17030714

2) Швець Н. О. Підвищення ефективності компактних теплообмінників із оребреними трубками / Н. О. Швець — магіст. дис. — Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2021 — аналізує ефекти мікроканалних і ребристих внутрішніх структур для підвищення тепловидобутку в компактних апаратах.

3) Chalco Aluminum. Внутрішня рифлена труба для теплообмінника : пром. стаття / Chalco Aluminum. — <https://www.chalcoaluminum.com/uk/knowledge/inner-grooved-tube-2506-zmy/> (дата звернення: 21.02.2026)

4) Numerical study on the mechanism of heat transfer enhancement in the tube with internal axial straight micro fins. – Int. J. of Thermal Sciences. – 2024. – Vol. 199. – DOI:10.1016/j.ijthermalsci.2024.108930 (дата звернення: 21.02.2026).

UDC 664.8.047

ULTRASOUND INTENSIFICATION OF THE DRYING PROCESS OF CAROTENE-CONTAINING RAW MATERIALS

PhD, Associate Professor Oleh Novokhat, postgraduate student Yuliia Zloba
National Technical University of Ukraine
"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract: *The paper considers the drying of carotene-containing plant materials and the challenges of preserving carotenoids during thermal processing. It is shown that ultrasound application enhances the drying process by increasing the effective diffusion coefficient, reducing processing time, and lowering energy consumption. The use of combined drying methods is substantiated as a promising approach for improving product quality preservation.*

KEYWORDS: CAROTENOIDS; B-CAROTENE; ULTRASOUND;
DRYING; MASS TRANSFER; DIFFUSION; ENERGY CONSUMPTION;
PROCESS INTENSIFICATION; CAROTENE-CONTAINING RAW MATERIALS

УЛЬТРАЗВУКОВА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ КАРОТИНОВМІСНОЇ СИРОВИНИ

К.т.н., доцент Новохат О.А., аспірантка Злоба Ю.А.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Анотація: *У роботі розглянуто особливості сушіння каротиновмісної рослинної сировини та проблеми збереження каротиноїдів під час термічної обробки. Показано, що застосування ультразвуку дозволяє інтенсифікувати процес сушіння за рахунок підвищення ефективного коефіцієнта дифузії, скорочення тривалості процесу та зниження енерговитрат. Обґрунтовано доцільність використання комбінованих методів сушіння для максимального збереження якості продукту.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КАРОТИНОЇДИ; В-КАРОТИН; УЛЬТРАЗВУК; СУШІННЯ; МАСОПЕРЕНОС; ДИФУЗІЯ; ЕНЕРГОВИТРАТИ; ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ; КАРОТИНОВМІСНА СИРОВИНА.

Carotene-containing plant raw materials (carrots, pumpkins, tomatoes, apricots, etc.) are an important source of carotenoids, in particular β -carotene, a provitamin A and a powerful antioxidant [1; 2]. High humidity and limited shelf life of such raw materials necessitate its preservation, among which drying occupies a leading place [3–5].

However, carotenoids are thermolabile compounds that are sensitive to temperature, oxygen, and light, leading to their degradation during drying [9; 10; 13]. Traditional convective drying is characterized by a significant duration of the process and high energy costs, which negatively affects the quality of the product [3; 4; 15]. Therefore, it is relevant to search for ways to intensify drying without increasing the temperature load.

A promising direction is the use of ultrasound as a tool for intensifying mass transfer [11 – 14].

Analysis of modern research. Modern studies of drying carotene-containing raw materials are aimed at solving two key problems: reducing the duration of the process and preserving biologically active substances [9; 10].

Comparative analysis shows that vacuum and microwave methods provide better product quality, but are complex and energy-intensive [9; 16]. Convective drying remains the most common, but is accompanied by significant losses of carotenoids due to prolonged heat exposure [3; 4; 15].

Ultrasound is considered as an effective means of intensification, the action of which is associated with cavitation, microjets and the "spongy effect", which contributes to the opening of the cellular structure and acceleration of moisture transport [11–14].

Studies show that the use of ultrasound can increase the drying rate in general up to 140% and improve the preservation of color and carotenoids [11; 12; 16].

The drying process is described by the heat and mass transfer equations. Taking into account the ultrasonic effect, the heat balance equation has the form:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \nabla^2 T - \rho r_v \left| \frac{\partial W}{\partial \tau} \right| + q_{us}$$

where q_{us} is an additional source of heat from ultrasound [11; 14].

Mass transfer is described by the diffusion equation:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \nabla \cdot (D_{eff} \nabla W)$$

Effective diffusion coefficient taking into account ultrasound:

$$D_{eff} = D_0(1 + k_D I_{us})$$

The growth D_{eff} indicates the intensification of internal mass transfer [11; 13; 14].

For a thin layer, the change in humidity is described:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} \tau}{4L^2}\right)$$

The intensity of the process is characterized by the Fourier number:

$$Fo = \frac{D_{eff} \tau}{L^2}$$

An increase Fo means an acceleration of drying [2; 10; 11].

Drying kinetics are often described by Page's model:

$$MR = \exp(-k\tau^n)$$

where the k coefficient increases with the use of ultrasound [11; 14; 16].

Reducing the drying time leads to a decrease in heat load, which contributes to the preservation of β -carotene. According to experimental data, its preservation can reach 96–98 % [13].

Energy consumption is an important indicator of drying efficiency. It was found that freeze-drying: 7–10 kWh/kg [9; 16], vacuum: 3–5 kWh/kg [9; 11], convective: 2–3 kWh/kg [3; 4], ultrasonic: 1.8–2.5 kWh/kg [11; 13; 16].

Total energy expenditure:

$$Q_{tot} = Q_{conv} + Q_{us}$$

$$Q_{us} = P_{us}\tau$$

$$q = \frac{Q_{tot}}{m_w}$$

Reducing the τ drying time ensures a reduction in energy consumption [11; 14; 16].

Ultrasound causes cavitation phenomena that lead to the destruction of cell walls; formation of microchannels; increased membrane permeability; reduction of diffusion resistance [11; 14].

This forms a "spongy effect" that intensifies mass transfer. At the same time, excessive intensity can cause degradation of carotenoids, so optimization of regimens is necessary [11; 14; 16].

Conclusions

Traditional drying methods do not ensure proper preservation of carotenoids, so they need to be improved. The use of ultrasound is an effective approach to intensifying the drying process, as it allows you to accelerate the removal of moisture without a significant increase in temperature. This is achieved by increasing the effective diffusion coefficient in the material. As a result of the use of ultrasound, the duration of the process is reduced and energy costs are reduced. The most promising direction is the use of combined drying methods, which provide better preservation of the quality of carotene-containing raw materials.

References:

1. Vitamin A and Carotenoids – Health Professional Fact Sheet / National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. URL: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminA-HealthProfessional/>.

2. Yevlash V. V., Priss O. P., Serdyuk M. E. et al. Biochemistry of fruits and vegetables: study. Manual. Melitopol: Lux, 2019. 206 p.
3. Malezhyk I. F., Bessarab O. S., Bandurenko G. M., Levkivska T. M. Study of the process of drying carrot pomace in obtaining a dry carotene-containing additive. *Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko*. 2014. Vol. 152. Pp. 150–156. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/ecb297e0-1286-4e5f-b4f2-8bc509636e7f> (accessed 14.04.2026).
4. Kosogolova L. O., Levkivska T. M. Stability of β -carotene in obtaining powder from carrot pomace. *Collection of scientific papers of Vinnytsia State Agrarian University. Series: Technical Sciences*. 2006. Vol. 1. P. 54. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/168177b1-7b20-40d3-863a-d5c43b0267ad>.
5. Snezhkin Y. F., Petrova Zh. O. Food powders from plant raw materials. Classification, methods of obtaining, market analysis. *Biotechnology*. 2010. Vol. 3, No. 5. Pp. 31–42. URL: <https://biotechnology.kiev.ua/index.php/uk/arkhiv-zhurnaliv/2010-ua/2010-no-5-ua/harcovi-poroski-z-roslinnoi-sirovini-klasifikacia-metodi-otrimanna-analiz-rinku-u-f-snezkin-z-o-petrova>.
6. Marchevskiy V. M., Novokhat O. A., Voronin L. G., Tatarchuk O. O. Drying of sanitary and hygienic paper using infrared radiation. *Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI". Series: Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving*. 2015. № 1 (14). Pp. 29–31. DOI: <https://doi.org/10.20535/2306-1626.1.2015.52235>.
7. Karvatskii A., Marchevsky V., Novokhat O. Numerical modelling of physical fields in the process of drying of paper for corrugating by the infrared radiation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. No. 2/5 (86). P. 14–22. URL: <https://media.neliti.com/media/publications/307084-numerical-modeling-of-physical-fields-in-256dc303.pdf>.

8. Kushniruk V., Novokhat O. Analysis of intensification of zeolite drying on a vibrating conveyor dryer with infrared emitters. *Technology Audit and Production Reserves*. 2023. Vol. 2, No. 1 (70). P. 6–9. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.279032>.
9. Ignaczak A., Mierzwa D., Sitkiewicz I. Influence of pre-treatment and drying methods on the quality of dried carrot properties as snacks. *Foods*. 2023. Vol. 12, No. 10. Art. 2045. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12102045>.
10. Motegaonkar S., Shankar A., Tazeen H., Gunjal M., Payyanad S. A comprehensive review on carrot (*Daucus carota* L.): the effect of different drying methods on nutritional properties and its processing as value-added foods. *Sustainable Food Technology*. 2024. Vol. 2. P. 667–688. DOI: <https://doi.org/10.1039/D3FB00162H>.
11. Mierzwa D., Musielak G. Microwave and ultrasound assisted rotary drying of carrot: analysis of process kinetics and energy intensity. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 22. Art. 10676. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142210676>.
12. Duan S., Ding C., Lu J., Bai W., Guan P., Liu J., Song Z., Chen H., Jia Y. Study the effect of ultrasonic pretreatment combined with electrohydrodynamics on drying characteristics and volatile components of carrots. *Applied Food Research*. 2024. Vol. 4. Art. 100634. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100634>.
13. Frias J., Peñas E., Ullate M., Vidal-Valverde C. Influence of drying by convective air dryer or power ultrasound on the vitamin C and β -carotene content of carrots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010. Vol. 58, No. 19. P. 10539–10544. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf102797y>.
14. Zhou S., Chen W., Chitrakar B., Fan K. Ultrasound technology for enhancing drying efficiency and quality of fruits and vegetables: a review. *Food and Bioprocess Technology*. 2024. Vol. 17, No. 12. P. 4506–4536. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03379-z>.

15. Nazarenko K. M., Snezhkin Y. F., Zubriy O. G., Petrova Zh. O. Convective drying of carotene-containing raw materials. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University*. 2009. № 659. Pp. 172–175. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/7780>.

16. Mondal M. H. T., Ahmmed R., Khan M. J. Ultrasound pretreated freeze-drying of carrot: effect on nutritional value, bioactive compounds and microstructure. *Applied Food Research*. 2025. Vol. 5, No. 1. Art. 100966. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100966>.

DESIGN FEATURES OF TUBE FURNACES FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PROCESSES

Student Andrii Korsak, PhD, Assoc. Prof. Andrii Stepaniuk

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract: *The main design features of tubular heaters are considered. The principle of operation of the radiation and convection sections is described. The advantages and disadvantages of this equipment are analyzed.*

KEYWORDS: TUBE FURNACES; FIRED HEATERS; FURNACE DESIGN; RADIATION SECTION; CONVECTION SECTION; HEAT TRANSFER.

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТРУБЧАСТИХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ХІМІЧНИХ ТА НАФТОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Студент Андрій Корсак, к.т.н., доц. Андрій Степанюк

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Анотація: *Розглянуто основні конструктивні особливості трубчастих обігрівачів. Описано принцип роботи радіаційної та конвекційної секцій. Проаналізовано переваги та недоліки цього обладнання.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРУБЧАСТІ ПЕЧІ; ТРУБЧАСТІ НАГРІВАЧІ; КОНСТРУКЦІЯ ПЕЧЕЙ; РАДІАЦІЙНА СЕКЦІЯ; КОНВЕКЦІЙНА СЕКЦІЯ; ТЕПЛООБМІН.

Tubular fired heaters are widely used in oil refining, petrochemical, and chemical production for heating liquid or gaseous process streams to high temperatures. In such units, the product flows through a tubular coil, while heat is supplied externally by fuel combustion. The general requirements for fired heaters, air preheaters, fans, and burners used in refinery service are specified in API STD 560 [1].

The heated medium enters the furnace coil and passes first through the convection section and then through the radiation section, or through the sections

method of flue-gas discharge. To compare the main layout options, typical design schemes of tube furnaces are shown below in Figure 1.

Type A is a box heater with an arbor coil. Types B and E are cylindrical designs, with a helical coil and a vertical coil, respectively. Type C is a cabin heater with horizontal tubes. Types D and F are box-type arrangements with vertical or horizontal tube placement. Horizontal coils are more convenient for draining and cleaning; cylindrical designs are more compact; and vertical tubes provide a denser arrangement of the heating surface. Such designs are considered through a set of features: furnace shape, arrangement of tubes in the radiant and convection sections, location of the convection chamber, fuel-firing method, number of radiant chambers, tube length, type of refractory lining, and burner type [1...5].

The main structural elements of a tubular fired heater are the combustion chamber, burners, radiant coil, convection coil, refractory lining, casing, stack, supports, access doors, measuring instruments, and automatic control system. The tubular coil is the key working element because it separates the process medium from the flame and transfers heat through the tube wall.

Advantages:

- Continuous heating of the process stream, which is important for high-capacity chemical and oil-refining units;
- The ability to achieve high product temperatures with precise control of the combustion mode;
- No direct contact between the heated product and combustion gases, which reduces the risk of product contamination;
- A large heat-transfer surface due to the developed tubular coil;
- Combination of radiant and convective heat transfer within one unit;
- Compatibility with automation systems for controlling fuel flow, air supply, temperature, and pressure.

Disadvantages:

- High fuel consumption, especially when the heat of outgoing flue gases is insufficiently recovered;
- Risk of local tube overheating due to non-uniform heat flux in the radiant chamber;
- Formation of coke deposits or scale on the inner tube surface, which worsens heat transfer and increases hydraulic resistance;
- High cost of heat-resistant steels, refractory lining, and inspection systems;
- The need for thorough cleaning, maintenance, and monitoring of tube-wall temperature;
- Emissions of nitrogen oxides and carbon dioxide during fuel combustion.

List of references

1. API STD 560:2016. Fired Heaters for General Refinery Service. Fifth Edition. American Petroleum Institute, 2016.
2. Stepaniuk A. R. Furnace Equipment in Chemical and Oil-Refining Processes: study guide. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2017. 172 pages.
3. <https://www.youtube.com/watch?v=MZ9s2ciAWXE>. Accessed on 26.05.2026.
4. <https://www.youtube.com/watch?v=YjzXJOHoByU>. Accessed on 26.05.2026.
5. <https://www.youtube.com/watch?v=jtYZPtbJSH4&t=953s>. Accessed on 26.05.2026.

UDC 664.8.047

INTENSIFICATION OF CONVECTIVE DRYING OF MEDICINAL AND ESSENTIAL OIL PLANTS BY USING HEAT PUMP

PhD Dabizha N.O.¹, PhD Husarova O.V.^{1,2}, PhD Malashchuk N.S.¹

¹ Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

² National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ANNOTATION: *This study addresses the imperative of developing energy-efficient drying technologies within Ukraine’s sustainable development framework, focusing on hot-air drying as a critical stage in plant raw material processing. Recognizing the high energy consumption associated with drying processes – accounting for up to 20% of total industrial energy use – research endeavors aimed at optimizing drying regimes for thermolabile materials such as apples and peppermint. The findings demonstrate the feasibility of utilizing low-grade waste heat via heat pump technology for sustainable, energy-saving drying solutions, contributing to Ukraine’s broader goals of food preservation, energy security, and technological innovation in food processing.*

KEYWORDS: DRYING, HEAT PUMP, ENERGY EFFICIENCY, THERMOLABILE RAW MATERIALS, APPLES, PEPPERMINT.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ЛІКАРСЬКИХ ЕФІРООЛІЙНИХ РОСЛИН ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ ЦИКЛІВ

канд. техн. наук Дабіжа Н.О.¹, канд. техн. наук Гусарова О.В.^{1,2},

PhD Малашчук Н.С.¹

¹ Інститут технічної теплофізики НАН України

² НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: У роботі розглядається необхідність розробки енергоефективних технологій сушіння в рамках концепції сталого розвитку України, при цьому основна увага приділяється сушінню нагрітим повітрям як ключовому етапу переробки рослинної сировини. З огляду на високе енергоспоживання, пов'язане з процесами сушіння, яке становить до 20 % від загального обсягу енергоспоживання промисловості, було проведено дослідження, спрямовані на оптимізацію режимів сушіння термолабільних матеріалів, таких як яблука та м'ята перцева. Отримані результати демонструють доцільність використання низькотемпературного тепла відпрацьованого теплоносія за допомогою технології теплових насосів для створення стійких енергозберігаючих рішень у сфері сушіння, що сприяє досягненню більш широких цілей України щодо збереження продуктів харчування, енергетичної безпеки та технологічних інновацій у харчовій промисловості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СУШІННЯ, ТЕПЛОВИЙ НАСОС, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ТЕРМОЛАБІЛЬНА СИРОВИНА, ЯБЛУКА, М'ЯТА ПЕРЦЕВА.

Ukraine, as a member of the UN, has joined the global process of ensuring sustainable development by defining national the Sustainable Development Goals (SDGs), which serve as a basis for integrating efforts aimed at ensuring economic growth, social justice, and rational use of natural resources. One of the SDGs targets is to ensure the creation of resilient food production systems, primarily through the use of innovative production technologies developed on the basis of increasing their energy efficiency. Under current conditions, ensuring the availability of balanced nutrition for the population of Ukraine at the level of scientifically substantiated norms is a priority of state policy [1].

One of the main technological processes in the food and processing industry is hot-air drying, during which excess moisture is removed from the material to a level safe for storage. In the dried product, microbial spoilage is stopped and enzymatic activity is minimized, which prolongs shelf life. However, drying is an energy-intensive industrial process, accounting for 12 to 20% of total industrial energy consumption in developed countries. To achieve the SDGs, it is important to build the country's energy security, which in particular involves the implementation of programs and measures to improve energy saving and energy efficiency in economic sectors.

Considering that hot-air drying is an important stage from the standpoint of preserving the properties and chemical composition of raw materials and energy consumption, for the development of sustainable technologies of plant raw material processing, studies of raw material dehydration aimed at increasing the energy efficiency of the process and ensuring the production of high-quality products constitute a relevant scientific and technical task.

To determine the regularities of the drying process of thermolabile materials and to develop energy-efficient dehydration regimes, fruits (apples) and aromatic herbs (peppermint) were chosen as research objects. Since prolonged thermal exposure has a negative effect on the quality of the final product, when developing dehydration regimes for fruits and aromatic herbs, the main emphasis should be placed on using low temperatures and reducing process duration. To preserve valuable biologically active substances, drying must be carried out at temperatures not exceeding 40 °C for aromatic herbs and 60 °C for fruits.

When studying the technological properties of materials, an important role is played by the analysis of adsorption isotherms, which represent a functional relationship between the relative humidity of air and the equilibrium moisture content of the material at constant temperature and pressure. Based on experimentally obtained water vapor adsorption isotherms for the materials under study, equilibrium moisture content values

were determined in the temperature range of 30...60 °C. This made it possible to establish the relationship between the heat-moisture parameters of the drying agent and the material being dried in the course of drying, as well as to obtain the dependence of the partial water vapor pressure at the material surface on moisture content and temperature $p_M = f(u, t)$ in the range $u = 0,04...0,9$ kg/kg dry matter and $t = 30...60$ °C.

The most noticeable influence of the moisture content of the drying agent on the process duration is observed during low-temperature drying: low dehydration intensity and dependence of dryer performance on the heat-moisture parameters of atmospheric air. Analysis of the dependences of the partial water vapor pressure at the material surface p_M for the studied materials showed that as the surface moisture content decreases, the driving force of mass transfer – the mass transfer driving potential $\Delta p = p_M - p_{c.a.}$

The only way to intensify the low-temperature drying process is to increase the mass transfer driving potential Δp by forced dehumidification of the drying agent. To maintain the required value of the mass transfer driving potential, it is advisable to carry out drying under regimes with a variable degree of drying agent dehumidification. At the first stage of drying, a relatively low degree of dehumidification is sufficient. At the second stage, as the partial pressure of water vapor above the material decreases, the degree of dehumidification is correspondingly increased. At the final drying stage, the main factor determining energy consumption is process duration, therefore, to increase the drying rate, it is necessary to maximize the degree of drying agent dehumidification.

In study, to determine energy-optimal indicators of the drying process using a heat pump cycle, an algorithm was developed for calculating the dehydration process of the heat carrier in the *hcd* diagram [2]. Based on the calculated specific energy consumption at different drying temperatures and degrees of heat carrier dehumidification (Fig. 1), the optimal heat-moisture parameters of the heat carrier were determined and regimes were developed that ensure intensification of mass transfer and minimal energy consumption throughout the entire drying process (Table 1).

Exhaust moist air leaving the dryer is an ideal source of low-grade energy for the heat pump of a condensation dryer. Integration of the heat pump into the dryer cycle makes it possible to implement the developed drying regimes for apples and peppermint.

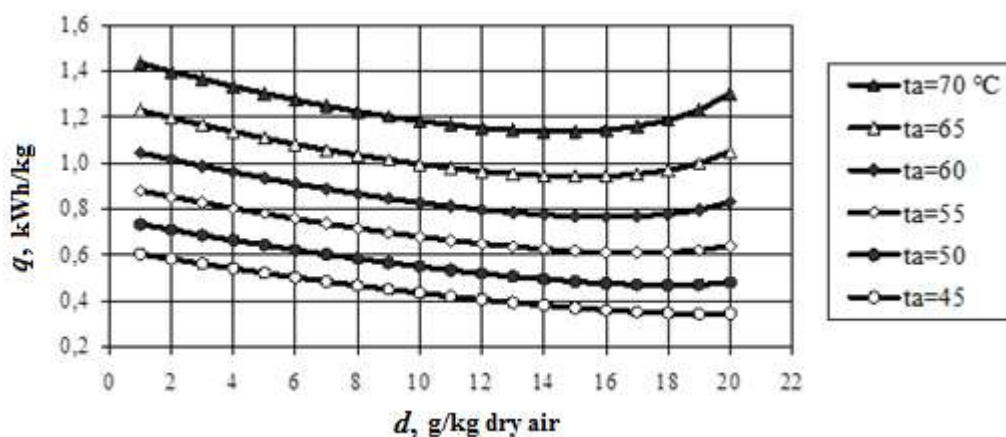


Fig. 1. Effect of drying temperature on the energy consumption of the moisture removal process [2]

Table 1

Drying regimes for apples and peppermint at drying agent temperatures of 50 °C and 40 °C, respectively

Stage	Degree of drying agent dehumidification	d, g/kg dry air	Δp , mm Hg (apple / mint)	q, kWh/kg
I	Low degree of dehumidification	20...25	58...63 / 25...30	0,4...0,6
II	Increased degree of dehumidification	15...20	45...54 / 20...25	0,6...1,0
III	Maximum possible degree of dehumidification	< 15	33...42 / 12	до 1,5

The possibility of forced air dehumidification in the evaporator of the heat pump makes it possible to create the required heat-moisture parameters of the drying agent regardless of ambient conditions. This ability of the heat pump to reduce the moisture

content of the drying agent during low-temperature drying promotes the intensification of moisture removal by increasing the mass transfer driving force between the heat carrier and the material. The moisture removed from the material is not discharged into the environment with the drying agent but condenses on the cold surface of the heat pump evaporator, with the condensation heat being recovered and returned to the process at a higher temperature level. This makes it possible to reduce the specific energy consumption for dehydration by a factor of 2...3 compared with conventional convective drying, thereby increasing its energy efficiency.

References:

1. National Report on the Sustainable Development Goals: Ukraine. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf>.
2. Snezhkin Y., Chalaev D., Dabizha N. Analysis of energy performance of heat pump drying. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 2017. Vol. 39. №3. P. 47-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ihe.3.2017.07>.

UDC 663.1

ANALYSIS OF INNOVATIVE FERMENTER DESIGNS FOR MICROBIOLOGICAL SYNTHESIS

Ph.D. Husarova O.V.^{1,2}, student Kononenko M.S.¹, Ph.D. Daknenko V.L.²

¹ NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

² Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

ANNOTATION: *To substantiate the selection of a fermenter design for the cultivation of baker's yeast and its modernization, scientific and technical sources and patents from various countries over the past year were reviewed and analyzed. The operating principles of the equipment were examined, along with their advantages and disadvantages. Based on the analysis of the reviewed literature, ideas for fermenter modernization were proposed.*

KEYWORDS: FERMENTER, AGITATION DEVICE, MODERNIZATION, BREAD YEAST.

АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ФЕРМЕНТЕРІВ ДЛЯ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО СИНТЕЗУ

к.т.н. Гусарова О.В.^{1,2}, ст. Кононенко М.С.¹, к.т.н. Дахненко В.Л.²

¹ НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

² Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

АНОТАЦІЯ: *з метою обґрунтування вибору конструкції ферментера для культивування хлібопекарських дріжджів та його модернізації було розглянуто та проаналізовано науково-технічні джерела та патенти різних країн за останній рік. Було проаналізовано принцип дії апаратів, наведено їх переваги та недоліки. На основі аналізу розглядуваної літератури запропоновано ідеї модернізації ферментера.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ФЕРМЕНТЕР, ПЕРЕМІШУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ХЛІБОПЕКАРСЬКІ ДРІЖДЖІ.

Introduction: Baker's yeast represents specially selected and purified cultures of microorganisms, predominantly *Saccharomyces cerevisiae*, capable of carrying out alcoholic fermentation. In the course of their metabolic processes, they convert sugars into carbon dioxide and ethanol, which ensures dough leavening, the formation of its porous structure, and the development of characteristic flavor and aroma properties.

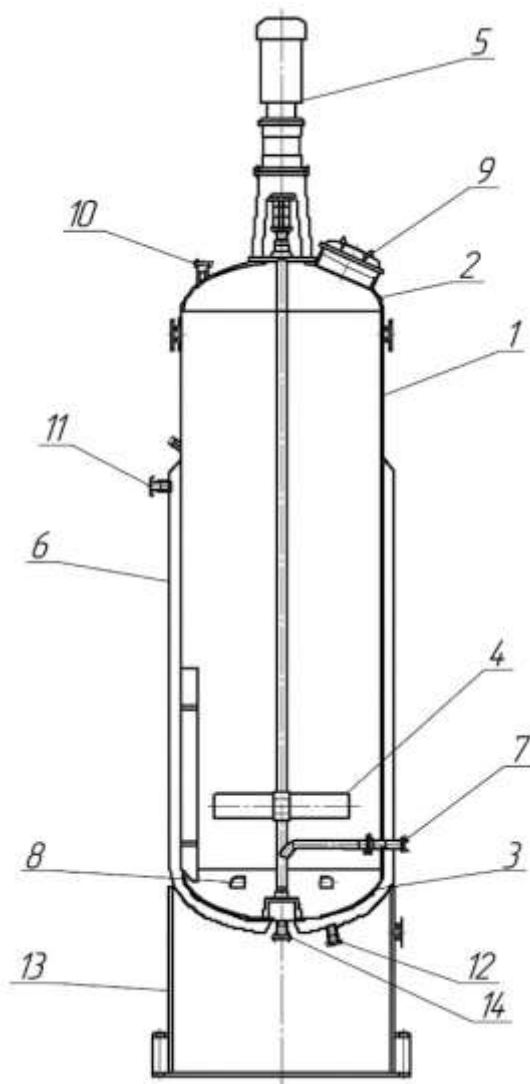
One of the key units in baker's yeast production is the fermenter. It is designed for intensive cultivation of microorganisms and biomass accumulation under strict control of technological parameters. Within this apparatus, continuous mixing and deep aeration of the nutrient medium are performed, supplying yeast cells with oxygen required for respiration and active reproduction. In addition, the fermenter design enables efficient removal of metabolic heat, maintenance of a stable temperature and the required pH, and uniform distribution of nutrients (molasses, salts), which is critical for achieving maximum yield and high product quality.

Description of the fermenter design and its operating principle

The fermenter is intended for first-stage yeast cultivation. Figure 1 shows a schematic diagram of the apparatus.

The unit consists of a cylindrical shell (1), to which the top cover (2) and bottom (3) are welded. The cover is equipped with an agitator drive (5), a nozzle for molasses supply (10), and a manhole (9) for cleaning. A paddle agitator (4), which mixes the vessel contents, is located in the lower part of the apparatus; a sparger (8) is also installed there. To maintain a constant temperature, an external jacket (6) filled with water is provided. Nozzles (11) and (12) are welded to the jacket for water inlet and outlet, respectively. The fermenter is mounted on a cylindrical support skirt (13). A nozzle (14) is provided for discharge of the medium [1].

For the purpose of apparatus modernization, patents related to the improvement of internal fermenter components - particularly mixing devices and heat exchange systems - are considered.



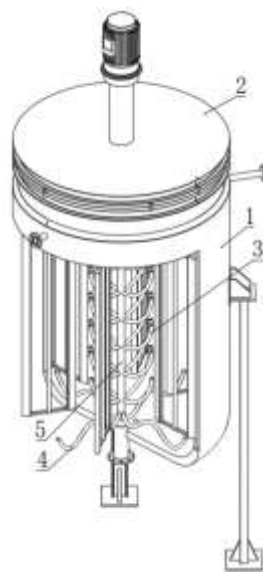
1 – shell; 2 – cover; 3 – bottom; 4 – paddle agitator; 5 – drive; 6 – jacket; 7 – air inlet nozzle; 8 – sparger; 9 – cleaning manhole; 10 – molasses inlet nozzle; 11 – water inlet nozzle; 12 – water outlet nozzle; 13 – support; 14 – discharge nozzle.

Figure 1 – Fermenter schematic

Analysis of these technical solutions makes it possible to identify the most efficient designs for intensifying mass transfer, improving aeration conditions of the

nutrient medium, and ensuring stable removal of biological heat, which forms the basis for proposing further modernization concepts.

Patent analysis. Patent [2] describes a cultivation vessel for the expanded growth of microorganisms, used at the culture scale-up stage prior to industrial fermentation (Figure 2). The main objective of the design is to ensure uniform mixing of the culture liquid and nutrient medium while reducing shear stresses that may damage cells or mycelium.



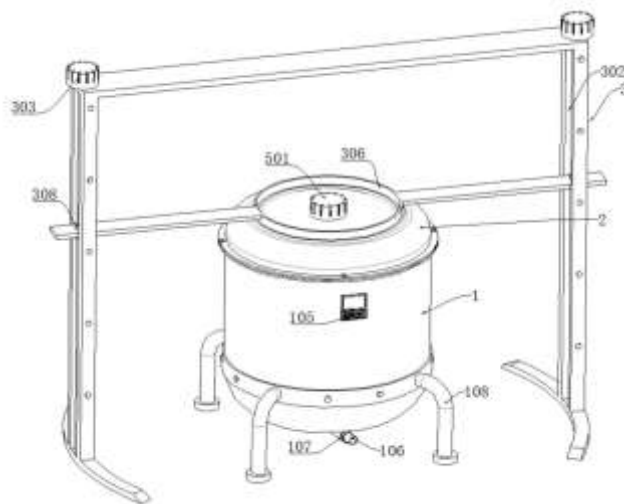
1 – vessel; 2 – sealed cover; 3 – first mixing rods; 4 – second mixing rods; 5 – drive shaft.

Figure 2 – Cultivation vessel for microorganism growth

The main advantages of the apparatus include uniform distribution of nutrients throughout the culture volume due to a multi-tier mixing system; prevention of biofilm formation and biomass adhesion; and reduction of foaming without the use of additional reagents. However, the apparatus also has certain drawbacks. A large number of gear transmissions increases design complexity, complicates maintenance, raises manufacturing cost, and makes sterilization more difficult.

Patent [3] describes a fermentation apparatus intended for the treatment of tobacco raw material using an enzyme solution (Figure 3). The design includes a

fermentation vessel consisting of inner and outer shells. The unit is also equipped with a mixing mechanism to ensure uniform contact between the enzyme solution and the tobacco material, as well as a discharge channel for removing liquid after fermentation. The aim of the invention is to increase the efficiency of the fermentation treatment by ensuring uniform contact with the enzyme solution and improving liquid removal.



1 – fermentation vessel; 105 – control panel; 106 – discharge pipe;
107 – drain valve; 108 – support leg; 2 – top cover; 3 – lifting mechanism; 302 –
lifting groove; 303 – lifting motor; 306 – ring frame; 308 – threaded ring; 501 –
mixing motor

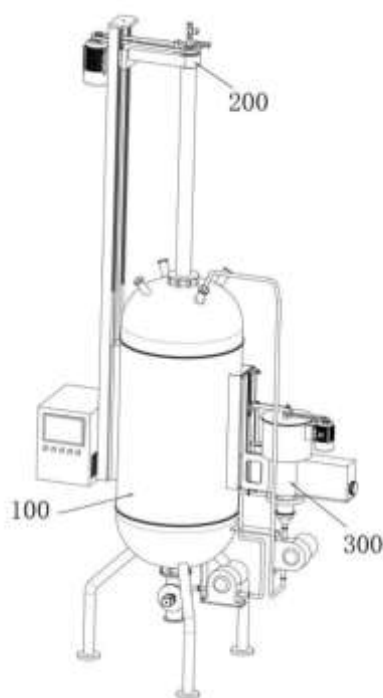
Figure 3 – Fermentation apparatus for tobacco processing

The advantages of this design include maintaining a uniform temperature regime during fermentation, improved processing of tobacco raw material, and a simplified loading and unloading process. The disadvantages include an increased number of mechanical components, which complicates the design, manufacturing, and operation of the apparatus. In addition, continuous monitoring of the tightness of the heating system is required.

Authors [4] propose a fermentation unit with a circulation filtration system (Figure 4), consisting of a fermenter, a mixing unit, and a filtration module. The fermenter is equipped with pipelines for withdrawing the medium and returning it after

purification. The purpose of the invention is to improve the efficiency of the fermentation process by providing continuous circulation filtration of the medium with simultaneous cleaning and its return to the fermenter.

The advantages of the system include automatic cleaning of the filtration element without operator involvement, compact design due to the integration of mixing, gas regime control, and circulation, as well as improved filtration quality.



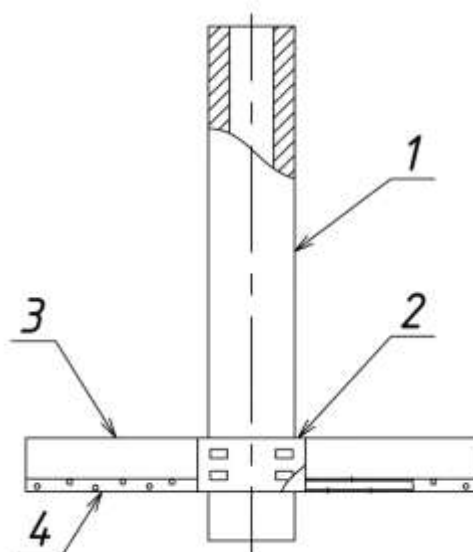
100 – fermentation vessel; 200 – mixing unit; 300 – filtration unit

Figure 4 – Fermentation unit with circulation filtration system

However, a large number of moving elements increases manufacturing cost, operational and maintenance complexity, while the increased number of pumps and drives leads to higher energy consumption. Additionally, increased wear of scrapers in the casing may occur.

Based on the patent analysis, a modernization of the fermenter is proposed, which involves combining two devices - the paddle agitator and the sparger - into a single unit, thereby simplifying the design, installation, and maintenance (Figure 5).

Air is supplied into the hollow shaft (1). During rotation of the shaft, the air exiting through the openings of the sparger (4) immediately enters the mixing zone created by the blade edges (3). This results in intensive dispersion of the gas phase into fine bubbles, increasing the interfacial contact area and the rate of oxygen mass transfer into the culture liquid.



1 – hollow shaft; 2 – hub; 3 – two-blade agitator; 4 – sparger.

Figure 5 – Modernization scheme

Conclusions. The patent review has shown that the main direction of improvement of modern fermentation equipment is the intensification of mass transfer, enhancement of mixing and filtration quality. At the same time, proposed designs tend to integrate multiple functions within a single apparatus, which increases structural complexity, cost, and operational difficulty.

The proposed modernization is a justified and promising engineering solution. Integration of the sparger directly into the agitator structure intensifies mass transfer processes and increases oxygen utilization efficiency, which reduces specific energy consumption and makes such an apparatus economically and technologically feasible for industrial cultivation of baker's yeast.

References:

1. Leuenberger H.G.W. Cultivation of *Saccharomyces cerevisiae* in continuous culture // Archiv. Mikrobiol. – 1972. – Vol. 83. – P. 347–358. <https://doi.org/10.1007/BF00425247>
2. WANG Y., WU J., TANG X. Пат. CN 120988819A. Culture tank for expanding culture of microbial agent. Pub. 21.11.2025. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/097696984/publication/CN120988819A?q=CN%20120988819A>
3. MA Y., GU R., WEN W., LIU M., ZHANG R., BAO T., HE L., NI J. Пат. CN 120918389A. Fermentation device and fermentation method". Pub. 11.11.2025. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/097593014/publication/CN120918389A?q=CN%20120918389A>
4. LI X., LIU M., PAN X., HUANG D., YANG C., JIANG L., ZHAO P., ZHANG Z. Пат. CN 121022560A. Circulating filtration type nutrition preparation fermentation device and filtration method thereof. Pub. 28.11.2025. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/097776202/publication/CN121022560A?q=CN%20121022560A>

УДК 66.048.3

МОДЕРНІЗАЦІЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОГО СПИРТУ

студент Величко Т. Д., асистент Косенко В.В.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: В даній роботі досліджено та проаналізовано патент що модернізує ковпачок а також виявлено переваги та недоліки конструкції та запропоновано власний варіант що частково нівелює недоліки попереднього.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОВПАЧОК, ТАРІЛКА, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, МАСООБМІН, ТЕПЛООБМІН.

У ректифікаційних колонах пар проходячи вгору барботує через шар рідини здійснюючи тепло та масообмін. У ковпачкових ректифікаційних колонах це відбувається через ковпачки, від них залежить те наскільки рівномірно газ буде потрапляти та як буде взаємодіяти з рідкою фазою. Тому дослідження форми та розмірів ковпачка є актуальними, адже вони сильно впливають на процес розділення сумішей у ректифікаційній колоні.

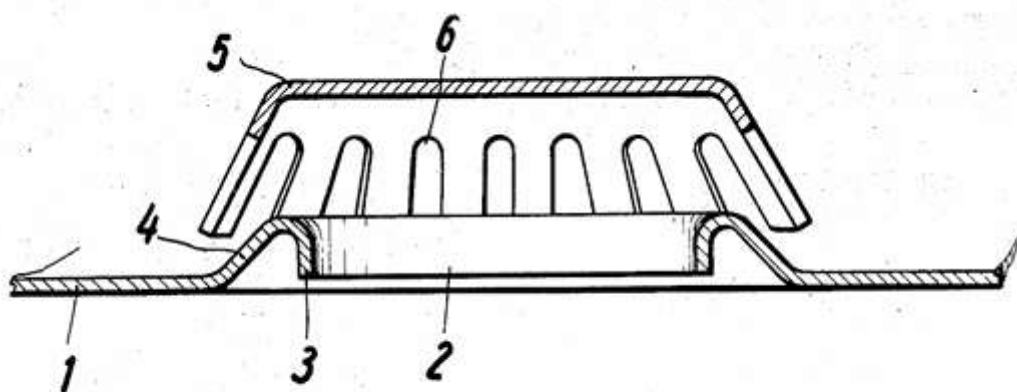


Рисунок 1 — Конструкція ковпачкової тарілки за патентом US3794305 [1]

У запропонованій конструкції (рис. 1) отвір у тарілці має спеціально відігнуту догори периферійну крайку, яка утворює напрямний канал між полотном тарілки та нижньою частиною ковпачка. Основна ідея модернізації полягає в тому, що зміна форми посадочного отвору дозволяє усунути локальні зони нерівномірного проходження пари та зменшити втрати тиску на тарілці. У результаті знижується ймовірність утворення застійних ділянок рідини, зменшується бризковинос і підвищується стабільність роботи колони при змінних режимах навантаження. Особливістю цього рішення є те, що вдосконалення досягається без суттєвої зміни всієї конструкції тарілки, оскільки змінюється лише форма отвору та спосіб посадки ковпачка. [1]

Переваги конструкції:

- зменшення бризковиносу рідини на верхні тарілки;
- підвищення ефективності масообміну;
- зниження локального гідравлічного опору;

Недоліки конструкції:

- складніше виготовлення через необхідність формування відігнутої крайки;
- підвищення вартості виробництва;

Модернізація:

Формування відігнутої крайки на тарілці хоч і дає більш рівномірний потік газу проте потребує складних операцій та підвищує вартість виготовлення. Проте ковпачок тарілки має свої певні переваги що і послугували ідеєю модернізації.

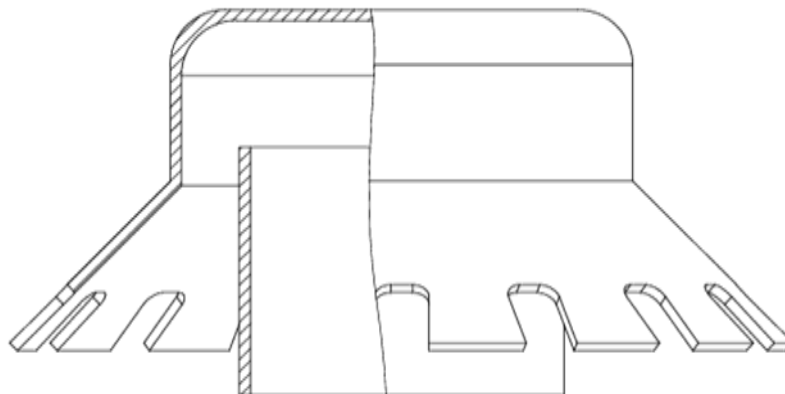


Рисунок 2 — Запропонований варіант модернізації ковпачка з відігнутою крайкою

У цьому варіанті (рис. 2) нижня частина ковпачка відігнута в сторону, що означає що газ який виходитиме з під ковпачка буде менше тертися об ковпачок піднімаючись вгору, як це відбувається у звичайному вертикальному ковпачку, що означає що газова фаза буде мати більшу площу контакту з рідкою фазою що у свою чергу покращить тепло та масообмін.

Переваги конструкції:

- підвищення ефективності масообміну;

Недоліки конструкції:

- складніше виготовлення
- підвищення вартості виробництва;

Використані джерела:

1. Patent US3794305. URL: <https://www.freepatentsonline.com/3794305.html>

2. Циганков П.С., Циганков С.П. Руководство по ректификации спирта. Пищепромиздат, 2001. – 400 с.

3. Технологія спирту. В.О.Маринченко, В.А.Домарецький, П.Л.Шиян, В.М.Швець, П.С.Циганков, І.Д.Жолнер. /Під ред. проф. В.О.Маринченка. – Вінниця: "Поділля-2000", 2003. – 496 с.

UDC66.047.57

**MODERNIZATION OF A DRUM DRYER FOR A COKE PRODUCTION
PLANT**

student Stepura H.A., associate professor,
candidate of technical sciences Stepaniuk A.R.

**National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

ANNOTATION: *This paper describes the advantages and disadvantages of a drum dryer and the directions for improving the performance of the drum dryer. The proposed modernization of the drum dryer is described.*

KEYWORDS: CHEMICAL INDUSTRY, DRUM DRYER, DRYING, BUCKET, ELLIPTICAL HOLES.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ ДЛЯ УСТАНОВКИ
ВИРОБНИЦТВА КОКСУ**

студент Степура Г.А., доц., к.т.н. Степанюк А.Р.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

АНОТАЦІЯ: *В даній роботі наведено опис переваг і недоліків барабанної сушарки на напрямки покращення працездатності барабанної сушарки. Описано запропонованої модернізації барабанної сушарки.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ХІМІЧНА ПРОМИСЛОВІСТЬ, БАРАБАННА СУШАРКА, СУШІННЯ, ЛОПАТКА, ЕЛІПТИЧНІ ОТВОРИ

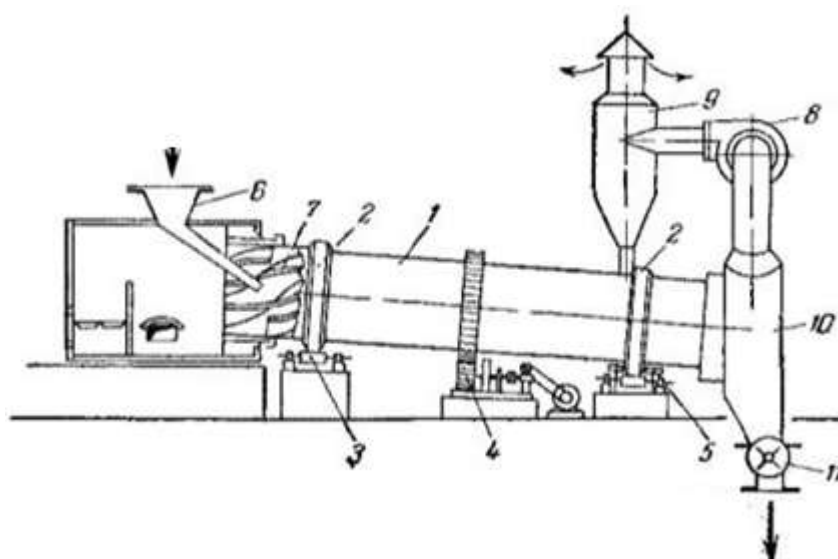
Petroleum coke (English refinery coke) is a solid porous substance from dark gray to black in color, which is a product of coking (calcination) of heavy residue soil. It

is used: in the production of anodes for aluminum smelting, special graphitized electrodes for electrolytic steel production, etc. [1].

The raw material is fed into recuperative heat exchangers, and then enters the rectification column [1]. From the bottom of the column, the bottom residues are pumped into the furnace, heated and fed in pairs through distribution valves into the columns (coke columns). While one pair of columns is being loaded, the process of coke formation is underway in the second pair. Before unloading the coke, the chambers are gradually cooled to the temperature, and the steam is returned back to the rectification column. Then the coke is cut from the coke columns with water cutters and sent to a centrifuge for initial degreasing. At the exit of the centrifuge, the coke enters the drum dryer where the drying process takes place by countercurrent, a hot heat agent is supplied to the drum dryer.

The principle of operation of the drum dryer is as follows: a cylindrical drum 1 is supported by means of bands 2 on rollers 3. The drum is driven into rotation by means of an electric motor, its position in the axial direction is fixed by thrust rollers 5. The material is fed into the drum by a feeder 6, pre-dried, mixed by blades 7 of the receiving screw nozzle, and then fed to the internal nozzle located along almost the entire length of the drum. The nozzle ensures uniform distribution and good mixing of the material along the cross section of the drum, as well as its close contact when pouring with the heat agent. The dried material is removed from the chamber 10 through the unloading device 11, with the help of which the chamber 10 is sealed and air from the outside is prevented from entering it [2].

The design diagram of the drum dryer is shown in Figure 1 [1].



1 – drum; 2 – bands; 3 – support rollers; 4 – gears; 5 – support-thrust rollers; 6 – feeder; 7 – blades; 8 – fan; 9 – cyclone; 10 – unloading chamber; 11 – unloading device.

Figure 1 – Design diagram of a drum dryer

The aim of the work is to modernize the drum dryer, which consists in making elliptical holes on the blades for mixing the substance (Figure 2). The modernization is aimed at increasing the drying efficiency by better mixing the starting substance.

The modernization is schematically depicted in Figure 3.

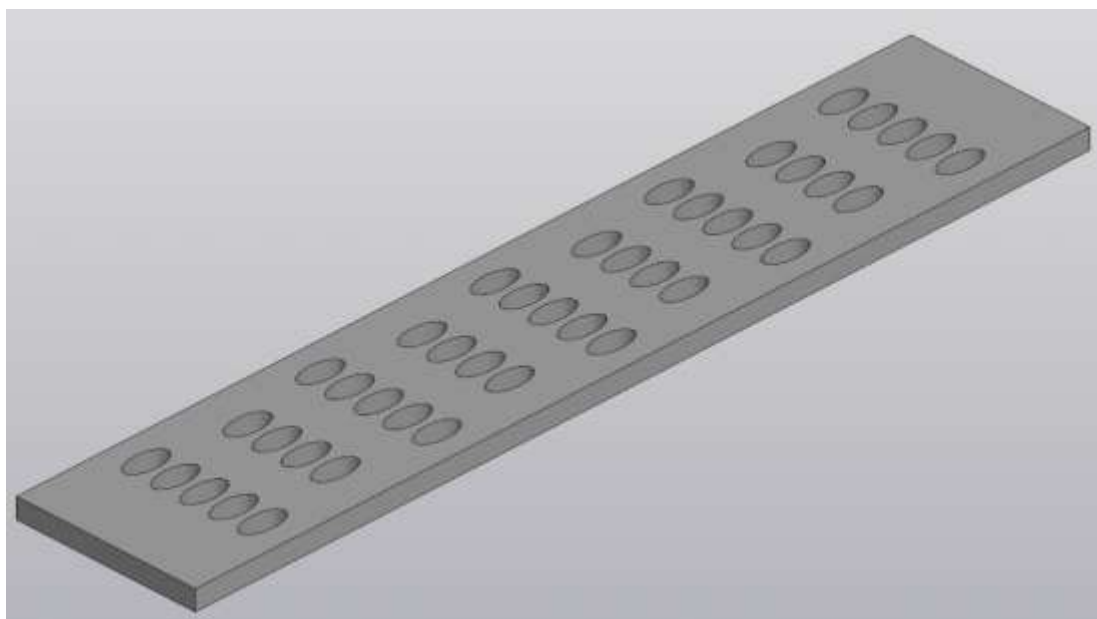


Figure 2 – Blade with elliptical holes.

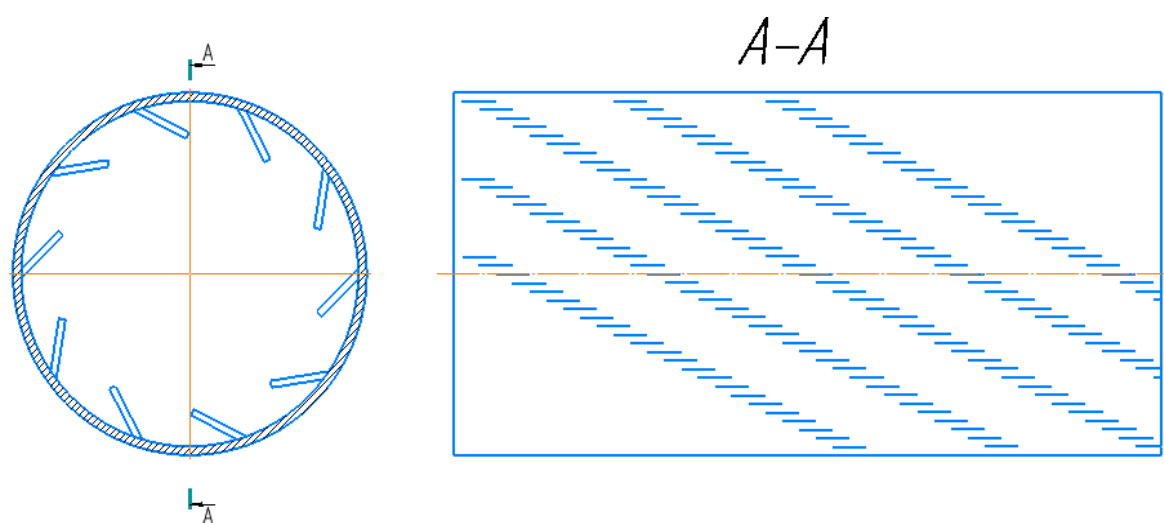


Figure 3 – Schematic representation of blade installation

This diagram shows how the blades are installed in a drum dryer. To improve the drying process in a drum dryer, it was proposed to make elliptical holes in the mixing blades. Since the starting material is coke, for more efficient drying, elliptical holes were made on the blades so that during the rotation of the drum the particles

were additionally crushed and poured out through these holes, also in section A-A it is shown that the blades are installed at a small angle so that the drying process proceeds evenly and qualitatively. Due to this improvement, the efficiency of the drying process will increase.

List of links:

1. Stepura HA, Stepaniuk AR (2025). Collection of abstracts of the XXXVII All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Equipment of chemical production and building materials enterprises". – К.; 07.10.2025. – S. 111-115

2. Processes and equipment of chemical technologies. Part 1. [Electronic resource]: practical course: teaching aids for the bachelor's degree in education. Program "Computer-integrated technologies for the design of chemical engineering equipment" spec. 133 Field of mechanical engineering / Kornienko Ya.M. Stepaniuk A.R., Guliienko S.V., Gaidai S.S., Seminsky O.O. – Electronic text data (1 file). – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2024. – 468 p. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/65934>

3. Gusarova O.V. Computer design of rotating elements of chemical technology equipment: practical introductory manual. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2026. 202 p. dated 20.02.25

УДК 628.16.08

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД З
РОЗРОБКОЮ МЕМБРАННОГО АПАРАТА ТА ОСВІТЛЮВАЧА**

студентка Процюк М.О., доц., к.т.н. Гулієнко С.В.,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *Розглянуто методи очищення природних вод та важливість модернізації апарату зворотного осмосу, наведено технологічну схему.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ОЧИЩЕННЯ ВОДИ, ВОДА, АПАРАТ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ, ОСВІТЛЮВАЧ.

Abstract: *Methods of purifying natural waters and the importance of modernizing the reverse osmosis apparatus are considered, and a technological scheme is provided.*

KEYWORDS: WATER TREATMENT, WATER, REVERSE OSMOSIS APPARATUS, CLARIFIER.

Установка очищення природних вод призначена для отримання прісної води з природних джерел, шляхом видалення солей, органічних сполук та інших домішок [1].

Сьогодні, в умовах постійного зростання популяції та дефіциту водних ресурсів, попит на чисту воду стає критичним. Проте якість води у природних джерелах (поверхневих та підземних водах) постійно погіршується, так як відходи після людської діяльності часто скидаються назад у річки, озера і тд. Це призводить до насичення природних джерел не лише механічними домішками, а й складними розчиненими сполуками та солями [1].

Очищення води/стічних вод поділяється на фізичні (седиментація, дегазація, фільтрація), хімічні (флокуляція, дезінфекція, осадження, іонний

обмін) та біологічні методи (мембранні технології, аеробне та анаеробне очищення за допомогою активного мулу) [1]. Один з найпоширеніших методів мембранних технологій – зворотний осмос. Зворотний осмос – це процес, у якому вода та забруднення розділяються шляхом проходження через тонку напівпроникну мембрану. Мембрана створює бар'єр між молекулами води та хімічними або мікробними забрудненнями, оскільки високий тиск проштовхує воду через мембрану, залишаючи забруднення [2]. Оскільки ефективність мембранного розділення критично залежить від чистоти вхідного потоку, передбачається використання освітлювача як вузла попередньої підготовки. Це дозволяє поєднати фізико-хімічні переваги освітлення (видалення каламутності та зважених часток) із високою селективністю мембранного апарата, забезпечуючи стабільне опріснення природних вод, що зазнали антропогенного впливу.

В даній роботі розглядається технологічна схема очищення води, що включає зворотний осмос та освітлювач. На першому етапі стічні води проходять механічну очистку (Grid/sand trap) для видалення твердих часток, після чого спрямовуються на біологічну стадію з використанням активного мулу (Conventional activated sludge process), де мікроорганізми розщеплюють органічні речовини. Процес завершується у вторинному освітлювачі (Secondary clarifier), відбувається розділення очищеної води та мулу. Попередньо очищена вода йде у двошаровий фільтр (Dual media filter). Це дозволяє підготувати воду до наступних стадій, де можуть застосовуватися методи нанофільтрації (NF) або ультрафільтрації (UF) для видалення дрібних органічних домішок. Фінальним етапом є використання зворотного осмосу (RO), де під тиском мембрана затримує солі та мікрозабруднювачі, забезпечуючи отримання чистої прісної води.

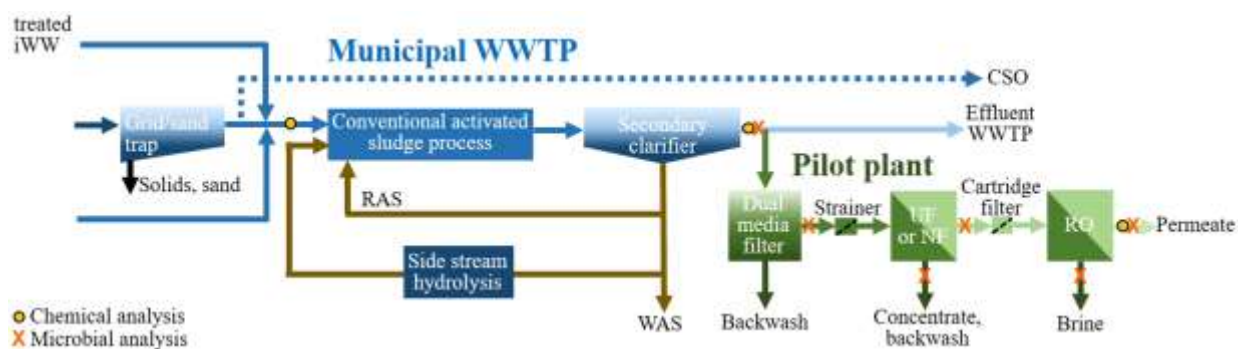


Рисунок 1. – Технологічна схема процесу очищення води.[3]

Апарат зворотного осмосу є ключовим компонентом у процесі очищення води. Його завдання полягає у глибокому знесоленні шляхом використання напівпроникної мембрани, яка пропускає молекули води. У результаті процесу отримують прісну воду та концентрат, який утилізується.

Модернізація апарата зворотного осмосу може включати підвищення енергоефективності, збільшення виходу прісної води та зменшення обсягу забруднення мембран (фоулінгу). Це дозволить забезпечити стабільне водопостачання в умовах жорстких екологічних вимог.

Перелік посилань:

1. Mutegoa, E. Efficient techniques and practices for wastewater treatment: an update. *Discover Water* 4, 69 (2024). Doi: <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00131-8>

2. Reverse Osmosis (RO) Fact Sheet [Електронний ресурс]. – режим доступу. – <https://wqa.org/resources/reverse-osmosis-ro/>

3. Jeannette Jährig, Anne Kleyböcker, Fabian Kraus, Line Rodenkam Melchiorson, Hasse Milter, Preben Thisgaard, Leo Vredembregt, Ulf Mieke; Innovative pre-treatments for reverse osmosis to reclaim water from biotech and municipal wastewater for the industrial symbiosis in Kalundborg. *Water Sci Technol* 15 March 2025; 91 (6): 698–713. Doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2025.025>

МОДЕРНІЗАЦІЯ ДЕФЛЕГМАТОРА ВИРОБНИЦТВА ФЕНОЛУ ТА АЦЕТОНУ

Студент Швединський Д. О., ст.викл., PhD Подиман Г. С.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

АНОТАЦІЯ: У роботі розглянуто напрями модернізації дефлегматора виробництва фенолу та ацетону як ключового апарата ректифікаційного вузла. Проаналізовано конструктивні особливості кожухотрубного теплообмінника, його переваги та недоліки, а також запропоновано удосконалення за рахунок сегментованих перегородок із формуванням квазіспірального руху потоку, що інтенсифікує тепло- та масообмінні процеси.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДЕФЛЕГМАТОР, КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, ФЕНОЛ, АЦЕТОН, КОНДЕНСАЦІЯ, СЕГМЕНТОВАНІ ПЕРЕГОРОДКИ, КВАЗІСПІРАЛЬНИЙ РУХ, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ.

MODERNIZATION OF THE DEPHLEGMATOR FOR PHENOL AND ACETONE PRODUCTION

Student Shvedynskyi D. O., Senior Lecturer, PhD, Podyman H. S.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: The paper examines directions for modernization of the dephlegmator used in phenol and acetone production as a key apparatus of the rectification unit. The constructive features of the shell-and-tube heat exchanger are analyzed, along with its advantages and disadvantages. Improvements are proposed through the use of segmented baffles that create a quasi-spiral flow, thereby intensifying heat and mass transfer processes.

KEYWORDS: DEPHLEGMATOR, SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER, PHENOL, ACETONE, CONDENSATION, SEGMENTED BAFFLES, QUASI-SPIRAL FLOW, HEAT TRANSFER INTENSIFICATION.

Виробництво фенолу та ацетону кумольним методом є одним із стратегічно важливих напрямів органічного синтезу. На стадії ректифікації продуктів окиснення ізопропілбензену (кумолу) ключову роль відіграє дефлегматор — апарат часткової конденсації парової фази з поверненням флегми у верхню частину колони. Ефективність його роботи безпосередньо впливає на чистоту товарних фракцій, енергоспоживання установки та стабільність технологічного режиму.

Дефлегматор у виробництві фенолу та ацетону, як правило, виконують у вигляді вертикального або горизонтального кожухотрубного теплообмінника. Парова суміш надходить у міжтрубний простір, де частково конденсується на зовнішній поверхні труб, охолоджуваних водою або іншим теплоносієм. Утворена флегма повертається до ректифікаційної колони, тоді як неконденсовані пари відводяться на подальшу переробку або конденсацію [1].

Перевагами кожухотрубних дефлегматорів є:

- конструктивна надійність і механічна міцність;
- можливість роботи при підвищених тисках і температурах;
- ремонтпридатність та стандартизованість елементів;
- гнучкість у виборі матеріалів (сталі, корозійностійкі сплави).

Разом з тим, їм притаманні суттєві недоліки:

- нерівномірність розподілу потоків у міжтрубному просторі;
- утворення застійних зон;
- зниження коефіцієнта тепловіддачі при ламінаризації потоку;
- підвищений гідравлічний опір при інтенсифікації турбулентності

традиційними методами.

Сучасні підходи до модернізації кожухотрубних дефлегматорів базуються на:

- оптимізації геометрії трубного пучка (зміна кроку розташування труб);
- використанні оребрених або профільованих труб;
- впровадженні турбулізаторів у трубному просторі;
- модифікації конфігурації перегородок у міжтрубному просторі [2].

Найбільш перспективним напрямом є зміна гідродинаміки міжтрубного простору без істотного збільшення гідравлічного опору (рисунок 1).

Пропонується застосування системи сегментованих перегородок спеціальної конфігурації, розташованих під кутом $15\text{--}25^\circ$ до осі апарата з чергуванням напрямку сегментації. Така компоновка формує квазіспіральний (наближений до гвинтового) рух парового потоку в міжтрубному просторі.

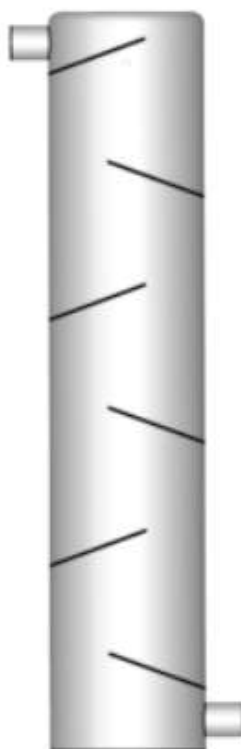


Рисунок 1 – Схематичне зображення перегородок під кутом $15\text{--}25^\circ$ [3]

Суть удосконалення полягає у наступному:

1. Інтенсифікація турбулентності. Квазіспіральний рух запобігає утворенню застійних зон і забезпечує рівномірне омивання трубного пучка.

2. Підвищення коефіцієнта тепловіддачі. Завдяки зростанню локальної швидкості потоку зменшується товщина прикордонного шару, що підвищує інтенсивність конденсації.

3. Рівномірність температурного поля. Поліпшується розподіл температур у міжтрубному просторі, зменшується ризик локального перегріву чи переохолодження.

4. Оптимізація гідравлічного опору. Порівняно з традиційними поперечними перегородками, сегментована система дозволяє досягти більшого коефіцієнта теплопередачі при помірному прирості втрат тиску.

Для процесу часткової конденсації фенолу та ацетону це означає підвищення ступеня селективної конденсації важчої фракції, стабілізацію флегмового числа та зменшення енергетичних витрат на охолодження.

Впровадження сегментованих перегородок із формуванням квазіспірального потоку забезпечує:

- підвищення коефіцієнта теплопередачі на 10–20 %;
- зменшення металомісткості апарата за рахунок скорочення довжини теплообмінної поверхні при тій самій продуктивності;
- зниження експлуатаційних витрат;
- підвищення стабільності роботи ректифікаційної колони.

Таким чином, модернізація дефлегматора є не лише конструктивним удосконаленням, а й інструментом підвищення енергоефективності всього виробництва фенолу та ацетону [4].

Отже, дефлегматор є ключовим елементом системи ректифікації у виробництві фенолу та ацетону, що визначає якість розділення та енергетичну ефективність процесу.

Традиційні кожухотрубні конструкції характеризуються високою надійністю, проте мають обмеження, пов'язані з нерівномірністю гідродинамічного режиму.

Запропонована модернізація шляхом застосування сегментованих перегородок із формуванням квазіспірального руху потоку дозволяє інтенсифікувати конденсацію та підвищити коефіцієнт теплопередачі без суттєвого зростання гідравлічного опору.

Реалізація даного рішення сприятиме зниженню енерговитрат і підвищенню технологічної стабільності виробництва.

Список літератури

1. Mohammadzadeh A. M., Jafari B., Hosseinzadeh K. et al. Numerical investigation of segmental baffle design in shell and tube heat exchangers with varying inclination angles and spacing // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article 4683. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-87652-x> (дата звернення: 22.02.2026).
2. Bayram H., Sevilgen G. Numerical investigation of the effects of different baffle types on the thermal performance of a shell and tube heat exchanger // *Academic Platform Journal of Engineering and Science*. 2018. Vol. 6, № 3. P. 58–66. URL: <https://dergipark.org.tr/en/pub/apjes/issue/38780/397414> (дата звернення: 22.02.2026).
3. Bayram H., Sevilgen G. Numerical investigation of the effect of variable baffle spacing on the thermal performance of a shell and tube heat exchanger // *Energies*. 2017. Vol. 10, № 8. Article 1156. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/8/1156> (дата звернення: 22.02.2026).
4. Hasan S. M., Iqbal S., Khan I., Javaid A., Sajid M. Performance enhancement of a shell-and-tube heat exchanger using a novel baffle design // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2025. Vol. 74. Article 106800. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X25010603> (дата звернення: 22.02.2026).

UDC 630

**CREATION OF A NEW ENERGY-TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR
DRYING VARIOUS SOLID DISPERSED MATERIALS**

Kremnov V., Belyaev G., Belyaeva I., Zhukov K.,

Korbut N., Stetsuk V., Timoshchenko A.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Science of
Ukraine

***ABSTRACT.** The paper is devoted to the creation of a unified complex for the production of generator gas and its use for the organization of the drying process of solid dispersed materials (both fuel chips and target products).*

KEYWORDS: WOOD FUEL CHIPS, BIOFERTILIZERS, GENERATOR GAS, SOLID DISPERSED MATERIALS, DRYER

**СТВОРЕННЯ НОВОГО ЕНЕРГО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ
СУШІННЯ РІЗНОМАНІТНИХ ТВЕРДИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Кремньов В.О., Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Жуков К.Л.,

Корбут Н.С., Стецюк В.Г., Тимощенко А.В.

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

***АНОТАЦІЯ.** Робота присвячена створенню уніфікованого комплексу одержання генераторного газу і його застосування для організації процесу сушіння твердих дисперсних матеріалів (як паливної тріски так і цільової продукції).*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДЕРЕВНА ПАЛИВНА ТРИСКА, БІОДОБРИВА, ГЕНЕРАТОРНИЙ ГАЗ, ТВЕРДІ ДИСПЕРСНІ МАТЕРІАЛИ, СУШАРКА

The purpose of the work.

Create a unified complex with high factory readiness for obtaining generator gas from pre-dried wood fuel chips. And its application in the organization of drying processes of both fuel chips and other solid dispersed materials.

Results. The development was carried out as a result of the joint activity of the participants of the ITT consortium (intensification of thermal technologies) and is intended for equipping the production of wood fuel chips, biofertilizers and other technologies for dewatering solid dispersed materials that allow direct contact. with generator gas combustion products [1].

When developing the complex, innovative technical solutions were applied regarding:

- production of generator gas from wood fuel, pre-dried chips, with an increase in the oxygen content of the oxide with the help of a membrane;
- method and device of wet cleaning of generator gas;
- utilization of the cooling heat of the working chamber of the gas generator;
- drying of solid dispersed materials in rotary-vortex dryers by means of transformation of the flow part to optimize the technological process (rotor speed, variable partitions, bypass windows, etc.);
- a system of automatic control of the combined operation of the gas generator and the dryer.

The technical and economic advantages of the complex include:

- high factory readiness;
- autonomy;
- compactness;
- energy efficiency.

Conclusions.

The developed complex makes it possible to compose the application of the modular principle of energy-efficient enterprises of any required productivity on the

basis of unified equipment with high factory readiness. In addition, the developed complexes can be used in combined technological drying systems [2].

References.

1. Кремньов В.О., Тимощенко А.В., Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Жуков К.Л., Корбут Н.С., Стецюк В.Г. Системна інтенсифікація тепло- і біотехнологічних процесів при утилізації ресурсоцінних відходів біологічного походження на території об'єднаних територіальних громад/ Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій 2022. Розділ 2: колективна монографія. Полтава – Львів: НУПП імені Юрія Кондратюка, НУ «Львівська політехніка» — Дніпро: Середняк Т. К., 2022, С. 326-339. ISBN 978-617-8111-24-3. <https://nupp.edu.ua/page/opis-kolektivnoi-monografii.html>
2. Дослідження тепломасообмінних процесів і розробка нових енергоефективних методів та технологічного обладнання виробництва біопалива з лісорослинницьких відходів: звіт про НДР (заключний) ІТТФ НАН України; кер. В.О.Кремньов, А.В.Тимощенко. Київ, 2019, 390 с. № ДР 0115U002667.

УДК 66.062.53

**ГІДРОДИНАМІЧНА КАВІТАЦІЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ ДЕГАЗАЦІЇ ВОДИ:
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ
ПРОМИСЛОВОСТІ**

д.т.н. Б. Целень, к.т.н. А. Недбайло, к.т.н. Л. Гоженко, к.т.н. Н. Радченко,
гол. мех. В Шуляк, гол. технолог В. Щепкін

Інститут технічної теплофізики НАН України

***АНОТАЦІЯ:** Проаналізовано перспективи застосування гідродинамічної кавітації для інтенсифікації процесів дегазації рідин. Розглянуто сучасні напрямки досліджень у цій галузі, визначено країни-лідери у впровадженні кавітаційних технологій дегазації, а також висвітлено внесок українських вчених, зокрема досягнення Інституту технічної теплофізики НАНУ.*

***ABSTRACT:** The prospects for using hydrodynamic cavitation to intensify liquid degassing processes were analyzed. Modern research trends in this area were reviewed, leading countries in the implementation of cavitation-based degassing technologies were identified, and the contribution of Ukrainian researchers — especially the achievements of the Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine — was highlighted.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДЕГАЗАЦІЯ, ВОДОПІДГОТОВКА,
ГІДРОДИНАМІЧНА КАВІТАЦІЯ.

KEYWORDS: DEGASSING, WATER TREATMENT, HYDRODYNAMIC
CAVITATION.

Вступ. Процес дегазації рідин є важливою технологічною операцією при виробництві напоїв, соків, пива, молочних продуктів тощо. Традиційні технології часто пов'язані з втратами продукту або ж вторинним забрудненням, окрім цього, вважаються енерговитратними, а обладнання вимагає значних

виробничих площ. Застосування гідродинамічної кавітації в комплексі з традиційними технологіями дегазації може суттєво підвищити її ефективність. Результат досягається за рахунок поєднання дегазації, дезінфекції, гомогенізації та активації. Безумовною перевагою кавітації є її екологічність, енергоефективність і можливість швидкого масштабується для промислових потреб. За даними досліджень 2020–2025 років кавітаційні технології вже успішно застосовуються у вигляді гібридних систем. Наприклад, кавітація і вакуум, кавітація і плазма або різні окиснювачі для синергетичного ефекту тощо. Вчені різних країн активно вдосконалюють конструкції реакторів з оптимізацією геометрії за допомогою CFD-моделювання.

Найбільш затребувана вона у країнах з потужною харчовою, нафтопереробною та водоочисною промисловістю, де пріоритетом є енергозбереження та екологія. Лідерами за кількістю впроваджень є країни Азії (Китай, Індія, Японія), де кавітаційні технології масштабують для очистки стічних вод та біопалива і цьому активно сприяють державні програми. У США акцент на сталому водокористуванні та біопаливі для нафтопереробки та харчової галузі. В дослідженнях і пілотних проектах лідирує Європа (Німеччина, Велика Британія, Нідерланди, Італія, Словенія), зокрема, в розробках роторно-статорного обладнання.

В Україні значний теоретичний і експериментальний досвід у даному напрямку накопичено в ІТТФ НАНУ, зокрема, у водопідготовці, очистці стічних вод, для дегазації технічної та котлової води. Також у сфері водопідготовки для потреб харчової промисловості при відновленні соків з концентратів [1]. Дослідження підтверджують високу ефективність на соплах Вентурі та РПА. Використання даного обладнання відкриває шлях до імпортозаміщення в харчовій і водопідготовчій галузях, а впровадження дозволить одночасно підвищувати ефективність, знижувати витрати та мінімізувати екологічний слід, що особливо актуально для України та країн з інтенсивним промисловим

розвитком.

Література

1. Целень Б., Ободович О., Недбайло А., Гоженко Л., Радченко Н. Оптимізація процесу водопідготовки для відновлення соків за допомогою гідродинамічної кавітації. *Продовольчі ресурси*. 2024. Т. 12. №23 С. 189-198
DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-22>

UDC 665.642.26

PASSIVE RADIATIVE COOLING OF VERTICAL SURFACES

associate professor, Ph.D. DUDA Bohdan, student BILCHUK Vasyl

National Technical University of Ukraine

"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: *This work describes a promotion passive radiative cooling technology that emits heat to deep space without energy consumption and new methods of passive cooling of vertical surfaces*

KEY WORDS: *THERMAL RADIATION, PASSIVE RADIATIVE COOLING, TEMPERATURE-ADAPTIVE METASURFACE, URBAN HEAT ISLANDS*

ПАСИВНЕ ПРОМЕНЕВЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ

доцент, к.т.н. ДУДА Богдан, студент БІЛЬЧУК Василь

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

АНОТАЦІЯ: *У цій роботі описано технологію пасивного променевого охолодження, яка випромінює тепло в глибокий космос без споживання енергії, а також нові методи пасивного охолодження вертикальних поверхонь.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *ТЕПЛОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ПАСИВНЕ ПРОМЕНЕВЕ ОХОЛОДЖЕННЯ, ТЕМПЕРАТУРО-АДАПТИВНА ПОВЕРХНЯ, МІСЬКІ ТЕПЛОВІ ОСТРОВИ.*

Пасивне променеве охолодження (PRC) широко застосовується в різних технічних рішеннях для запобігання та зменшення приросту тепла, а також, для збільшення інтенсивності розсіювання тепла. Технологія розсіювання тепла

спрямована на обмін надлишковим теплом між будівлею чи приладом та поглиначем з більш низькою температурою, як-от небо, земля, вода або навколишнє повітря.

Технології пасивного променевого охолодження можуть значно зменшити потребу в енергії для кондиціонування повітря. Потенційні переваги цього методу тісно пов'язані з місцевими умовами, які конструктори мають ретельно продумати. Характеристики ґрунту, наявність водоносних горизонтів, добові коливання температури навколишнього середовища протягом усього року та рівень вологості повітря, які необхідно оцінити після впровадження заходів щодо запобігання надлишкового надходження тепла та зменшення теплопостачання.

Охолодження вертикальних поверхонь (наприклад, стін будівель) є складним завданням, оскільки вони мають обмежений «огляд» холодного неба і водночас поглинають значну кількість тепла від нагрітої землі та навколишніх об'єктів. Нещодавній прорив у галузі термофотоніки дозволив вирішити цю проблему за допомогою кутово-асиметричних випромінювачів (AS-випромінювачів) із зубчастою структурою [1-4].

Ключовими особливостями цієї технології є:

- зубчаста конструкція для спрямованого випромінювання. В основі пристрою лежить зубчаста решітка (sawtooth grating), яка порушує симетрію випромінювання тепла. Завдяки такій формі випромінювач може бути спроектований так, щоб спрямовувати теплове випромінювання переважно у бік холодного зеніту неба, ігноруючи «гарячі» потоки повітря від землі.
- багат шарова структура:
 - срібні (Ag) шари та нанопориста поліетиленова (nanoPE) плівка забезпечують надзвичайно високе відбиття сонячного світла в усьому спектрі, запобігаючи нагріванню стіни прямими променями;

- шари нітриду кремнію (SiN) відповідають за вибіркове випромінювання тепла в інфрачервоному діапазоні завдяки поверхневому фонон-поляритонному резонансу (фонон-поляритони – гібридні квазічастинки, що виникають в результаті взаємодії інфрачервоного світла і оптично активних коливань атомів (фононів) [3];

- зовнішній шар срібла - спеціально розроблений для відбивання теплового випромінювання від землі, не даючи стіні поглинати тепло знизу.

Випробування показали, що такі AS-випромінювачі здатні підтримувати температуру на 2.5 °C нижче температури навколишнього середовища навіть під прямими піковими сонячними променями. Це на 8.9 °C ефективніше, ніж використання звичайної комерційної білої фарби [1-2]. Завдяки можливості змінювати геометрію «зубців», розробники можуть адаптувати випромінювач під конкретні умови: навіть якщо стіна розташована навпроти іншої гарячої будівлі, асиметрична структура дозволяє ефективно скидати тепло повз перешкоду у космічний простір через «атмосферне вікно прозорості» (8–13 мкм).

Ця технологія здійснює «вимірний стрибок» від охолодження горизонтальних дахів до практичного застосування на вертикальних стінах, одязі та бокових панелях транспортних засобів, що може радикально змінити енергоспоживання міст.

За найбільш сприятливих умов пасивне охолодження може повністю задовольнити потреби в охолодженні будівлі і його можливо втілити за допомогою відповідного зберігання холоду та за допомогою одночасного використання кількох технологій. Такий підхід стає можливим завдяки комплексному проектуванню будівлі.

Використані джерела:

1. Temperature-adaptive metasurface radiative cooling device with excellent emittance and low solar absorptance for dynamic thermal regulation and low solar absorptance for dynamic thermal regulation.

[Temperature-adaptive metasurface radiative cooling device with excellent emittance and low solar absorptance for dynamic thermal regulation](#)

2. Metasurfaces for Future Applications to Passive Radiative Cooling.

[Metasurfaces for Future Applications to Passive Radiative Cooling](#)

3. Phase-transition metamaterial smart window for radiative cooling and privacy protection.

[Phase-transition metamaterial smart window for radiative cooling and privacy protection](#)

4. Герасимов Олег Іванович. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища: навчальний посіб. / Одеськ. держ. екол. ун-т. Одеса: ТЕС, 2018. 228

UDC 66.047; 544.421

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE TRANSITION OF BISCHOFITE HYDRATE FORMS UNDER THERMORADIATIVE HEATING

PhD student Filipov V.V., PhD, Associate Professor Novokhat O.A.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract: *The influence of temperature on the change in the hydrate form of bischofite during dehydration under infrared heating is considered. Based on the experimentally determined dehydration degree, the current number of crystallization water molecules in the salt was calculated and the sequential transition from hexahydrate to lower hydrates was traced. It is shown that at 70 °C the process is limited mainly to the hexahydrate-pentahydrate range, at 90-100 °C tetrahydrate becomes attainable, and at 110 °C the composition of the material approaches a mixture of tetrahydrate and trihydrate. The obtained results substantiate the expediency of stepwise temperature control for obtaining the required hydrate form of magnesium chloride.*

Keywords: bischofite, magnesium chloride hydrates, temperature, dehydration degree, infrared heating.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ПЕРЕХІД ГІДРАТНИХ ФОРМ БІШОФІТУ ПРИ ТЕРМОРАДІАЦІЙНОМУ НАГРІВАННІ

Аспірант Філіпов В.В., к.т.н., доцент Новохат О.А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *Розглянуто вплив температури на зміну гідратної форми бішофіту під час його дегідратації за інфрачервоного нагрівання. На основі експериментально визначеного ступеня дегідратації розраховано поточну кількість молекул кристалізаційної води у солі та простежено послідовний*

перехід від гексагідрату до нижчих гідратів. Показано, що за 70 °C процес обмежується переважно областю гексагідрату-пентагідрату, за 90-100 °C стає досяжним тетрагідрат, а за 110 °C склад матеріалу наближається до суміші тетрагідрату і тригідрату. Отримані результати обґрунтовують доцільність ступінчастого керування температурним режимом для одержання заданої гідратної форми хлориду магнію.

Ключові слова: бішофіт, гідрати хлориду магнію, температура, ступінь дегідратації, інфрачервоне нагрівання.

One of the most important practical tasks in thermal treatment of bischofite is not only the overall reduction of moisture content but also control of the current chemical form of the magnesium chloride hydrate. This is due to the fact that different hydrate forms are characterized by different stability, bulk density, tendency to cake, and technological suitability for further processing. Therefore, during dehydration it is important to control not only the rate of the process but also the boundaries of transition between individual hydrates.

In this study, the current number of crystallization water molecules n was determined on the basis of the experimental dehydration degree. This approach made it possible to directly relate mass losses to the transition from $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ to lower hydrates. Under insufficient thermal action, the dehydration rate decreases before the next lower hydrate is reached, whereas with increasing temperature the transition zone shifts toward tetrahydrate and then toward trihydrate.

It was established that at 70 °C the final composition of bischofite corresponds predominantly to a mixture of $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{MgCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. At 90 and 100 °C the material enters the pentahydrate-tetrahydrate range, while at 110 °C the average composition approaches a mixture of $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ and $\text{MgCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Such results indicate that increasing temperature not only accelerates the process but also changes the attainable final hydrate state within the same treatment time.

The obtained results are of practical importance for developing stepwise heating modes. At the initial stage, more intensive heat supply may be advisable to ensure rapid passage through the region of higher hydrates. After the required hydrate structure has been reached, the temperature can be lowered in order to reduce the risk of further transition to less stable forms and to obtain a more uniform composition throughout the bulk of the material.

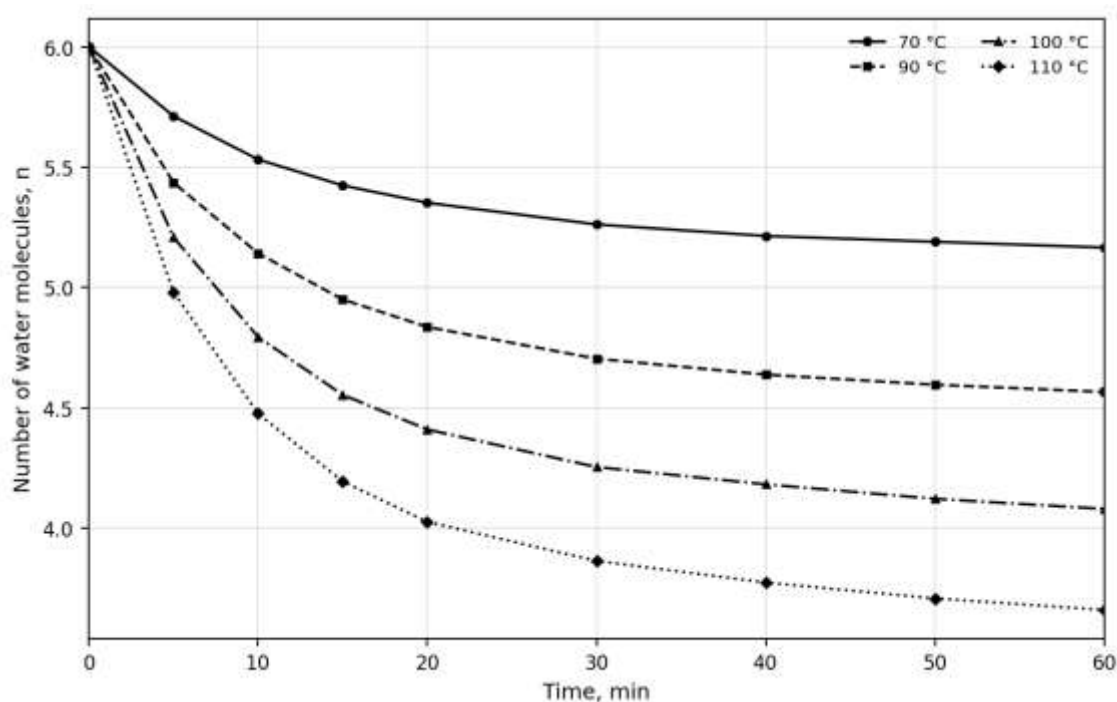


Figure 1. Generalized curves of changes in the number of crystallization water molecules in bischofite at different temperatures

It should also be taken into account that excessive deepening of dehydration at high temperatures may be accompanied by undesirable side effects, in particular hydrolysis of magnesium chloride at lower stages of hydration. Therefore, control of temperature and process duration is a determining factor in obtaining the target hydrate form with minimal quality losses. Hence, analysis of transitions between hydrates makes it possible to reasonably select conditions for bischofite dehydration in technological practice.

References

1. Marchevskiy V. M., Novokhat O. A., Filipov V. V. Kinetic regularities of bischofite drying by infrared radiation. Proceedings of the Dmytro Motorny Tavsria State Agrotechnological University. 2025. 25(1). P. 21-29.
2. Xu J., Li T. X., Yan T., Chao J., Wang R. Dehydration kinetics and thermodynamics of magnesium chloride hexahydrate for thermal energy storage. Solar Energy Materials and Solar Cells. 2020. Vol. 219. Article 110819.
3. Sugimoto K., Dinnebier R. E., Hanson J. C. Structures of three dehydration products of bischofite from in situ synchrotron powder diffraction data ($\text{MgCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; $n = 1, 2, 4$). Acta Crystallographica Section B. 2007. B63. P. 235-242.

УДК 66.063

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СОНЦЕЗАХИСНОГО КРЕМУ З РОЗРОБКОЮ ПЕРЕМІШУВАЧА

студент Хукаленко І. О., асистент Косенко В.В.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: В даній роботі досліджено та проаналізовано конструкцію реактора-змішувача за патентом CN 121695757 A, виявлено переваги та недоліки конструкції та запропоновано власний варіант модернізації, що усуває ключовий гідродинамічний недолік базової конструкції.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕАКТОР-ЗМІШУВАЧ, ВІДБИВАЛЬНІ ПЕРЕГОРОДКИ, ЕМУЛЬСІЯ W/O, ПЕРЕМІШУВАННЯ, ЦЕНТРАЛЬНИЙ ВИХОР, АЕРАЦІЯ, ДИСПЕРГУВАННЯ.

У реакторах-змішувачах для виробництва косметичних емульсій мішалка забезпечує диспергування фаз та рівномірний розподіл активних компонентів. Від гідродинамічних умов в апараті критично залежить стабільність емульсії W/O та однорідність розподілу мінеральних УФ-фільтрів ZnO та TiO₂. Тож дослідження конструкції перемішувача є актуальним.



Рисунок 1 - Конструкція перемішувача за патентом CN121695757A[1]

У запропонованій конструкції (рис. 1) апарат являє собою вертикальний циліндричний корпус із конічним днищем та двоярусною мішалкою. Верхня лопать осьового типу забезпечує загальну циркуляцію вмісту, нижня лопать радіального типу розташована у конічній зоні та підіймає осад твердих частинок до штуцера зовнішнього циркуляційного насоса, який здійснює інтенсивне руйнування агломератів у замкнутому циклі.

Переваги конструкції:

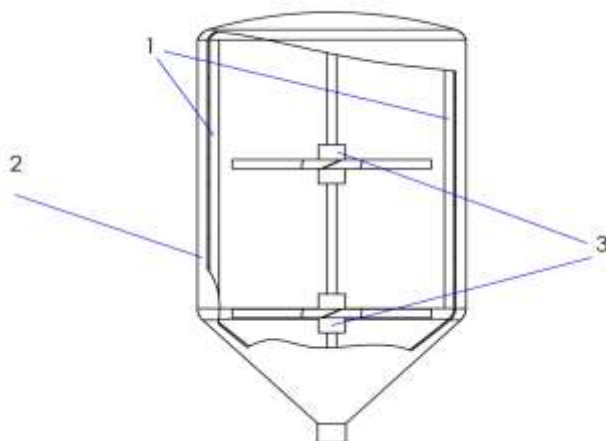
- ефективного подрібнення агломератів частинок завдяки зовнішньому зсувному насосу;
- підняття осаду з конічного дна нижньою радіальною лопаттю без застійних зон у конічній частині;
- скорочення технологічного ланцюга — відсутність стадії вологого кульового помелу.

Недоліки конструкції:

- відсутність відбивальних перегородок призводить до того, що рідина обертається разом із мішалкою як єдине ціле, а корисна потужність перемішування різко знижується;
- утворюється стійкий центральний вихор, через який в апарат захоплюється повітря — мікропухирці адсорбуються на частинках ZnO та TiO₂ і спричиняють розшарування емульсії;
- наявність застійних зон поблизу стінки корпусу призводить до нерівномірного розподілу УФ-фільтрів у готовому продукті.

Модернізація:

Відсутність перегородок у циліндричній частині є гідродинамічним недоліком.



1 — Перегородки; 2 — Корпус; 3 — Перемішувач

Рисунок 2 — Запропонований варіант модернізації реактора з додаванням перегородок

Пропонується встановлення чотирьох стаціонарних вертикальних відбивальних перегородок на внутрішній поверхні циліндричної обичайки реактора. Перегородки розміщуються рівномірно через 90° та приварюються до циліндричної секції, не заходячи у конічне днище. Тангенціальний потік, наштовхуючись на перегородки, трансформується в турбулентний радіально-осьовий рух, що усуває вихор та забезпечує рівномірне диспергування. Конічне днище залишається без перегородок, що зберігає функцію нижньої лопаті та штуцера насоса.

Переваги конструкції:

- усунення центрального вихору та запобігання захопленню повітря, що стабілізує емульсію W/O;
- рівномірне диспергування ZnO та TiO₂ по всьому об'єму без зон седиментації;

Недоліки конструкції:

- невелике ускладнення промивання внутрішніх поверхонь апарата;

- незначне зростання споживаної потужності приводного двигуна.

Використані джерела:

1. PatentCN121695757A. URL:

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/099075109/publication/CN121695757A?q=CN121695757A>

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАВНОКИ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛБЕНЗОЛУ З РОЗРОБКОЮ ДЕФЛЕГМАТОРА

студент Пергат М.С., доцент, к.т.н. Гулієнко С. В.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: Розглянуто модернізацію дефлегматора установки виробництва етилбензолу з метою інтенсифікації теплообміну. Запропоновано використання ступінчастого охолодження, структурованої дренажної поверхні та елементів турбулізації потоку, що забезпечує зменшення товщини плівки конденсату, підвищення коефіцієнта теплопередачі та енергоефективності процесу.

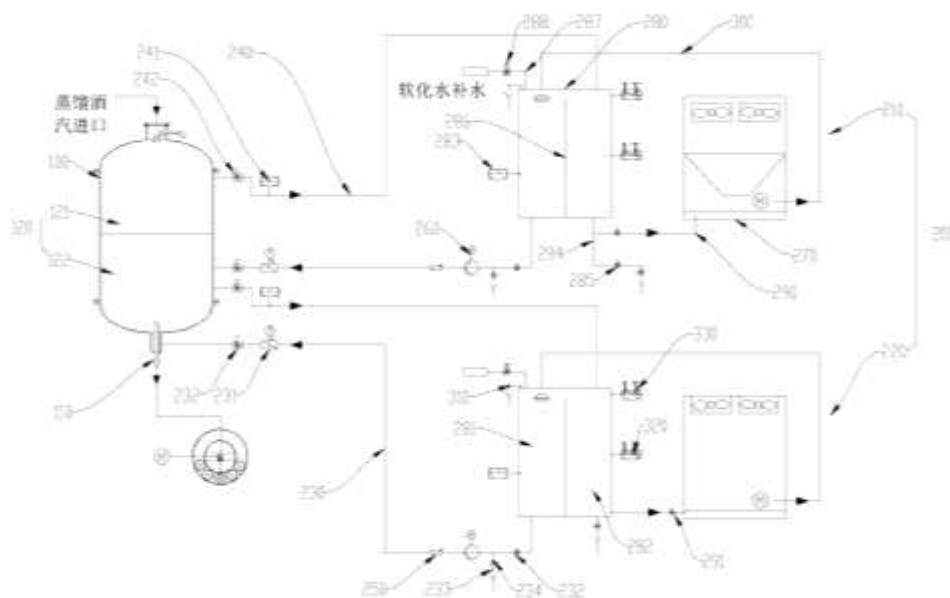
КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДЕФЛЕГМАТОР, ЕТИЛБЕНЗОЛ, ТЕПЛООБМІН, КОНДЕНСАЦІЯ, СТУПІНЧАСТЕ ОХОЛОДЖЕННЯ, ДРЕНАЖНА ПОВЕРХНЯ, МІКРОКАНАЛИ, ТУРБУЛІЗАЦІЯ ПОТОКУ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

Метою даної роботи є аналіз сучасних конструкцій дефлегматорів та розробка ефективної конструкції апарата для установки виробництва етилбензолу.

Запропонований винахід [1] відноситься до систем конденсації пари з інтенсифікацією теплообміну та керованим відведенням конденсату. Він являє собою теплообмінну систему, до складу якої входить конденсатор (100) та кілька незалежних контурів охолодження (200), що забезпечують поетапне зниження температури вздовж каналу конденсації.

Принцип роботи системи полягає в тому, що пара надходить у верхню частину каналу конденсації (120), де при контакті з охолодженою поверхнею починається процес конденсації з утворенням тонкої рідинної плівки. У міру руху парорідинного потоку вздовж каналу (120) температура поступово знижується завдяки роботі послідовних зон охолодження (121), що формують

ступінчастий температурний профіль. При цьому кожна наступна зона має нижчу температуру, ніж попередня, що дозволяє уникнути різких термічних перепадів і стабілізувати процес теплообміну.



100 – конденсатор, 120 – канал конденсації, 121 – зона охолодження, 122 – дренажна структура, 200 – контур охолодження, 230 – вхідна труба, 240 – зворотна труба, 250 – зворотний клапан, 260 – водяний насос, 270 – холодильний агрегат, 231 – вхідний регулювальний клапан, 241 – перший термометр, 280 – резервуар для зберігання води, 281 – холодна зона резервуара, 282 – гаряча зона резервуара, 290 – трубопровід подачі води, 300 – трубопровід відведення води

Рисунок 1 – Система конденсації пари

Конденсат, що утворюється на внутрішній поверхні, під дією сил поверхневого натягу перерозподіляється у дренажну структуру (122), де формуються локалізовані потоки рідини. Ці потоки рухаються вниз під дією сили тяжіння, що призводить до зменшення товщини рідинної плівки на основній теплопередавальній поверхні та зниження термічного опору. Таким чином у системі одночасно реалізується інтенсифікована конденсація та ефективне відведення конденсату.

Модернізація полягає у двох ключових рішеннях:

- Ступінчасте охолодження по зонах (121). Замість рівномірного охолодження реалізовано послідовне зниження температури вздовж каналу (120), що дозволяє уникнути різких термічних навантажень і підвищити стабільність конденсації.

- Структурована дренажна поверхня (122). Внутрішня поверхня каналу виконана з мікроканалами, які організують рух конденсату та руйнують суцільну плівку, зменшуючи термічний опір.

У сукупності це забезпечує керовану двофазну гідродинаміку (пара-рідина) та інтенсифікацію теплообміну.

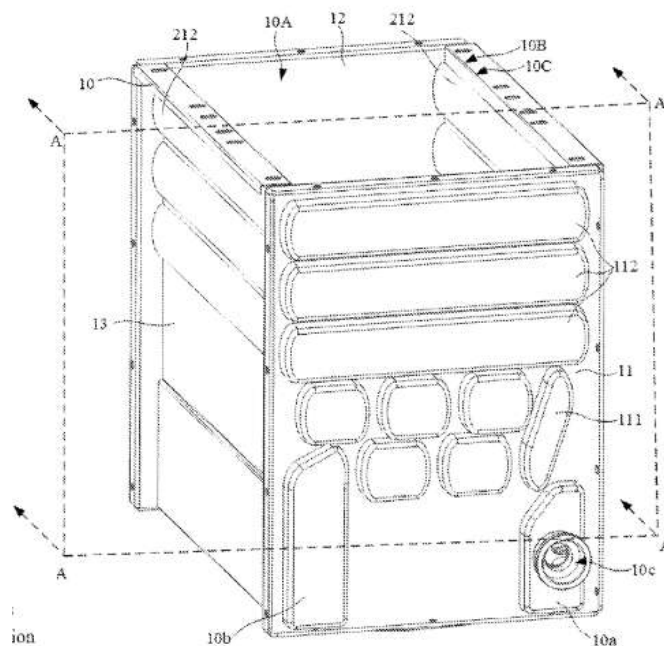
Винахід [2] відноситься до теплообмінних апаратів з удосконаленою внутрішньою гідродинамічною структурою та модульною організацією корпусу. Основна мета полягає у підвищенні інтенсивності теплопередачі, вирівнюванні розподілу потоків та зменшенні гідравлічних втрат за рахунок внутрішньої організації руху теплоносіїв і багатосекційного виконання корпусу.

У середині корпусу (10) розташовано розподільний вузол (11), який виконує функцію рівномірного поділу потоку робочого середовища та його направлення у відповідні канали теплообміну. Далі середовище надходить у систему внутрішніх каналів (12), де безпосередньо реалізується основний процес теплопередачі між двома робочими середовищами.

Подача одного з теплоносіїв здійснюється через вхідний колектор (13), який забезпечує рівномірний розподіл потоку по робочих каналах (12) та зменшує нерівномірність гідродинамічного навантаження.

У структурі теплообмінника передбачено внутрішній направляючий або розподільний елемент (111), який формує локальні зони руху потоку, підвищує його турбулентність та сприяє інтенсифікації теплопередачі за рахунок руйнування ламінарних шарів.

Також у конструкції передбачено елемент (212), який виконує функцію перерозподілу або стабілізації потоку на вихідних ділянках системи. Він забезпечує вирівнювання швидкостей руху середовища та зменшує локальні гідравлічні нерівномірності.



10 – корпус теплообмінника, 10А – перша секція корпусу, 10В – друга секція корпусу, 10С – третя секція корпусу, 11 – розподільний вузол, 12 – система внутрішніх каналів теплообміну, 13 – вхідний колектор, 111 – внутрішній направляючий (турбулізуючий) елемент, 212 – елемент стабілізації та перерозподілу потоку

Рисунок 2 - Теплообмінний апарат з удосконаленою внутрішньою гідродинамічною структурою та модульною організацією корпусу

Під час роботи теплообмінника робочі середовища рухаються через систему каналів (12), де відбувається інтенсивний теплообмін через розвинену поверхню. Завдяки направляючим елементам (111) потік набуває складнішої траєкторії руху, що збільшує час контакту між середовищами та підвищує

ефективність теплопередачі. Після проходження зони теплообміну потоки стабілізуються елементом (212) і відводяться з апарата.

Модернізація теплообмінника полягає у переході від традиційної одноконтурної або слабо структурованої схеми руху теплоносія до модульної багатосекційної конструкції з керованою внутрішньою гідродинамікою.

Модернізована конструкція забезпечує підвищення коефіцієнта теплопередачі за рахунок інтенсифікації конвективних процесів у внутрішніх каналах. Завдяки модульному виконанню корпусу покращується рівномірність розподілу температури та зменшується ризик локальних перегрівів або недоохолодження. Використання турбулізуючого елемента дозволяє підвищити інтенсивність теплообміну без суттєвого збільшення габаритів апарата. Стабілізатор потоку забезпечує більш рівні гідродинамічні умови на виході, що позитивно впливає на роботу наступних елементів технологічної системи. Також конструкція має можливість масштабування за рахунок додавання або скорочення секцій, що підвищує універсальність застосування.

Винахід [3] відноситься до теплообмінних апаратів з випарним (varor cooling) принципом охолодження, у яких підвищення інтенсивності теплопередачі досягається за рахунок поєднання фазового переходу робочого середовища та керованої організації потоків у внутрішній структурі теплообмінника. Основною метою є підвищення ефективності охолодження, стабілізація випарного процесу та зменшення теплових втрат у межах робочого об'єму.

Конструктивно теплообмінник містить корпус (100), який формує зовнішній простір апарата та слугує основою для розміщення всіх внутрішніх функціональних елементів. У верхній або вхідній частині системи розташовано вхідний розподільний вузол (101), через який робоче середовище подається у теплообмінник і рівномірно розподіляється по внутрішніх каналах. Далі потік надходить у випарну теплообмінну зону (102), яка є основною активною

Загальний теплообмінний процес реалізується в межах основного модуля (110), який об'єднує всі ключові функціональні зони та забезпечує безперервність теплопередачі. Додатково в системі передбачено зовнішній теплообмінний або допоміжний охолоджувальний контур (150), який забезпечує підтримання необхідного температурного режиму та підвищує стабільність роботи пристрою.

Суть модернізації полягає у створенні багатозонної структури теплообмінника, в якій послідовно реалізуються етапи розподілу потоку, випаровування, інтенсифікації теплообміну та стабілізації вихідного середовища. Використання випарної зони (102) дозволяє суттєво підвищити інтенсивність теплопоглинання за рахунок фазового переходу, тоді як елементи (104) та (105) забезпечують керовану турбулізацію та вирівнювання потоку, що знижує гідродинамічні втрати та підвищує загальну ефективність системи.

Аналіз існуючих конструкцій дозволяє визначити основні напрямки їх модернізації, спрямовані на інтенсифікацію тепло- і масообміну, зниження енергетичних витрат та підвищення надійності роботи апарата.

Список літератури

1. Condensation system : CN121702186A ; опубл. 2026. – Режим доступу:

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/099066684/publication/CN121702186A> (дата звернення 20.04.2026).

2. Heat exchanger production improvement : US20260098693A1 ; опубл. 2026. – Режим доступу:

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/099315192/publication/US20260098693A1> (дата звернення 20.04.2026).

3. Vapor cooling heat exchanger : US20260102734A1 ; опубл. 2026. – Режим доступу:

<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/099437762/publication/US20260102734A1> (дата звернення 20.04.2026).

UDC 665.7

**MODERNIZATION OF A LUBRICANT PRODUCTION PLANT WITH THE
DEVELOPMENT OF AN EVAPORATION COLUMN AND STEAM
GENERATOR**

Student Ponomarev O.O., Assoc. Prof., Ph.D. Stepaniuk A.R.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Annotation: *The areas of modernization for the lubricant production plant and proposes the modernization of the steam generator to produce steam for the stripping column are described.*

Keywords: RECTIFICATION, OIL, EVAPORATOR, STEAM GENERATOR, MASS EXCHANGE, HEAT EXCHANGE.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА МАСТИЛА З
РОЗРОБКОЮ ВІДПАРНОЇ КОЛОНИ ТА ПАРОГЕНЕРАТОРА**

Студент Пономарьов О.О., доц., к.т.н. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: *В даній роботі описано напрями модернізації установки виробництва мастила, запропоновано модернізацію парогенератора для створення водяної пари для відпарної колони.*

Ключові слова: РЕКТИФІКАЦІЯ, МАСТИЛО, ВІДПАРНА КОЛОНА, ПАРОГЕНЕРАТОР, МАСООБМІН, ТЕПЛООБМІН.

Lubricants are a class of refined petroleum products used to reduce friction and wear of mechanical parts, protect against corrosion, and ensure reliable operation of machines, increasing their durability and efficiency. They can be divided by consistency: more liquid (oils) and more plastic and thick (greases), which are better retained in the friction zone and can perform a sealing function. Compared to most fractions of crude oil (except fuel oil and asphaltenes), they have a high boiling point (350-575°C). [1]

After the stage of removing phenol and cresol from the oil in the stripping column, the product, along with a small amount of water, is fed into a centrifuge, where phase separation occurs. The separated water is then directed to a steam generator, where it is converted into steam by the application of heat and recirculated back to the stripping column.

Water enters the tube space of the steam generator at a pressure of approximately 0.3 MPa and a temperature of 130–140 °C. The water flow moves inside the tubes of the tube bundle and transfers heat to the water in the intertube space, causing it to evaporate. However, at relatively low flow rates of the heat transfer fluid inside the tubes, laminar flow may develop.

In laminar flow, the fluid moves in ordered layers without significant cross-flow mixing. At the same time, a thin hydrodynamic and thermal boundary layer forms directly adjacent to the pipe wall, within which the flow velocity drops sharply to practically zero. Since the thermal conductivity of water is relatively low, heat transfer through this layer occurs primarily due to molecular heat conduction, which significantly limits the intensity of heat exchange. As a result, the heat transfer coefficient decreases, and the efficiency of the steam generator deteriorates.

In the master's thesis titled "Modernization of a Lubricant Production Plant with the Development of an Evaporation Column and a Steam Generator," an improvement to the steam generator's tube bundle is proposed by installing a metal helical spring inside each tube, as shown in Figure 1.1.



Figure 1.1 – Spring in a steam generator tube bundle

The proposed improvement increases the heat transfer coefficient by disrupting the steady laminar layer. A simplified two-dimensional diagram of the spring, shown in Figure 1.2, is presented below.



Figure 1.2 – Simplified 2D diagram of the spring's arrangement

The spring installed inside the pipe, as shown in the diagram, acts as a flow turbulator. As water flows through the pipe, the coils of the spring create local obstacles that disrupt the orderly flow of the fluid. The flow begins to change direction, swirl, and mix in the transverse direction. As a result, local vortices and

secondary flows arise, which destroy or significantly reduce the thickness of the laminar boundary layer near the pipe surface. In other words, the presence of the spring increases hydrodynamic disturbances and effectively transforms the flow from laminar to more turbulent, even at relatively low fluid velocities. This allows for a significant increase in the heat transfer coefficient without a substantial increase in the unit's dimensions.

List of links

1. Shved, M. P., Stepaniuk, A. R., & Shved, D. M. (2022). Innovative technologies for deep processing of organic materials: lecture notes.
2. Patent of Ukraine UA124245 IPC B01D 3/00 published 26.03.2018 Bull. No. 6;
3. Patent of Ukraine UA135945 IPC B01D 3/14 published 25.07.2019, Bull. No. 14.
4. Patent No. 121124 (UA), MPK 2006.01 F22B 1/02 .. Steam generator with a horizontal bundle of heat exchange tubes/ Lakhov Dmitry Alexandrovich, Safronov Oleksiy Volodymyrovych;; Application No. a201707374, 11/16/2015; Publ. 10/04/2020, Bull. No. 7
5. Nyshuk M.P. / Modernization of the stripping distillation column for contact cleaning of oils // Nyshuk M.P., Stepaniuk A.R. XIV All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Equipment of chemical production and enterprises of building materials". (Kyiv, April 15-16, 2014) collection of abstracts. add. K.: Publishing house of UVOI "Dopomoga" UCI" 2014.
6. Collection of abstracts of the XX International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists "Resource-Energy-Saving Technologies and Equipment" (April 28-29, 2021, Kyiv) / Compiled by Ya.M. Kornienko. – Kyiv: "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2021. – 240 p.

УДК 66.099.2:631.8

REVIEW OF EQUIPMENT FOR GRANULATION OF ORGANO-MINERAL FERTILIZERS

Капука О. Д., PhD Haidai S. S.

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

***ABSTRACT:** The results of a patent search for equipment and methods for the granulation of organo-mineral fertilizers are presented. Various types of apparatus, such as fluidized bed granulators, roller extruders, are considered.*

KEYWORDS: GRANULATION, ORGANO-MINERAL FERTILIZERS, FLUIDIZED BED.

ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГРАНУЛЮВАННЯ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Капука О. Д., Гайдай С. С.

Національний технічний університет України

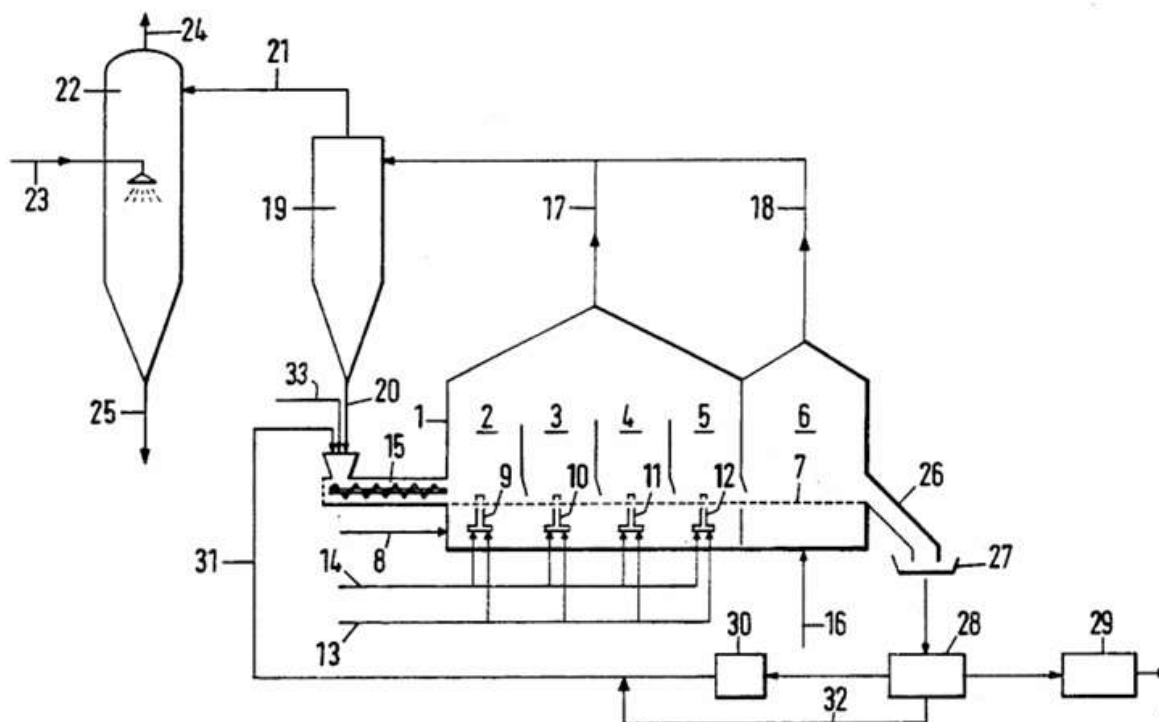
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

***АНОТАЦІЯ:** Представлено результати патентного пошуку апаратів та способів гранулювання органо-мінеральних добрив. Розглянуто різні типи апаратів: від систем псевдозрідженого шару до валкових екструдерів.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГРАНУЛЮВАННЯ, ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНІ ДОБРИВА, ПСЕВДОЗРІДЖЕНИЙ ШАР.

Currently, there are many devices and methods for granulating organo-mineral fertilizers. A patent search has identified several types of devices that can be used to facilitate the granulation process and produce a finished product of a specified shape.

A design for a fluidized-bed apparatus for producing fertilizer granules is proposed in Patent [1] and shown in Figure 1.



1 – granulation chamber; 2 – liquid-phase pipeline; 3 – pump; 4 – spray nozzles; 5 – fluidized bed; 6 – air supply line; 7 – overflow partition; 8 – discharge pipe; 9 – exhaust air outlet; 10 – cyclone; 11 – dust return line; 12 – exhaust fan; 13 – heater; 14 – blower; 15 – slurry tank; 16 – dosing unit; 17 – belt conveyor; 18 – elevator; 19 – return feeder; 20 – seed hopper; 21 – vibrating screen; 22 – product fraction outlet; 23 – crusher; 24 – coarse fraction return line; 25 – finished product hopper; 26 – cooler; 27 – cooler fan; 28 – gate valve; 29 – flow meter; 30 – temperature sensor; 31 – heat exchanger; 32 – control system.

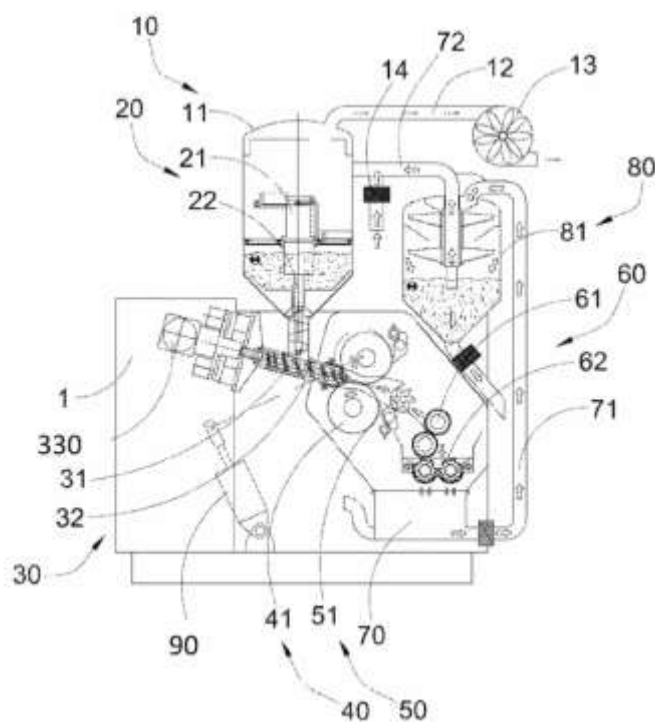
Figure 1. Schematic of a fluidized bed granulation unit [1].

The apparatus is a complex system consisting of a granulation chamber 1, into which air is supplied via a feed line 6 to create a fluidized bed 5. The liquid phase is fed through pipeline 2 to a system of spray nozzles 4, which uniformly spray the solid seed particles (return material) suspended in the fluidized bed. Exhaust air, together with fine dust, exits through the upper pipe 9 and enters the cyclone 10, where the dust settles and is returned to the process via the return line 11. The purified air is extracted by fan 12. To maintain the temperature regime, the air is heated in the heater 13. The

finished product is discharged through pipe 8, passes through screen 21, where it is separated into the marketable fraction (sent to warehouse 25) and large agglomerates, which are directed to crusher 23 and returned to the granulator.

The advantage of this apparatus is the high intensity of heat and mass transfer, which allows for the combination of granulation and drying. However, when working with viscous organo-mineral mixtures, there is a significant risk of clogging in the working zone and the formation of agglomerates.

The design of the dry roller granulator according to Patent [2] is shown in Figure 2.



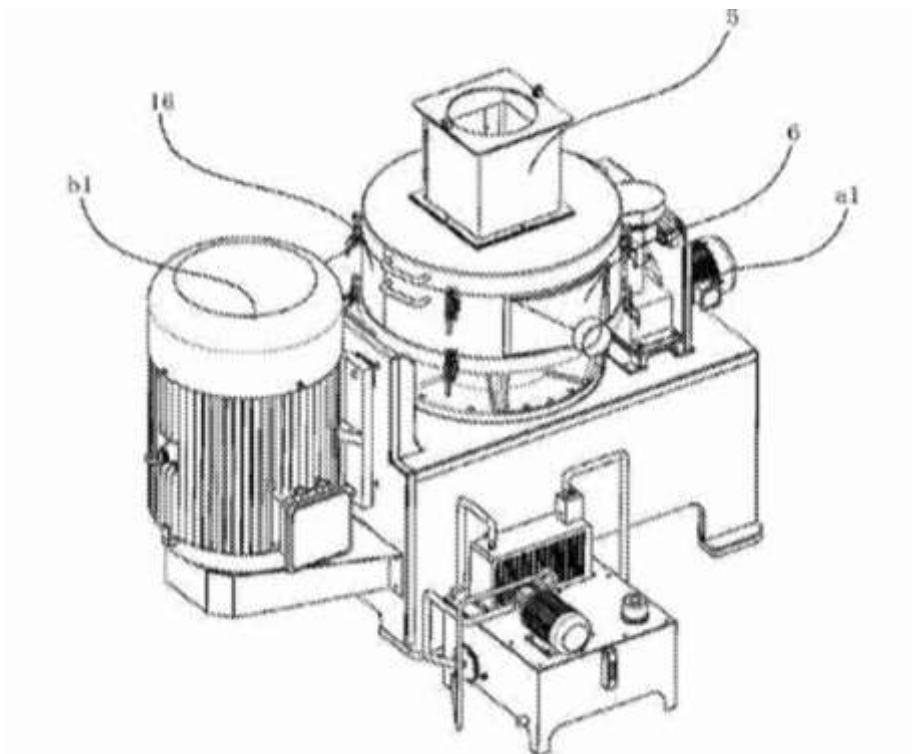
1 – main housing; 10 – front base; 11 – support frame; 12 – bearing assembly; 13 – drive shaft; 14 – driven shaft; 20 – rear base; 21 – rear support; 22 – support plate; 30 – pressure wheel adjuster; 31 – hydraulic cylinder; 32 – spring assembly; 40 – feed mechanism; 41 – hopper; 50 – granulation mechanism; 51 – press roller; 60 – grinding mechanism; 61 – grinder blades; 62 – screen; 70 – transmission; 71 – gear wheel; 72 – coupling; 80 – discharge chute; 81 – outlet; 90 – motor; 330 – cooling channel.

Figure 2. Dry roller granulator [2].

The apparatus is based on a robust frame 1, which comprises a front base 10 and a rear base 20. The material is fed through a feeding device (feeder) 40 with a hopper 41, where the raw material is pre-compacted. The granulation process takes place in device 50 between the press rollers 51. Mechanism 30, which contains a hydraulic cylinder 31 and a spring assembly 32, is used to regulate the compression force. After pressing, the compressed slab enters the crushing device 60 with blades 61, where it is broken into granules that pass through a screen 62 and are discharged through a chute 80. The movement of the working parts is provided by motor 90 via transmission 70.

The advantage of the apparatus lies in the absence of a need for moistening and subsequent drying of the material. The main drawback is the rapid wear of the rollers 51 and high energy consumption.

The biomass pelletizer with a ring die, as described in Patent [3], is shown in Figure 3.



5 – feed opening; 6 – discharge port; 16 – main shaft;
a1 – ring die opening; b1 – roller bearing.

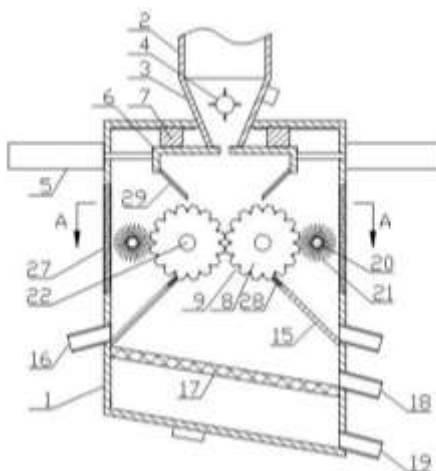
Figure 3. Biomass pelletizer with a ring die [3].

The machine contains a rotating main shaft 16, which drives the working components. The raw material is fed through the feed opening 5 and forced through the special openings a1 of the ring die by rollers with bearings b1. The finished granules (pellets) are cut off and discharged through the discharge port 6.

The machine is ideal for fibrous organic materials, but has the drawback of significant material heating due to friction in the a1 openings.

The roller granulation device for complex fertilizers, as described in Patent [4], is shown in Figure 4. The apparatus consists of a housing 1, on which a hopper 2 with a mixer 3 is mounted. The feed of raw materials is regulated by a pneumatic cylinder 4, whose rod 5 moves an L-shaped gate 6, opening the opening 7. Pellet formation occurs between the extrusion rollers 8 in hemispherical chambers 9. The apparatus is equipped with a protective screen 15. The finished product is classified on a vibrating screen 17: qualified granules exit through pipe 18, while fine dust is discharged through pipe 19. Brushes 21 are mounted on shafts 20 to clean the rollers. 22 – rotating shaft; 27 – motor; 28 – gear; 29 – spring.

The advantage is the production of spherical granules. The disadvantage is the possibility of material sticking in the cells 9, despite the presence of brushes 21.

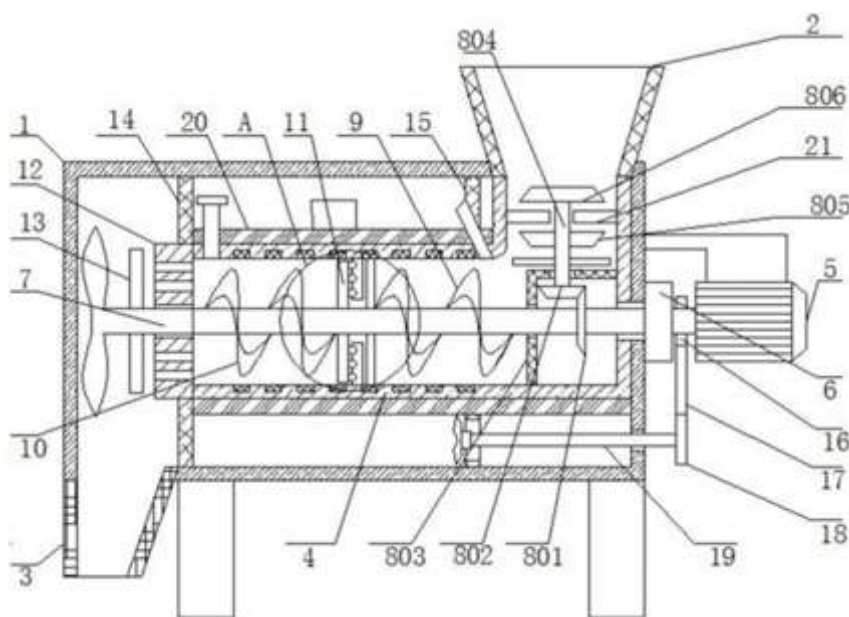


1 – housing; 2 – hopper; 3 – agitator; 4 – pneumatic cylinder; 5 – piston rod; 6 – L-shaped valve; 7 – feed opening; 8 – extrusion roller; 9 – hemispherical cell; 15 – protective screen; 16 – support frame; 17 – vibrating screen; 18 – product discharge pipe; 19 – dust extraction pipe; 20 – round shaft; 21 – cleaning brush; 22 – rotating shaft; 27 – motor; 28 – gear; 29 – spring.

Figure 4. Roller device for extrusion granulation of fertilizers [4].

The extrusion granulator for recycled materials, as described in Patent [5], is shown in Figure 5. The apparatus comprises a granulation chamber 1 with a feed opening 2, mounted on supports 3. The material is conveyed through the extrusion cylinder 4 by a shaft 7. The drive is provided by a motor 5 via a gearbox 6 and a gear system 8, 9. To heat the raw material, the cylinder is equipped with a heating jacket 20. After passing through the die 14, the pellets are cut off by a knife 15, cooled in a bath 17 (water circulation is provided by pump 18), and discharged through opening 19. The apparatus also has a built-in pre-grinding unit, where a rotating shaft 804 with a connecting rod 803 and bevel gears 801, 802 drives knives 805 and 806.

The advantage is the effective combination of the grinding and granulation processes. The disadvantage is the high energy consumption required to operate the heating jacket 20.



- 1 – granulation chamber; 2 – feed opening; 3 – support; 4 – extrusion cylinder;
5 – motor; 6 – gearbox; 7 – shaft; 8 – first gear; 9 – second gear; 10 – rotating rod;
11 – blade; 12 – bearing; 13 – heater; 14 – die; 15 – cutting blade; 16 – fan;
17 – cooling bath; 18 – water pump; 19 – discharge port; 20 – heating jacket;
21 – control panel; 801 – first bevel gear; 802 – second bevel gear; 803 – connecting
rod; 804 – rotating shaft; 805 – first grinding blade; 806 – second grinding blade.

Figure 5. Extrusion granulator for recycled materials [5].

CONCLUSIONS:

Based on the results of the patent analysis, it has been determined that a fluidized-bed apparatus design is the most promising for the granulation of organo-mineral fertilizers. This type of equipment provides the best conditions for the simultaneous formation and drying of the product.

REFERENCES:

1. Patent US5120345, МПК C05C 9/00; C05G 3/00. PROCESS FOR PRODUCING FERTILIZER GRANULES. Kayaert A. F., Cardon W.; Norsk Hydro AS. Application: 07/627,615 – 1990-12-11. Publication: 1992-06-09.

2. Patent US9827571B2, МПК B01J 2/22; B30B 11/16. DRY GRANULATOR. Deping Lin; Zhejiang Future Machinery Co., Ltd. Application: 14/711,723 – 2015-05-13. Publication: 2017-11-28.

3. Patent US10857513B2, МПК B01J 2/22; B27N 5/00. BIOMASS GRANULATOR. Liang N., Ruan J., Xiao K. et al.; Anhui Dingliang Technology Energy Co., Ltd. Application: 15/951,192 – 2018-04-12. Publication: 2020-12-08.

4. Patent CN213467727U, МПК B01J 2/22. Roller extrusion granulation device for compound fertilizer. Kunming Honghai Phosphate Fertilizer Co., Ltd. Application: 202022347586.2 – 2020-10-20. Publication: 2021-06-18.

5. Patent CN109016222B, МПК B29B 9/06. Waste plastic recycling granulator for environmental protection). Yutai Fenglu Renewable Resources Co., Ltd. Application: 201810852371.0 – 2018-07-30. Publication: 2018-12-18.

УДК 66.045.1:66.074:662.767.2

REVIEW OF HEAT EXCHANGER DESIGNS FOR BIOGAS PURIFICATION PLANT

Koren D. O., Haidai S. S.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

***ABSTRACT:** The paper considers the modernization of a biogas purification unit through the improvement of a shell-and-tube heat exchanger. The proposed method of flow intensification using guide baffles allows to increase thermal efficiency, reduce energy consumption and improve the stability of the temperature regime. The results of the modernization provide increased productivity and reliability of the unit.*

***KEYWORDS:** BIOGAS, HEAT EXCHANGER, SHELL ANDTUBE, INTENSIFICATION, GUIDE BALLS, HEAT EXCHANGE EFFICIENCY.*

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТЕПЛОБМІННИКІВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ БІОГАЗУ

Корень Д. О., Гайдай С. С.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

***АНОТАЦІЯ:** У роботі розглянуто модернізацію установки очищення біогазу через вдосконалення кожухотрубного теплообмінника. Запропонований метод інтенсифікації потоків за допомогою направляючих перегородок дозволяє підвищити теплову ефективність, знизити енергетичні витрати та*

покращити стабільність температурного режиму. Результати модернізації забезпечують підвищену продуктивність та надійність роботи установки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *БІОГАЗ, ТЕПЛООБМІННИК, КОЖУХОТРУБНИЙ, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ, НАПРАВЛЯЮЧІ ПЕРЕГОРОДКИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ.*

In modern technologies for processing organic waste, biogas is considered an important renewable energy source suitable for use in cogeneration plants, internal combustion engines and for the production of heat and electricity. Biogas contains a significant amount of impurities (primarily CO₂, H₂S and water vapor), which must be removed to ensure stable operation of the equipment and minimize corrosion processes. The efficiency of the processes of drying, cooling and purification of biogas depends significantly on the quality of heat exchange that occurs in special devices - heat exchangers.

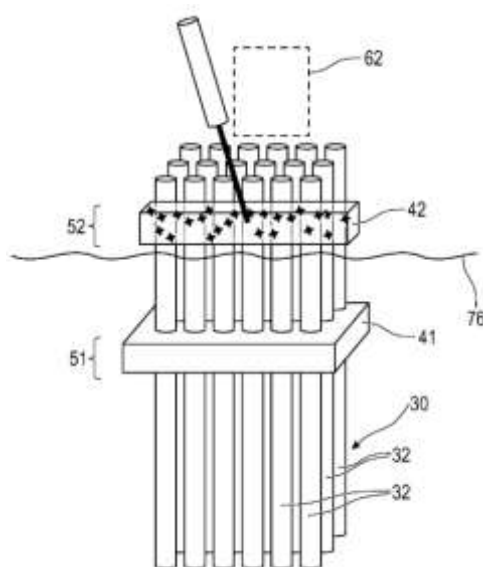
Biogas purification plants must maintain optimal temperature conditions for adsorption processes and moisture condensation. Accordingly, the heat exchanger is a key element of the plant; its efficiency directly affects energy consumption, operating costs and technical reliability of the entire system. Traditional shell-and-tube heat exchangers often have insufficient thermal performance due to a low heat transfer coefficient, which limits the plant's productivity and increases energy costs.

An implementation option for an improved shell-and-tube heat exchanger was proposed by the authors of the patent [1] and is shown in Figure 1.

The apparatus is a tube bundle 30, consisting of separate tubes 32 fixed in the lower plate 41. In the upper part of the structure there is a distribution element 42, through which the medium is supplied or processed. The space of the apparatus is conventionally divided into a lower zone 51 and an upper zone 52, which differ in the conditions of the process. A working tool or device 62 may be placed above the tube bundle, which performs a technological function, for example, supply, processing or

flow formation. The level of the working medium in the apparatus is indicated by the line 76.

A tube bundle 30 with vertically oriented tubes 32, which pass through the plate 41 and interact with the distribution zone 42. The upper zone 52 shows the nature of the movement and distribution of the medium in the form of turbulent flows, which are formed due to the design features of the element 42. The lower zone 51 performs the function of stabilizing the flow before entering the tube bundle. 62 is a feeding device.



30 – tube bundle, 32 – tubes, 41 – support (tube) plate, 42 – distribution (guide) element, 51 – lower zone of the apparatus, 52 – upper zone of the apparatus (turbulization zone), 62 – feeding device, 76 – working medium level

Figure 1. Shell and tube heat exchanger [1]

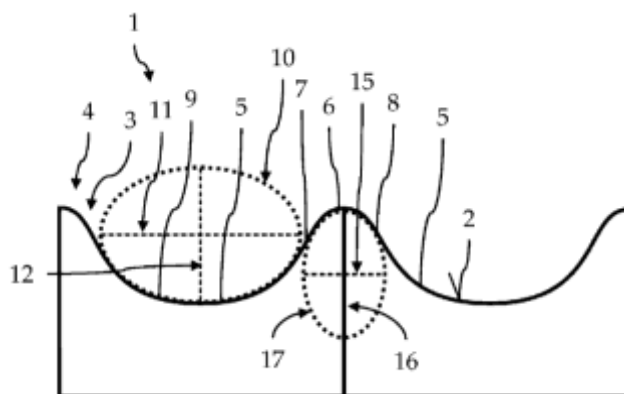
The advantages of the proposed technical solution include an increase in the intensity of heat exchange due to the turbulence of the flow in the upper zone 52, a more uniform distribution of the medium between the pipes 32, which reduces local overloads of the tube bundle 30, as well as a reduction in stagnant zones that negatively affect heat transfer. The design contributes to increasing the efficiency of the use of the heat exchange surface and can provide more stable hydrodynamic operating conditions. In addition, the possibility of using an additional element 62 expands the functional capabilities of the device.

However, the design has certain disadvantages. Complicating the geometry of the distribution element 42 can lead to an increase in the complexity of manufacturing and an increase in the cost of the device. The turbulent mode in the zone 52 may be accompanied by an increase in hydraulic resistance, which requires additional energy costs. The presence of additional elements in the upper part of the device can complicate the cleaning and maintenance process, especially when working with contaminated media. Increased wear of elements in the zone of intensive flow is also possible.

The principle of operation is that the working medium is fed into the upper part of the apparatus and through the distribution element 42 is evenly directed to the pipes 32. Due to the special design of the zone 52, the flow acquires a turbulent character, which contributes to the intensification of heat or mass transfer. Next, the medium passes through the tube bundle 30, where the main heat transfer process occurs, after which it stabilizes in the lower zone 51. The level of the liquid or medium is controlled by the line 76.

The essence of the modernization is to improve the upper distribution element 42, which provides a more uniform flow distribution between the pipes 32 and creates turbulent zones in the upper part 52. This allows you to avoid uneven loading on the tube bundle 30, reduce stagnant areas and increase the efficiency of the process. Additionally, the use of the working element 62 allows you to influence the flow structure or carry out technological processing directly in the distribution zone.

An implementation option for a heat exchange element for chemical production was proposed by the authors of the patent [2] and is shown in Figure 2.



1 – heat exchange surface, 2 – profiled (wavy) wall, 3 – inlet section, 4 – initial curvilinear zone, 5 – depression zone (depression), 6 – rising section of the profile, 7 – wave crest, 8 – falling section, 9 – characteristic width of the depression, 10 – zone of intensive heat exchange, 11 – geometric parameter of the profile, 12 – direction of flow, 15 – turbulating element, 16 – zone of interaction of flows, 17 – zone of intensive turbulization

Figure 2. Scheme of the heat exchange element [2]

The proposed design is a profiled heat exchange surface 1, which is formed by a wavy wall 2, which forms a sequence of depressions and protrusions to intensify the heat exchange process. The left part of the profile contains the inlet section 3, which passes into the curvilinear zone 4, where the primary flow distribution is formed. Next is the depression zone 5, which provides accumulation and direction of the medium. The central part of the structure includes the rising section 6 and the crest of the wave 7, which is the key zone of flow turbulence. After that, the flow passes into the falling section 8 and again into zone 5.

In the upper part of the profile, a conditional area 10 is allocated, which characterizes the zone of active heat exchange. Within this area, characteristic geometric parameters are marked, in particular sections 9 and 11, which determine the width and shape of the depression. The flow movement in the system is shown by the arrow 12, which reflects the direction of movement of the medium along the heat exchange surface.

A feature of the structure is the presence of a vertical element 15, located in the zone of maximum profile rise. In its lower part, a zone of interaction of flows 16 is formed, which is limited by the area 17. It is in this zone that intensive mixing of the medium and destruction of the laminar sublayer occur.

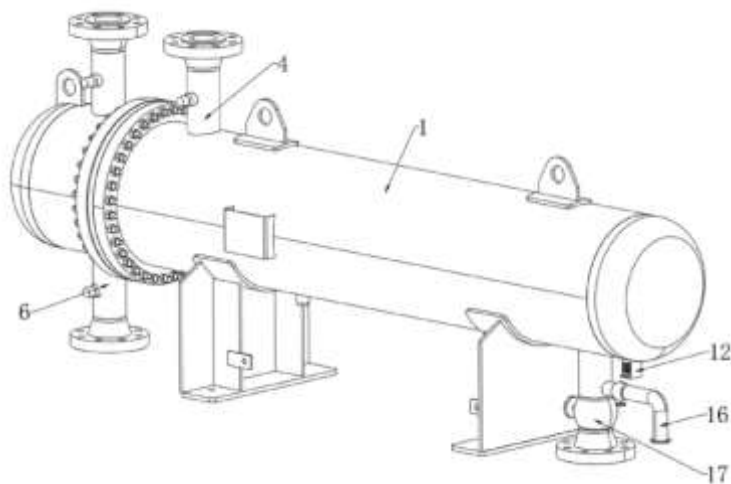
The principle of operation is that the working medium moves along the profiled surface 2 in the direction indicated by the arrow 12. Due to the wavy shape of the surface, periodic acceleration and deceleration of the flow occurs in zones 5, 6 and 8, which leads to the appearance of local vortices. In the area of the apex 7 and near the element 15, intense turbulence is formed, which increases the heat transfer coefficient. Area 16 is the zone of the most active mixing, where the destruction of the boundary layer occurs and heat transfer is improved.

The essence of the technical solution lies in the special profiling of the heat exchange surface 2 and the introduction of an additional element 15, which allows you to control the flow structure. This ensures more efficient use of the heat exchange surface 1, reduction of stagnant zones and increased heat transfer intensity. Such solutions are especially relevant for chemical production, where heat exchangers are widely used for heating, cooling and condensation of media.

The advantages of the proposed design include an increase in the heat transfer coefficient due to flow turbulence in zones 7 and 16, a more uniform distribution of the medium over the surface 1, a reduction in the thickness of the boundary layer and intensification of heat exchange without a significant increase in the dimensions of the device. The design also allows you to increase the efficiency of the equipment in chemical production processes, where precise temperature control is important.

Disadvantages may include the complexity of manufacturing the profiled surface 2 and element 15, an increase in hydraulic resistance due to the intensification of turbulence, as well as the possible accumulation of deposits in zones 5 and 17, which complicates cleaning of the device during operation.

The implementation of a shell-and-tube heat exchanger for chemical production was proposed by the authors of the patent [3] and is shown in the figure.



1 – heat exchanger casing, 4 – coolant supply/return pipes, 6 – flange connection, 12 – drain pipe, 16 – outlet pipeline, 17 – lower connection flange

Figure 3. Horizontal heat exchanger [3]

The device is made in the form of a horizontal cylindrical casing 1, inside which a tube bundle is placed (not shown in section in the figure). Casing 1 is mounted on supporting elements and equipped with mounting lugs for installation. On the upper part of the device, there are pipes 4 for supplying and removing one of the coolants. On the left side of the device there is a detachable cover 3, which is attached using a flange connection 6 and provides access to the internal tube bundle for maintenance and cleaning.

In the lower right part of the casing, a medium removal unit is provided, which includes a drain pipe 12, a connecting pipeline 16 and a lower flange 17 for connection to the system. This design allows for effective removal of condensate or working fluid from the apparatus during operation.

The principle of operation of the heat exchanger is based on the classical scheme of a shell-and-tube apparatus, where one coolant moves inside the tubes, and the other in the intertube space of the casing 1. Heat transfer occurs through the tube walls due to convection and thermal conductivity. Such heat exchangers are widely used in the

chemical industry due to their ability to operate at high temperatures and pressures and to provide effective heat exchange without mixing of media.

The essence of this technical solution is to improve the design of the housing and auxiliary units of the heat exchanger. In particular, an optimized arrangement of the nozzles 4 is provided to improve flow distribution, as well as a special medium removal unit (12, 16, 17), which allows for effective removal of condensate or liquid residues from the lower part of the apparatus. This helps prevent liquid accumulation, reduce corrosion processes and increase the efficiency of the heat exchanger. The detachable cover 3 with a flange connection 6 provides convenience for maintenance and repair.

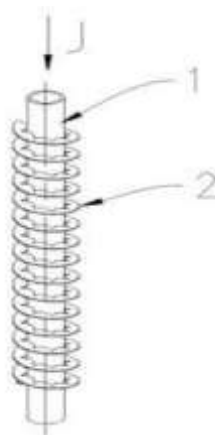
The advantages of the proposed design include increased reliability of operation due to effective removal of the medium from the lower part of the apparatus, convenience of maintenance due to the presence of a detachable cover 3, as well as the possibility of operation in conditions of high temperatures and pressures. The design helps reduce stagnant zones and improve hydrodynamic conditions in the casing 1.

The disadvantages may be the relatively large dimensions of the apparatus, the complexity of manufacturing flange connections 6 and additional units 12, 16, 17, and also a possible increase in hydraulic resistance due to the presence of additional elements. In addition, during operation, deposits may form in the tube bundle, which requires periodic cleaning.

The heat exchange element proposed in the patent [4] belongs to the class of intensified heat exchange surfaces and is a finned tubular system designed to increase the efficiency of heat transfer between two media.

According to Figure 4, the design includes three main elements: tube 1, fins 2 and outer shell. The central element is the heat exchange tube 1, which performs the function of an internal channel for the movement of one of the coolants. It has a cylindrical shape and is made of a material with high thermal conductivity. It is

through the wall of the tube 1 that the primary heat transfer from the internal medium to the external structural elements occurs.



1 – heat exchange tube (main carrier tube), 2 – fins (heat transfer fins)

Figure 4. Finned heat exchange tube [4]

On the outer surface of tube 1 there is fin 2, which is a system of longitudinal metal fins of complex geometry. Fin 2 is tightly connected to tube 1 and performs several functions at once: it significantly increases the heat exchange area and simultaneously affects the nature of the coolant movement in the inter-fin space. Due to the presence of internal channels in fins 2, the flow becomes more turbulent, which contributes to the intensification of heat transfer and a decrease in the thickness of the thermal boundary layer.

The outer element of the structure is the shell, which is placed over fins 2 and forms closed or partially limited channels for the movement of the second coolant. The shell performs the function of organizing the flow, ensuring its directional movement along the axis of the tube 1, as well as its uniform distribution over the surface of the fins 2. This allows you to avoid stagnant zones and improve the overall efficiency of heat exchange.

The principle of operation of this heat exchange element is based on the transfer of heat between two flows that are separated by the wall of the tube 1. One coolant moves inside the tube 1, while the second passes in the inter-rib space formed by the fins 2 and limited by the shell. The heat transfer process occurs sequentially: first, heat

is transferred from the internal medium to the wall of the tube 1, then through the tube material to the base of the fins 2, after which it spreads over the surface of the fins and is transferred to the external flow that moves in the channels formed by the shell.

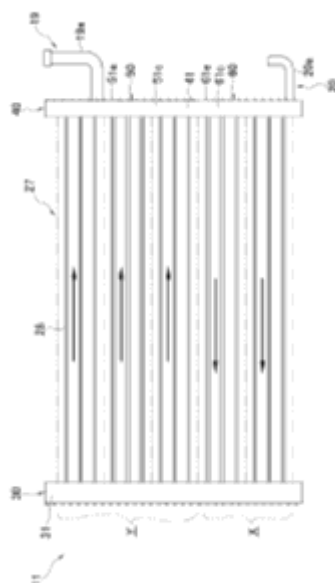
Due to the complex geometry of the fins 2, local vortices arise in the flow, which enhance the mixing of the medium and intensify heat transfer. At the same time, the shell stabilizes the movement of the coolant and ensures its uniformity, which allows maintaining a stable thermal regime along the entire length of the structure.

The main advantages of such a design include high heat transfer intensity, which is achieved due to the simultaneous increase in surface area (due to fins 2) and flow turbulence. Another important advantage is the compactness of the design, since the tube 1 with fins 2 allows for high thermal performance with relatively small dimensions. The shell additionally improves the hydrodynamic operating conditions, reducing the uneven distribution of the flow.

However, the design also has certain disadvantages. The complexity of manufacturing fins 2 with internal channels complicates the technological process and increases the cost. The presence of narrow channels in the fin zone 2 can lead to their contamination and the formation of deposits, which reduces the efficiency of operation, which increases energy costs for pumping media.

The design from the patent [5] refers to a heat exchange element with an intensified heat exchange surface, designed to increase the efficiency of heat transfer between two working media by organizing a controlled flow and increasing the heat exchange area.

The main element of the design (Figure 5) is a heat exchange tube (20), which performs the function of an internal channel for the movement of one of the coolants. The tube (20) provides the transfer of heat flow through its wall and is the supporting base for all elements of heat exchange intensification. In separate zones of the design, it may have extensions or technological sections, designated as (20a), which are used to connect or transition between the structural elements of the heat exchange module.



20 – heat exchange tube; 20a – transition section of the tube; 27 – fixing element; 28 – guide element; 30 – outer casing (casing); 31 – connecting node; 40 – intensifying heat exchange element; 50 – inlet pipe; 51 – outlet pipe

Figure 5. Heat exchange element with heat exchange intensification [5]

On the outer surface of the tube (20) are fixed profiled heat exchange elements in the form of intensifying inserts or ribs that form a complex heat exchange surface. These elements contribute to the development of flow turbulence and an increase in the effective heat transfer area.

A casing or guide element (30) is located around the heat exchange zone, which forms the external channel for the movement of the second coolant. The element (30) provides geometric restriction of the flow and its direction along the working surface of the tube (20), which allows achieving uniform velocity distribution and reducing stagnant zones.

The design also provides elements for fixing and directing the flow, in particular components (27) and (28), which perform the auxiliary function of holding the heat exchange insert in a given position and ensuring the correct organization of the flow in the heat exchange zone. These elements can be structurally connected to the housing (30) and the inner tube (20), ensuring the rigidity and stability of the entire system.

Additionally, the design uses an element (31), which performs the function of a final or connecting node, ensuring sealing, fixing or transition of the flow between individual sections of the heat exchange apparatus. Element (31) can also affect the flow distribution at the outlet of the heat exchange zone, stabilizing the hydrodynamic operating conditions.

The principle of operation of the design is based on heat transfer between the internal flow moving in the tube (20) and the external flow passing in the channel formed by the housing (30). Heat is transferred through the tube wall (20), then spreads through the intensifying elements and passes to the external coolant. Due to the geometry of the internal elements and the presence of profiled surfaces, flow turbulence occurs, which significantly reduces thermal resistance. Elements (27) and (28) contribute to the correct organization of the movement of the medium, while the housing (30) ensures its stable direction, and the node (31) maintains the hydrodynamic integrity of the system.

The advantages of this design include increased heat transfer intensity due to the developed heat exchange surface and artificial flow turbulence. Another important advantage is the possibility of compact layout of the heat exchange module with high thermal efficiency. The use of the guide housing (30) and auxiliary elements (27), (28) and (31) allows you to stabilize the flow and reduce the unevenness of heat exchange along the length of the structure.

The disadvantages are the complexity of the design of the internal elements and the need for high precision manufacturing of the tube (20) and auxiliary components (27, 28, 31). Also, the complex geometry of the flow channels can lead to increased hydraulic resistance, which increases the energy costs for pumping media. In addition, the design is potentially sensitive to contamination of the internal channels and requires complex maintenance.

CONCLUSIONS:

The analyzed methods of heat exchange intensification (turbulization, profiling, and finning) allow for a significant increase in the efficiency of biogas purification, but require a compromise in terms of increasing hydraulic resistance and the complexity of equipment manufacturing.

REFERENCES

1. DE 102025110850 B3. Heat exchanger production improvement [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/099224995/publication/DE102025110850B3>
2. DE 102024129500 A1. Heat exchanger for chemical production improvement [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/099224726/publication/DE102024129500A1>
3. CN 224065977 U. Shell-and-tube heat exchanger for chemical production [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/099198339/publication/CN224065977U>
4. CN 223985632 U. Finning of heat exchange tubes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/098972651/publication/CN223985632U>
5. WO 2026069925 A1. Heat exchanger with enhanced heat transfer elements [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/098005921/publication/WO2026069925A1>

УДК 66.048.3:66.045.1:661.722

A REVIEW OF DEFLAMMATION UNIT DESIGNS FOR ETHANOL PRODUCTION PLANTS

Bohdanets M.G., Haidai S. S.

**National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

***ABSTRACT:** An analysis of existing heat exchange equipment designs for use as a dephlegmator in an ethanol production plant was conducted.*

***KEYWORDS:** DEPHLEGMATOR, ETHANOL, CONDENSATION, SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER, RECTIFICATION.*

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ДЕФЛЕГМАТОРІВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА ЕТАНОЛУ

Богданець М. Г., Гайдай С. С.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

***АНОТАЦІЯ:** Проведено аналіз існуючих конструкцій теплообмінного обладнання для застосування у якості дефлегматора установки виробництва етанолу.*

***КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДЕФЛЕГМАТОР, ЕТАНОЛ, КОНДЕНСАЦІЯ, КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, РЕКТИФІКАЦІЯ.*

The efficiency of a rectification column's dephlegmator directly determines the quality of the separation of alcohol mixtures and the energy efficiency of the process,

which necessitates an analysis of existing design solutions and the selection of the optimal option for modernization.

The most common design of heat exchangers is the shell-and-tube deflagrator, the principle of operation and structure of which are shown in [1], Figure 1. Structurally, the apparatus consists of a shell, a tube bundle, baffles and headers, which ensure the movement of heat transfer fluids in counter-current or co-current modes.

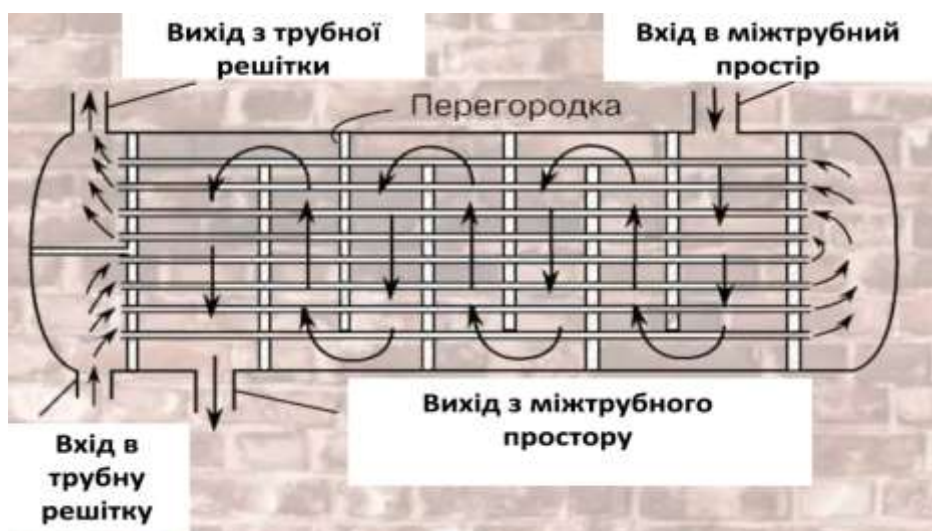


Figure 1. Diagram of a shell-and-tube heat exchanger [1]

This design of a shell-and-tube heat exchanger is characterized by a high level of reliability, due to its structural simplicity, the absence of complex moving parts, and its ability to operate continuously under varying temperature and hydrodynamic conditions. Ease of manufacture is achieved through the use of standardized components, such as tube bundles, shells and tube grids, which allows this type of unit to be widely used in industry, particularly in alcohol production. Furthermore, the design facilitates maintenance, as access to the main elements of the heat transfer surface can be provided by removing covers or individual sections of the apparatus, which simplifies preventive maintenance and the cleaning of internal surfaces from deposits.

At the same time, a significant drawback of such units is the relatively low heat transfer intensity, which is due to the laminar or weakly turbulent flow regime of the heat transfer fluids within the tube space, as well as the limited heat transfer surface

area when using smooth tubes. This, in turn, necessitates an increase in the length of the tubes or the number of tubes in the bundle, which directly affects the overall dimensions of the apparatus, its weight and manufacturing cost, and also complicates the integration of such equipment into existing process flows.

In order to improve the efficiency of heat transfer processes and eliminate the aforementioned shortcomings, the authors [2] have proposed the use of heat exchange tubes with an enhanced surface area, in particular finned tubes, which provide a significant increase in the specific heat exchange area.

Structurally, such tubes have additional fins, as shown in Figure 2, located on the outer or inner surface, which helps to intensify heat transfer by increasing the contact area between the heat transfer fluids. The use of finned tubes allows the heat transfer coefficient to be increased without a significant increase in the dimensions of the apparatus, which is an important advantage in conditions of limited production space.

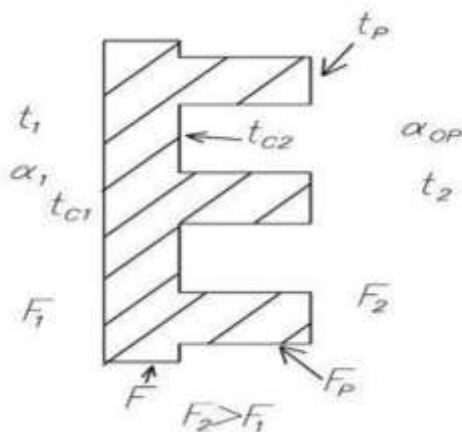


Figure 2. Design of a finned heat exchange tube [2]

Furthermore, the presence of fins promotes partial flow turbulence, which further improves the heat transfer characteristics of the unit. At the same time, the use of finned tubes is associated with a number of technical and operational limitations. In particular, the manufacturing process is more complex and requires the use of specialised equipment, which increases the unit's production cost. During operation, the space between the fins is prone to the accumulation of contaminants, deposits and

corrosion products, which leads to a reduction in heat transfer efficiency over time and requires regular cleaning.

Cleaning such surfaces is complicated by their complex geometry, which may require the equipment to be shut down and the use of special flushing methods or mechanical cleaning. Thus, despite their high heat transfer characteristics, finned tubes are not always the optimal solution for conditions where ease of maintenance, reliability and long-term operational stability of the unit are important.

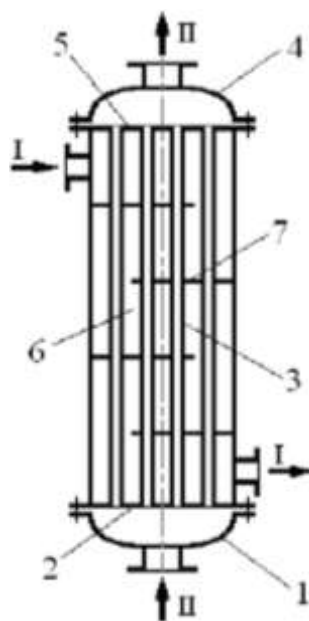
The advantage of using finned tubes in heat exchanger designs is a significant increase in heat transfer intensity, achieved by substantially increasing the heat transfer surface area without a corresponding increase in the equipment's dimensions. The fins located on the surface of the tubes provide additional contact area between the heat transfer fluids, which helps to improve heat transfer efficiency, particularly in cases where one of the heat transfer fluids has a low thermal conductivity or is in a gaseous state. Furthermore, the presence of fins contributes to a certain intensification of hydrodynamic processes, as the nature of the flow around the surface changes, which may be accompanied by local disruption of the laminar boundary layer. At the same time, the use of finned tubes is accompanied by a number of significant drawbacks that limit their widespread application in conditions of long-term industrial operation. First and foremost, it is worth noting the complexity of the manufacturing technology for such tubes, which requires the use of specialized equipment and high precision in fin forming, which, in turn, leads to an increase in the cost of the finished product. A significant operational drawback is the tendency of the inter-fin space to accumulate contaminants, in particular corrosion products, mechanical impurities and deposits formed during operation. This leads to a reduction in the effective heat exchange area and a gradual decrease in the heat transfer coefficient. Cleaning such surfaces is a technically challenging process, as the complex geometry of the fins makes it difficult to access soiled areas, often requiring the use of specialized cleaning methods or a complete shutdown of the equipment. Thus, despite their high heat transfer

characteristics, finned tubes have limitations regarding their use in conditions where operational stability and ease of maintenance are important.

Another effective approach to enhancing heat transfer is to increase the turbulence of the coolant flow, which allows for a significant increase in the heat transfer coefficient without a substantial increase in the heat transfer surface area. The authors [2] have proposed a design for a heat exchanger utilizing baffles and special turbulation elements that alter the flow path and ensure repeated mixing. The baffles, shown in Figure 3 and located in the inter-tube space, force the coolant to move along a complex trajectory, accompanied by alternating zones of flow acceleration and deceleration, as well as the disruption of the boundary layer on the heat exchange surface. This contributes to the intensification of the heat transfer process and an increase in the overall efficiency of the unit. Additionally, internal turbulators installed directly within the tubes may be used; these create vortex flows and ensure a more uniform distribution of the temperature field.

However, despite a significant increase in heat transfer intensity, the use of such design solutions also has certain drawbacks.

The main one is a substantial increase in hydraulic resistance, which necessitates an increase in the capacity of the pumping or compressor equipment to ensure the required coolant flow rates.



1, 4 – bottom; 2, 5 – tube grids; 3 – tubes; 6 – inter-tube space; 7 – partition

Figure 3 – Heat exchanger with partitions [2]

This, in turn, leads to increased energy consumption and a reduction in the overall economic efficiency of the process. Furthermore, the increased complexity of the apparatus's design may adversely affect its reliability and maintainability, as the presence of additional components increases the likelihood of wear or damage during operation. Thus, the use of baffles and turbulators is effective in terms of intensifying heat transfer, but requires careful justification, taking into account the trade-off between increased thermal efficiency and rising energy and operating costs.

The use of heat exchangers with baffles and turbulence-inducing elements makes it possible to significantly increase the heat transfer coefficient by intensifying the hydrodynamic processes within the coolant flow. Changing the flow path, repeatedly mixing the flow and disrupting the boundary layer on the heat transfer surface help to improve heat transfer conditions and make more efficient use of the heat transfer surface. However, achieving this effect is accompanied by a number of negative factors, the most significant of which is an increase in the system's hydraulic resistance. The increase in the resistance to coolant flow necessitates the use of more powerful pumping or compressor equipment to ensure the required flow rates, which,

in turn, leads to increased energy consumption. Furthermore, the increased complexity of the apparatus's design due to the introduction of additional elements reduces its operational reliability, increases the likelihood of wear on individual components, and complicates maintenance and repair. In some cases, this may necessitate frequent equipment shutdowns, which negatively impacts the continuity of the technological process.

In this regard, a promising avenue for improving heat exchangers is the use of profiled tubes, the design features of which are described in [4]. A characteristic feature of such tubes is the presence of a specially shaped geometry of the inner or outer surface in the form of helical grooves, as shown in Figure 4, protrusions or wave-like elements, which ensure the formation of local turbulent zones in the coolant flow. Unlike the use of separate turbulators, profiling the surface of the pipes allows for the intensification of heat transfer without the introduction of additional structural elements, which simplifies the overall design of the apparatus. As the coolant flows through such tubes, the laminar boundary layer is disrupted, giving rise to secondary flows and vortex structures, which contribute to a more uniform temperature distribution across the flow cross-section and an increase in the heat transfer coefficient. An important advantage of profiled tubes is that the intensification of heat transfer is achieved with a relatively minor increase in hydraulic resistance compared to designs using baffles or turbulators. Furthermore, the absence of complex internal components reduces the likelihood of contamination build-up and simplifies the process of cleaning surfaces during operation. Thus, the use of profiled tubes ensures an optimal combination of high heat transfer intensity, moderate energy consumption and a sufficiently simple and reliable design, making them suitable for use in the modernizations of dephlegmators in rectification plants.



Figure 4 – Profiled heat exchange tube [3]

The use of profiled tubes in heat exchanger designs is an effective way of enhancing heat transfer processes without the need for additional structural elements, such as turbulators or complex baffle systems. A distinctive feature of such tubes is their specially shaped surface geometry, which alters the hydrodynamic structure of the coolant flow without significantly complicating the apparatus design. As the coolant flows over the profiled surface, the laminar boundary layer is disrupted, local vortex zones are formed and secondary flows arise, which promotes more intensive mixing of the flow and equalization of the temperature field. This, in turn, leads to an increase in the heat transfer coefficient and more efficient utilization of the heat exchange surface.

A key advantage of using profiled pipes is that enhanced heat transfer is achieved without a significant increase in the system's hydraulic resistance. Unlike designs with internal turbulent elements or complex baffles, which significantly impede the flow of the heat transfer fluid, the profiled surface of the pipes ensures a smoother change in flow structure, allowing pressure losses to be kept at an acceptable level. This is an important factor in terms of energy efficiency, as it does not require a significant increase in the capacity of pumping or compressor equipment to ensure the necessary coolant flow rates. Thus, the use of profiled pipes allows an optimal balance to be achieved between increasing heat transfer intensity and the energy costs of transporting coolants.

Furthermore, profiled pipes do not create distinct areas of stagnation or accumulation of contaminants, which is a common drawback of finned surfaces or structures with complex internal geometries. The absence of narrow inter-fin channels

and hard-to-reach areas helps to reduce the accumulation of impurities, corrosion products and other contaminants on the heat exchange surface. This ensures more stable heat exchange characteristics of the unit over a long period of operation and reduces the need for frequent maintenance and cleaning. It should also be noted that the simplified design and the absence of separate turbulence-inducing elements increase the reliability of the equipment, reduce the likelihood of mechanical damage and facilitate repair work. Taken together, these factors determine the suitability of using profiled tubes in the modernization of dephlegmators, as they ensure improved heat transfer efficiency, reduced operating costs and better overall technical and economic performance of the unit.

CONCLUSIONS:

The analysis has shown that shell-and-tube heat exchangers are characterized by high reliability and ease of operation, but have a low heat transfer rate; The use of finned tubes increases the heat transfer area, but complicates the design and makes cleaning more difficult; the use of turbulators and baffles increases the heat transfer coefficient, but is accompanied by a significant increase in hydraulic resistance.

REFERENCES:

1. Кожухотрубчасті теплообмінники: конструкція та принцип роботи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://unidim.com.ua/ua/blog/shema-teploobmennika> (дата звернення: 01.04.2026).
2. Мелейчук В. В. Теплообмінні апарати : навчальний посібник [Електронний ресурс] / В. В. Мелейчук. – Суми : СумДУ, 2020. – Режим доступу: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/93111/1/Meleichuk.pdf> (дата звернення: 02.04.2026).
3. Звягін А. О. Розробка теплообмінного апарата : кваліфікаційна робота [Електронний ресурс] / А. О. Звягін. – Суми : СумДУ, 2022. – Режим доступу:

**Збірник тез доповідей XXXVIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних
матеріалів"**

https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/91015/1/Zviahin_mag_rob.pdf

(дата звернення: 05.04.2026).

UDC 676.2:536.24:66.047

DESTRUCTIVE CHANGES IN PAPER UNDER THERMORADIATIVE EXPOSURE

PhD, Associate Professor Novokhat O.A.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract: *The experimental change in the mass of a paper sample with a dryness of 94% under infrared radiation was considered. Based on the results of continuous mass recording over 816 s, a mass decrease from 0.743 to 0.611 g was established, which corresponds to a total loss of 0.132 g or 17.77%. It was shown that the kinetic curve has a descending character with a transition from a faster initial stage to a slower final stage. The obtained dependences can be used to estimate the rational duration of infrared treatment of paper materials.*

KEYWORDS: PAPER, INFRARED RADIATION, MASS CHANGE, DRYING, KINETICS, HEAT TREATMENT.

ДЕСТРУКТИВНІ ЗМІНИ ПАПЕРУ ЗА ТЕРМОРАДІАЦІЙНОГО ВПЛИВУ

К.т.н., доцент Новохат О.А.

Анотація: *Розглянуто експериментальну зміну маси зразка паперу під дією інфрачервоного випромінювання. За результатами безперервної реєстрації маси упродовж 816 с встановлено її спад від 0.743 до 0.611 г, що відповідає сумарній втраті 0.132 г або 17.77 %. Показано, що кінетична крива має виражений спадний характер із поступовим зменшенням швидкості процесу та ознаками переходу від швидшої початкової стадії до повільнішої завершальної. Отримані залежності можуть бути використані для оцінювання раціональної тривалості інфрачервоного оброблення паперових матеріалів.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПАПІР, ІНФРАЧЕРВОНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЗМІНА МАСИ, СУШІННЯ, КІНЕТИКА, ТЕРМООБРОБКА.

Infrared radiation is one of the promising methods of heat supply to thin sheet materials, since it provides rapid surface heating and makes it possible to intensify drying and heat-treatment processes. For paper, it is important to determine the nature of mass change over time under such exposure, since this makes it possible to assess the intensity of moisture removal, identify the characteristic stages of the process, and substantiate the rational treatment duration.

The aim of this study was to analyze the experimental dependence of paper mass on time under the action of infrared radiation.

The experimental dataset contained 817 successive measurements; time was given in seconds and mass in grams. Based on the primary data, the dependences $m = f(\tau)$, $\Delta m = f(\tau)$, and $m/m_0 = f(\tau)$ were constructed. The initial mass of the sample was 0.743 g, and by the end of the observation period of 816 s it had decreased to 0.611 g. The absolute mass loss was 0.132 g, which corresponds to 17.77% of the initial value.

According to the experimental data, graphical dependences were constructed (Figs. 1-3).

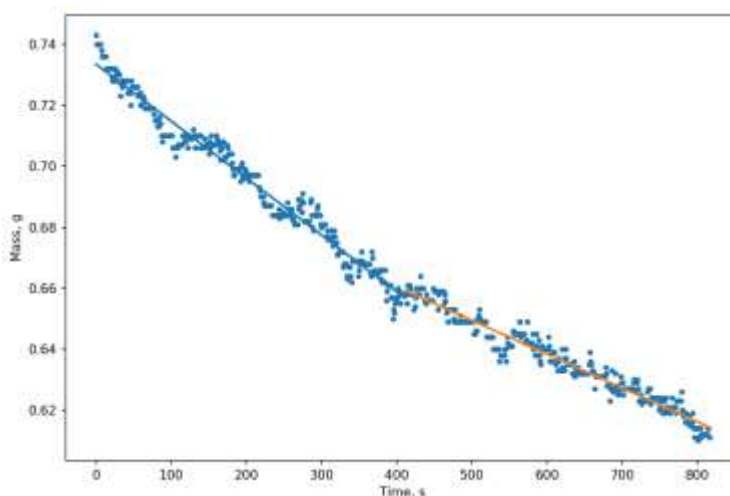


Figure 1 - Dependence of paper mass on time under infrared radiation

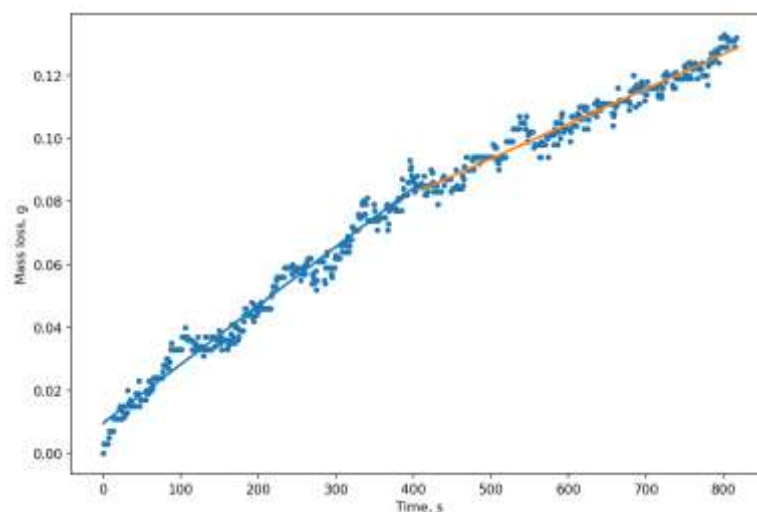


Figure 2 - Dependence of paper mass loss on time under infrared radiation

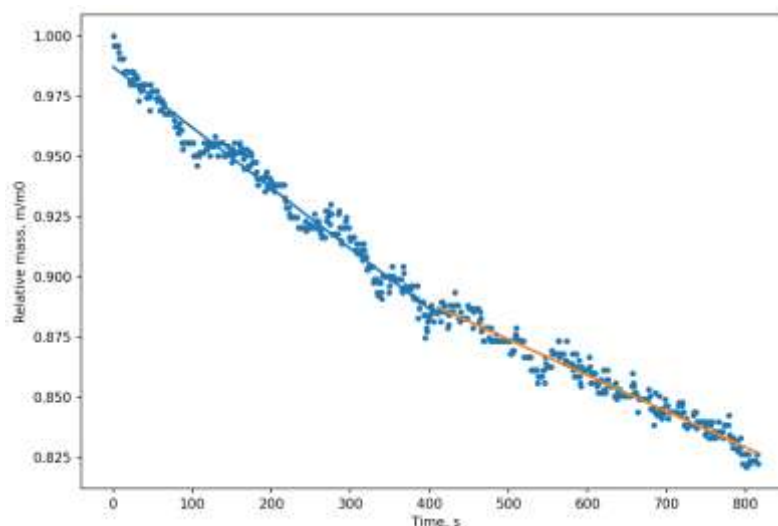


Figure 3 - Dependence of relative paper mass on time under infrared radiation

The experimental points demonstrate a generally monotonic decreasing character of mass change, although slight local fluctuations typical of continuous weighing are observed. To interpret the process kinetics, the experimental data were approximated by two straight lines corresponding to two stages of the process.

An approximate inflection point is observed near 411 s, indicating a transition from a faster initial stage to a slower final stage. This behavior may be associated with more intensive removal of freer or weakly bound moisture at the initial stage and a subsequent increase in the internal resistance to mass transfer.

The average rate of mass change in the first section was about 1.87×10^{-4} g/s, whereas after the transition it was 1.11×10^{-4} g/s; thus, at the beginning the process proceeded approximately 1.68 times more intensively. Such behavior may be associated with faster removal of freer or weakly bound moisture at the initial stage and with a gradual increase in the internal resistance to mass transfer thereafter.

The constructed graphical dependences make it possible to clearly trace the kinetics of mass change and determine the moment after which a further increase in treatment time is accompanied by a significantly smaller gain in effect.

Thus, under infrared radiation the mass of paper decreases regularly over time, and the kinetics of the process show signs of two-stage behavior, which should be taken into account when selecting IR-treatment conditions. The obtained results can be used to substantiate the rational duration of drying or thermal treatment of paper, as well as an experimental basis for further mathematical modeling of the mass-transfer process.

References:

1. Roberts, J. C. The Chemistry of Paper. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1996. 190 p.
2. Völkel, L., Rusakov, D., Kontturi, E. et al. Manufacturing heat-damaged papers as model materials for evaluating conservation methods. *Cellulose*. 2022. Vol. 29. P. 6373-6391. DOI: 10.1007/s10570-022-04657-9.
3. Nomura, T., Mizuno, H., Minami, E., Kawamoto, H. Fast Pyrolysis of Cellulose by Infrared Heating. *Energies*. 2021. Vol. 14, No. 7. Art. 1842. DOI: 10.3390/en14071842.
4. Jusner, P., Bacher, M., Simon, J. et al. Analyzing the effects of thermal stress on insulator papers by solid-state ^{13}C NMR spectroscopy. *Cellulose*. 2022. Vol. 29. P. 1081-1095. DOI: 10.1007/s10570-021-04338-z.

DESIGN WAYS TO INTENSIFY HEAT EXCHANGE IN HEAT STORAGE EQUIPMENT WITH PCM

Postgraduate student A.V. Tarasenko, Ph.D., Associate Professor A. R. Stepaniuk

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ANNOTATION. *The main design approaches to heat transfer intensification in heat storage equipment based on phase change materials are considered. It is shown that the low thermal conductivity of PCM is one of the main factors limiting the efficiency of charging and discharging heat storage devices. The use of ribs, metal foams, fillers, modified surfaces and rational arrangement of heat exchange elements is analyzed. It is substantiated that the most promising practical direction is geometric intensification of heat exchange, aimed at increasing the area of the heat exchange surface and reducing the characteristic heat transfer path in the volume of PCM.*

KEYWORDS: HEAT STORAGE, PHASE CHANGE MATERIAL, PCM, HEAT TRANSFER, HEAT TRANSFER INTENSIFICATION, EXCESS HEAT.

КОНСТРУКТИВНІ ШЛЯХИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛООБМІНУ В ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧОМУ ОБЛАДНАННІ З РСМ

Аспірант А.В. Тарасенко, к.т.н., доцент А. Р. Степанюк

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ. *Розглянуто основні конструктивні підходи до інтенсифікації теплообміну в теплоакумуючому обладнанні на основі фазозмінних матеріалів. Показано, що низька теплопровідність РСМ є одним із головних факторів, які обмежують ефективність заряджання та розряджання теплоаккумуляторів. Проаналізовано застосування ребер, металевих*

піноматеріалів, наповнювачів, модифікованих поверхонь і раціонального розташування теплообмінних елементів. Обґрунтовано, що найперспективнішим практичним напрямом є геометрична інтенсифікація теплообміну, спрямована на збільшення площі теплообмінної поверхні та зменшення характерного шляху теплопередачі в об'ємі РСМ.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕПЛОАКУМУЛЮВАННЯ, ФАЗОЗМІННИЙ МАТЕРІАЛ, РСМ, ТЕПЛООБМІН, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ, НАДЛИШКОВЕ ТЕПЛО.

Increasing the efficiency of energy resources is one of the key tasks of modern heating engineering. Significant amounts of thermal energy are lost in boiler rooms, ventilation systems, compressor units and other industrial facilities without further useful use. One of the promising ways to solve this problem is the utilization of excess heat with its subsequent accumulation in heat storage systems.

Of particular interest are thermal accumulators based on phase change materials, which are capable of storing significant amounts of energy due to the latent heat of phase transition. Such systems have advantages over traditional sensible batteries, as they allow operation in a relatively narrow temperature range and provide a higher specific capacity [1]. At the same time, their practical use is limited by the low thermal conductivity of most PCMs, which slows down the charging and discharging processes [2].

The aim of the work is to analyze the constructive ways of intensifying heat exchange in heat-accumulating equipment with PCM and to determine the most promising approaches to increasing the efficiency of its operation [3].

The physical essence of the problem is that when charging the heat accumulator, the PCM layers closest to the heat exchange surface heat up and change their phase state faster than the distant areas of the material. As a result, an uneven temperature field is formed in the volume of the PCM, and the main thermal resistance occurs

precisely in the thickness of the heat-accumulating material. Thus, one of the main limiting factors in systems of this type is the low thermal conductivity of the PCM, which in a generalized form can be characterized by the coefficient λ (Figure 1) [4]:

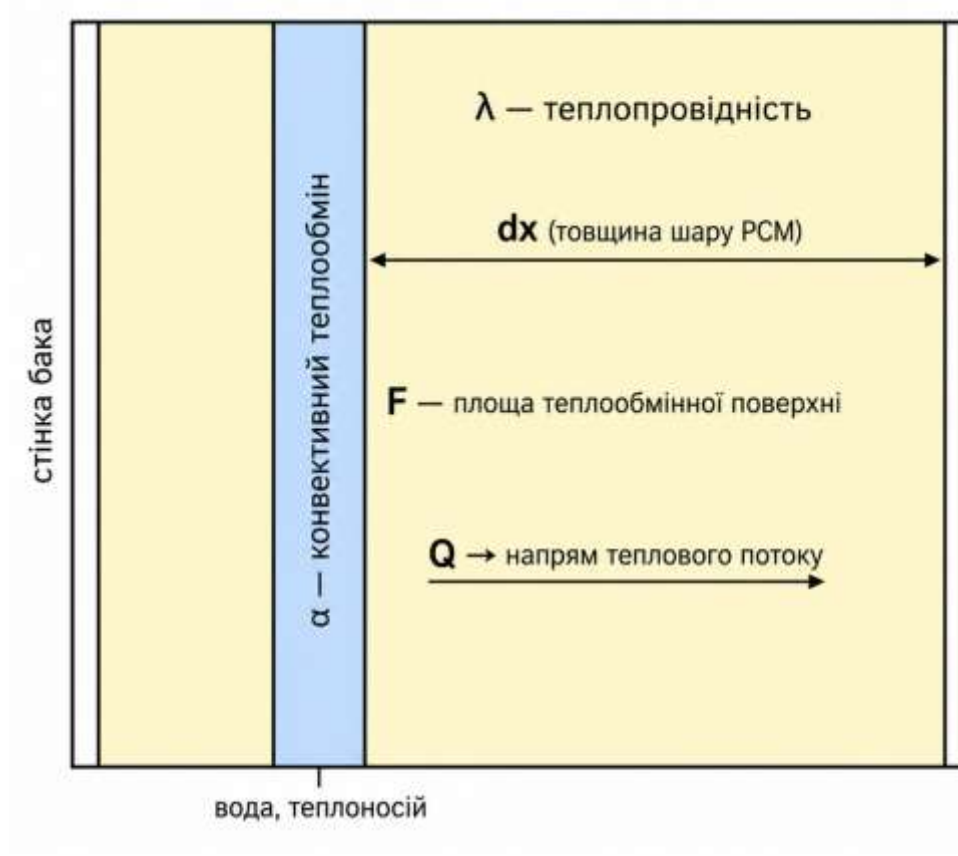


Figure 1 – Local physical model of the heat exchange process in a heat storage device with PCM: α – convective heat exchange in the coolant; λ – thermal conductivity in the phase change material; dx – characteristic thickness of the PCM layer; F – area of the heat exchange surface; Q – direction of heat flow.

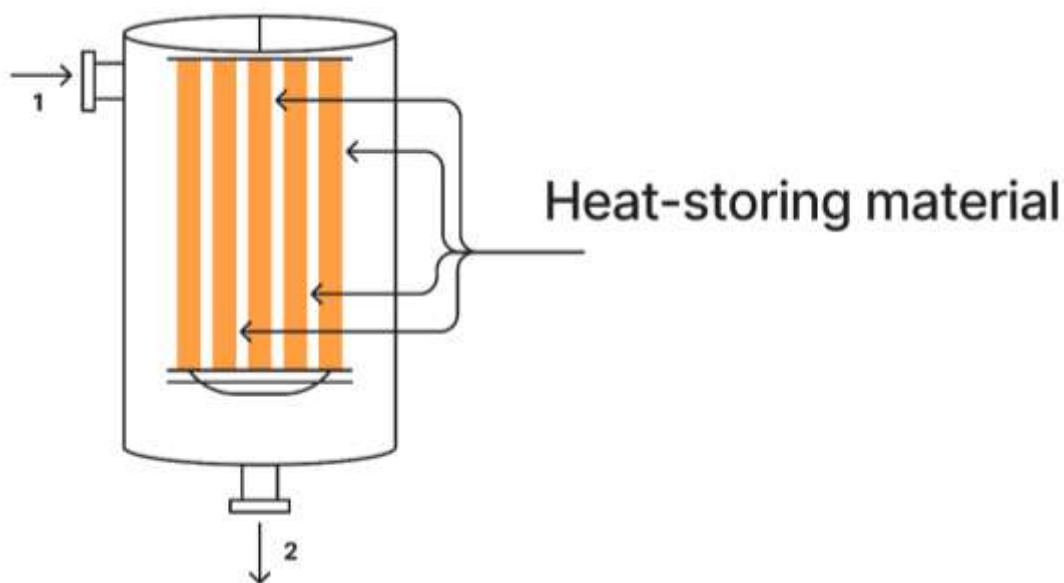
$$dQ = -\lambda \frac{dt}{dx} dF d\tau$$

This relationship shows that, for a given thermal conductivity of the material, the intensification of heat transfer is structurally related to a decrease in the characteristic thickness of the PCM layer dx and an increase in the area of the heat transfer surface.

From an engineering point of view, this means that the efficiency of the heat accumulator is largely determined not only by the properties of the material, but also by the characteristic thickness of the PCM layer through which the heat passes, as well as the area of the heat exchange surface [1, 2]. Therefore, it is advisable to direct the constructive improvement of the system to reduce the heat transfer path in the PCM volume and increase the contact area between the coolant and the heat-accumulating material.

Among the modern ways of intensifying heat exchange in PCM heat accumulators, both methods of modifying the material itself and constructive solutions are considered. The first group includes the introduction of graphite, carbon or metal fillers that increase the effective thermal conductivity of the composite PCM [5]. However, such approaches may be accompanied by a decrease in the latent heat of phase transition, a complication of the material preparation technology and an increase in the cost of the system.

More practical from the point of view of engineering design is the constructive way of intensifying heat exchange. It includes the use of heat conduction ribs, metal foam materials, modified surfaces, corrugated or multi-channel heat exchange elements, as well as the rational arrangement of tubes and channels in the volume of the PCM [1, 4]. The scheme of heating the device from thermal power is shown in Figure 2.



Accumulator heating mode: 1 – heating medium input, 2 – heating medium output.

Accumulator cooling mode (heat transfer to the room): 1 – cold air inlet, 2 – warm air outlet

Figure 2 – Scheme of heating the device from thermal power

The common idea of these solutions is to increase the heat exchange area and reduce the characteristic thickness of the PCM layer through which heat must pass deep into the material.

Of particular interest are ribbed structures, since they are technologically relatively simple and can significantly reduce the melting and crystallization time of PCM. However, the results of various studies show that an excessive increase in the number of ribs is not always effective (Figure 3) [6]. Under certain conditions, dense finning can suppress natural convection in the liquid phase of PCM, which leads to a decrease in the overall intensity of heat transfer. This means that for a specific type of device and the selected material, it is advisable to talk not about the maximum increase in the surface, but about the search for a rational geometry of the heat transfer system [6, 7].

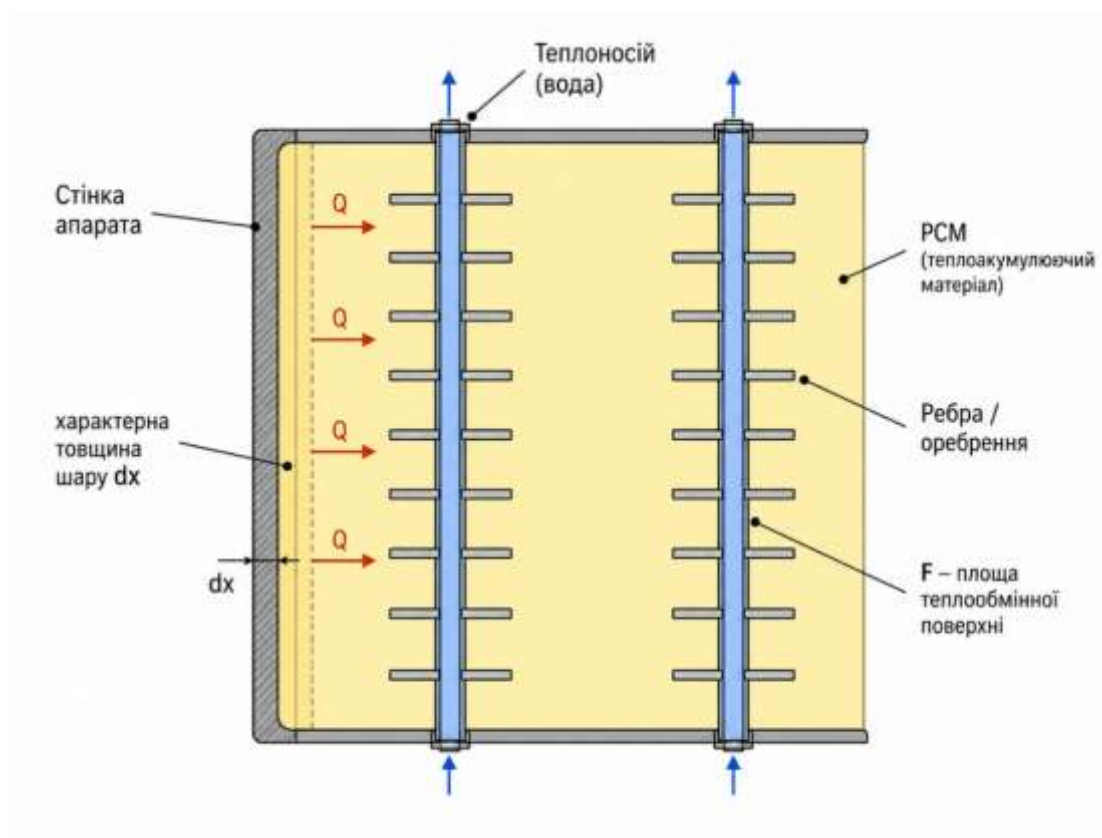


Figure 3. Schematic representation of a heat storage device with finned heat exchange elements to intensify heat exchange.

Another direction is the use of metal foams, which dramatically increase the effective thermal conductivity of the system. However, such solutions are accompanied by a complication of the design and an increase in its cost. In addition, in some cases, an overly developed porous structure can suppress the convective component of heat transfer in the molten PCM.

Another direction is the use of metal foams, which dramatically increase the effective thermal conductivity of the system. However, such solutions are accompanied by a complication of the design and an increase in its cost. In addition, in some cases, an overly developed porous structure can suppress the convective component of heat transfer in the molten PCM.

Thus, the analysis of modern approaches shows that there is no universal method of heat exchange intensification for all types of PCM heat accumulators. The

most promising direction is a comprehensive approach, which takes into account the properties of the phase-change material, the temperature range of the heat source, the geometry of the device and the conditions of charging and discharging. For low- and medium-temperature systems, the constructive improvement of heat exchange elements aimed at reducing the thermal resistance in the volume of the PCM is especially appropriate [6, 8].

Conclusions:

1. Modern design approaches to intensification of heat exchange in heat-accumulating equipment with PCM are analyzed.
2. It has been determined that the low thermal conductivity of PCM is one of the main factors limiting the efficiency of charging and discharging heat accumulators.
3. The feasibility of constructive intensification of heat exchange by increasing the area of the heat exchange surface and reducing the heat transfer path in the PCM volume is substantiated.
4. It is shown that the use of ribs, modified surfaces, and rational arrangement of heat exchange elements is a promising direction for improving heat storage systems.
5. A direction for further research is formulated, related to the choice of a rational geometry of the heat exchange system for specific PCM properties and conditions for using excess heat.

List of links

1. Demchenko, VG, Konik, AV, & Falko, V.Yu. (2022). Stands and methodology for studying thermal cycling of phase change materials with various viscosities. Proceedings of the XXII International Conference "Resource- and Energy-Saving Technologies and Equipment". Kyiv: IETP NAS of Ukraine.
2. Korniienko, RI, & Kutnyi, BA (2025). Prospects for the use of heat accumulation systems based on phase change materials in Ukraine. Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute. Retrieved from

<https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/download/3305/2952/3844>

(accessed 11 Nov 2025).

3. Khliyeva, O., Zhelezny, V., Paskal, A., Hlek, Y., & Ivchenko, D. (2021). The effect of metal wool on the charging and discharging rate of the phase transition thermal storage material. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(5(112)), 12–20. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239065.

4. Agyenim F., Hewitt N., Eames P., Smyth M. (2010). A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 14, No. 2. P. 615–628. DOI: 10.1016/j.rser.2009.10.015.

5. Wu S., Yan T., Kuai Z., Pan W. (2020). Thermal conductivity enhancement on phase change materials for thermal energy storage: A review. *Energy Storage Materials*. Vol. 25. P. 251–295. DOI: 10.1016/j.ensm.2019.10.010.

6. Zhao CY, Lu W., Tian Y. (2010). Heat transfer enhancement for thermal energy storages using metal foams embedded within phase change materials. *Solar Energy*. Vol. 84, No. 8. P. 1402–1412. DOI: 10.1016/j.solener.2010.04.022.

7. Jouhara H., Żabnieńska-Góra A., Khordehgah N., et al. (2020). Latent thermal energy storage technologies and applications: A review. *International Journal of Thermofluids*. Vol. 5. P. 100039. DOI: 10.1016/j.ijft.2020.100039.

8. Al-Abidi AA, Mat S., Sopian K., et al. (2013). CFD applications for latent heat thermal energy storage: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 20. P. 353–363. DOI: 10.1016/j.rser.2012.11.079.

UDC 665.612.2

MODERNIZATION OF THE SULFURIC ACID HEATER

Student Pakholchenko T. O., Ph.D., Associate Professor Novokhat O. A.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract: *The paper considers the modernization of a vertical shell-and-tube unit with a lens compensator by using disk-ring partitions in the intertube space. It is shown that such a design provides a more uniform distribution of coolant flows, increases the intensity of heat exchange and reduces the hydraulic resistance of the unit. The proposed solution contributes to increasing the energy efficiency and reliability of the heat exchange equipment.*

KEYWORDS: SHELL-TUBE HEAT EXCHANGER, LENS, DISC-RING BUFFER, HEAT EXCHANGE INTENSIFICATION, FLOW HYDRODYNAMICS, EQUIPMENT MODERNIZATION.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІДГРІВАЧА СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

Студент Пахольченко Т. О., к. т. н., доцент Новохат О. А.

Національний технічний університет України

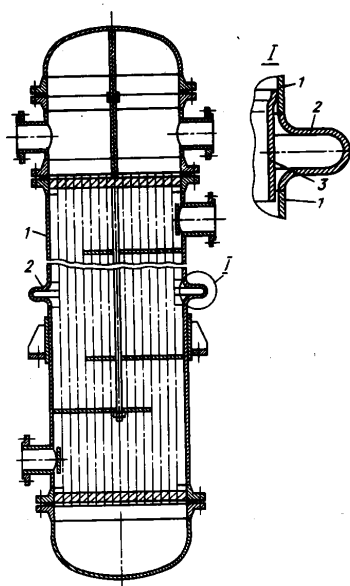
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Анотація: *У роботі розглянуто модернізацію вертикального кожухотрубного апарату з лінзовим компенсатором шляхом застосування диско-кільцевих перегородок у міжтрубному просторі. Показано, що така конструкція забезпечує більш рівномірний розподіл потоків теплоносія, підвищує інтенсивність теплообміну та зменшує гідравлічний опір апарата. Запропоноване рішення сприяє підвищенню енергоефективності та надійності роботи теплообмінного обладнання.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, ЛІНЗА, ДИСКО-КІЛЬЦЕВІ ПЕРЕГОРОДКИ, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ, ГІДРОДИНАМІКА ПОТОКУ, МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ.

Shell-and-tube heat exchangers are among the most common apparatuses in the chemical, petrochemical, power engineering, and food industries. They are utilized for heating, cooling, condensation, and evaporation of working media across a variety of technological processes. Their widespread use in industrial facilities is due to their reliability, structural simplicity, and capability to operate under significant temperatures and pressures

One of the most effective designs of such apparatuses for significant coolant temperature differences is a shell-and-tube heat exchanger with a lens compensator (Figure 1). The main structural element of the apparatus is a cylindrical shell; inside the shell is a tube bundle consisting of a large number of small-diameter heat exchange tubes fixed in tube sheets. The tube bundle is the primary working heat exchange surface through which heat is transferred from one medium to another. Fixing the tubes is carried out by expansion or welding in tube sheets, which provide hermetic separation of the tube and intertube spaces.



1 – shell; 2 – lens compensator; 3 – fairing

Figure 1 – Shell-and-tube heat exchanger with a lens compensator

Covers (medium distribution chambers) are installed on both sides of the heat exchanger, forming the inlet and outlet for the coolant in the tube side. In the case of a multi-pass scheme, partitions are provided in the covers to ensure a change in the direction of the medium's movement and increase heat exchange efficiency.

Baffles are located in the intertube space, performing a dual function: directing the coolant flow across the tube bundle and preventing tube vibration. This contributes to increasing the heat transfer coefficient and the stability of the unit's operation [1].

A feature of this type of heat exchanger is the presence of a lens compensator built into the shell body. It is a thin-walled corrugated element (lens) capable of axial deformation. The lens compensator is designed to absorb the thermal expansion of the shell that occurs when the unit is heated. This reduces thermal stresses in welded joints and tube sheets, significantly increasing the reliability and durability of the equipment.

Despite structural advantages, traditional shell-and-tube heat exchangers have several operational drawbacks. These include limited heat transfer intensity, the formation of stagnant zones in the intertube space, uneven distribution of flow velocities, and the potential accumulation of deposits on the heat exchange surface. This leads to a decrease in the heat transfer coefficient, an increase in hydraulic resistance, and higher energy costs [3].

One of the effective ways to increase the intensity of heat exchange in shell-and-tube units is the modernization of the baffle system in the shell side. Instead of traditional segmental baffles, it is advisable to use modernized disk-ring baffles (Figure 2), which provide a more rational distribution of coolant flows and improve the hydrodynamic operating conditions of the unit.

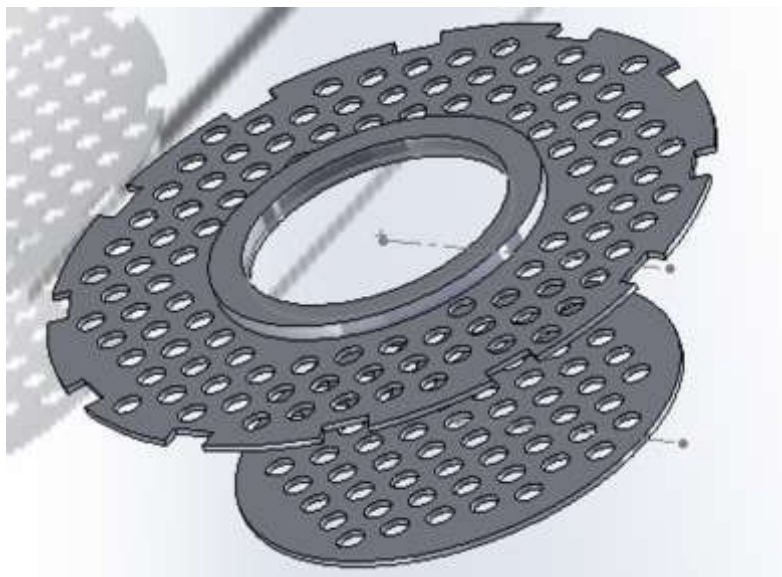


Figure 2 – Diagram of disk-and-ring baffles in a heat exchanger

The disk-ring baffle system consists of two types of elements that alternate along the length of the tube bundle:

- disk baffles - solid circular plates with holes for the tubes that create a gap with the inner surface of the shell.

- Ring baffles - ring-shaped baffles that block the peripheral part of the intertube space.

Such an alternating arrangement of disk and ring elements forms a combined radial-axial motion of the coolant. The flow in the intertube space is forced to sequentially change direction: first moving toward the periphery of the tube bundle, then toward its center. As a result, a more uniform velocity distribution is created, and the washing of the tube surfaces is improved.

When the coolant passes between the tubes, the disk baffle blocks the central part of the flow, directing it toward the shell walls. The subsequent ring baffle, conversely, blocks the periphery and directs the flow into the central zone of the tube bundle. Due to this alternation, an oscillating radial movement of the coolant is formed, which significantly increases flow turbulence and heat transfer efficiency.

The use of disk-ring baffles significantly intensifies heat exchange in the shell side. By changing the direction of the coolant flow and increasing turbulence, the heat

transfer coefficient from the coolant to the outer surface of the tubes is increased. Furthermore, this design ensures a smoother movement of the coolant, which helps reduce pressure losses compared to traditional segmental baffles.

An additional advantage is the more uniform distribution of hydrodynamic loads on the tube bundle. This reduces tube vibration, enhances the mechanical stability of the structure, and extends the service life of the heat exchanger. The likelihood of local fouling zones forming on the heat exchange surfaces is also reduced.

Thus, the flow constantly changes direction, creating vortices. These vortices mix the steam and prevent stagnant zones from forming. This results in a more uniform velocity distribution and increased flow turbulence. Additionally, when using holes in the disks, uniform drainage of condensate occurs along the body of the apparatus, minimizing contact between the condensate and the steam, which reduces heat loss. Moreover, the condensate film on the inner surface of the shell acts as a thermal resistance, reducing heat loss from the body to the environment.

Consequently, the application of disk-ring baffles in a vertical shell-and-tube heat exchanger is an effective modernization that increases heat exchange intensity, reduces energy consumption for pumping, and improves the operational reliability of the heat exchange equipment.

References:

1. Shcherbyna, V. Y., & Stepanyuk, A. R. (2024). *Shell-and-tube heat exchangers. Engineering design of equipment. Recommendations for the course project*. Kyiv: Igor Sikorsky KPI. 15.28 MB. URI: <https://ela.kpi.ua/items/efd2008d-e57d-41e8-935f-247630933a03> (Accessed: 02.03.2026).
2. Mikulonok, I. O., Karvatskyi, A. Y., Ivanenko, O. I., & Leleka, S. V. (2023). External removable tube elements for heat exchange intensification (Review of designs). *Bulletin of Igor Sikorsky KPI. Series: Chemical Engineering*,

Ecology and Resource Saving. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.3.2023.28824> (Accessed: 02.03.2026).

3. CN203534278U. *Disc-circular ring baffle plate floating head heat exchanger with temperature control function*. Shanghai Boiler Works Co Ltd (CN). Published: 09.04.2014. Priority: 26.09.2013. URL: <https://patents.google.com/patent/CN203534278U/en> (Accessed: 04.03.2026).

УДК 66.047: 631.563

ЗАСАДИ ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ

проф. д.т.н. Корнієнко Я. М., доц., к.т.н. Гайдай С. С., асп. Семененко Д. С.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

АНОТАЦІЯ. Підтверджено фізичну модель взаємодії газового потоку з неферичними частинками зерна. Встановлено, що еліпсоїдальне насіння пшениці орієнтується найменшим перерізом уздовж потоку, що зменшує гідравлічний опір і підвищує порозність шару до $0,5 \leq \varepsilon \leq 0,9$. Неоднорідне струменево-пульсаційне псевдозрідження забезпечує активне перемішування матеріалу: понад 40% маси шару виноситься в надшаровий простір із частотою 1,5–2,0 Гц. Це інтенсифікує тепло- і масообмін та дозволяє ефективно сушити й капсулювати насіння за температури до 40 °С без пошкодження та утворення агломератів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПЕРЕДПОСІВНА ОБРОБКА НАСІННЯ, ЕЛІПСОЇД, СТРУМЕНЕВО-ПУЛЬСАЦІЙНЕ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ, ТЕПЛОМАСООБМІН.

PRINCIPLES OF INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR PRESOWING SEED TREATMENT

Professor Kornienko Y.M., Associate Professor Haidai S.S., Graduate Student

Semenenko D.S.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ABSTRACT. A physical model of the interaction between a gas flow and non-spherical grain particles has been validated. It has been established that ellipsoidal wheat seeds orient themselves with their smallest cross-section along the flow, which reduces hydraulic resistance and increases the porosity of the layer to $0,5 \leq \varepsilon \leq 0,9$. Heterogeneous jet-pulsation fluidisation ensures active mixing of the material: over 40% of the bed mass is carried into the space above the bed at a frequency of 1.5–2.0

Hz. This intensifies heat and mass transfer and allows seeds to be effectively dried and encapsulated at temperatures up to 40 °C without damage or the formation of agglomerates.

KEY WORDS: PRE-SOWING SEED TREATMENT, ELLIPSOID, JET-PULSATION FLUIDIZATION, HEAT AND MASS TRANSFER..

Передпосівна обробка насіння включає калібрування, просушування та нанесення рідкої фази з фунгіцидами, поживними речовинами чи стимуляторами росту, після чого на поверхні зерна формується тверда композитна мікрошарова структура. Для ефективного процесу необхідні інтенсивне перемішування, циркуляція матеріалу між зонами зрошення і сушіння та проведення сушіння за температури не вище 40 °C без механічного пошкодження насіння.

Цим вимогам відповідає апарат із псевдозрідженим шаром, у якому газ одночасно виконує функції зріджуючого агенту, теплоносія та носія вологи. Коефіцієнт використання теплоти може перевищувати 50%, а при неоднорідному псевдозрідженні коефіцієнти тепло- і масоперенесення зростають у 1,5–2 рази [1–4].

Ефективність процесу забезпечується струменево-пульсаційним режимом псевдозрідження. За такого режиму понад 40% матеріалу початкового шару виноситься за його межі з частотою до 2 Гц, що значно інтенсифікує перемішування та тепломасообмін [1, 4].

Особливістю струменево-пульсаційного режиму (рисунок 1) є утворення газової бульбашки, яка витісняє тверді частинки за межі початкового шару. Після відриву бульбашки матеріал виноситься в надшаровий простір, контактує з направляючою вставкою та повертається у робочу зону. Це забезпечує інтенсивну циркуляцію і збільшення активної поверхні міжфазового контакту.

При даному режимі реалізується пульсуюча подача теплоносія в автоколивальному режимі, що приводить до інтенсифікації тепломасообмінних

процесів. Ця фізична модель для сферичних частинок була перевірена під час грануляції органомінеральних добрив [5].

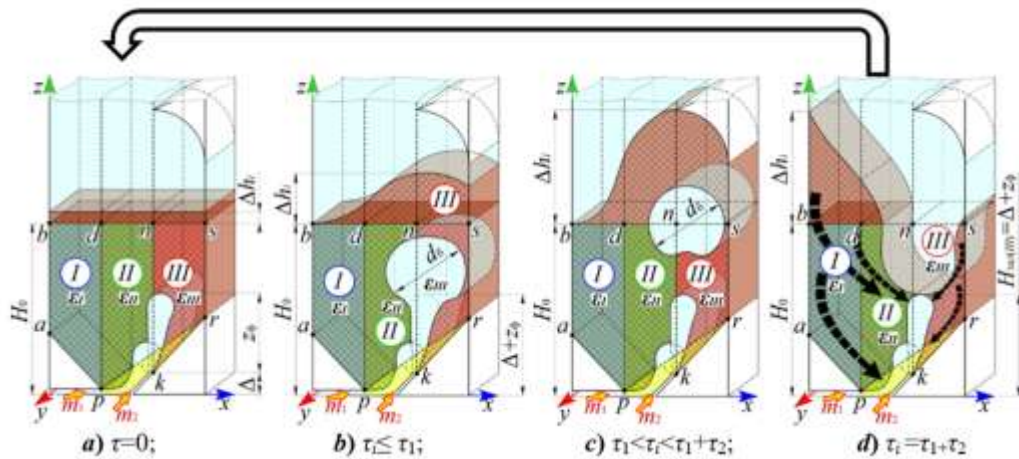


Рисунок 1 – Спосіб взаємодії газової та твердої фаз у камері гранулятора при неоднорідному псевдозрідненні в автоколивальному режимі (один цикл) [4]

У разі несферичної форми твердих частинок взаємодія газового потоку з матеріалом має суттєві особливості. Як модельний матеріал обрано зерна пшениці, форма яких наближається до еліпсоїда.



а) розташування зерен пшениці в стані спокою ($\varepsilon = 0,4$)



б) розташування зерен пшениці в режимі «пневмотранспорту» ($\varepsilon = 0,8-0,9$)



в) взаємодія газового потоку із окремою зерниною

Рисунок 2 – Фізична модель взаємодії газового зріджуючого агента з еліпсоїдами

У газовому потоці зерно орієнтується мінімальною проєкцією вздовж напрямку руху, що зменшує лобовий гідродинамічний опір. Така зміна

положення частинок сприяє локальному збільшенню порозності шару майже вдвічі, рисунок 2а, б і в.

На першому етапі досліджень визначали криву псевдозрідження, критичну швидкість $w_{кр}$ та гідравлічний опір шару $\Delta P_{ш}$. Як зернистий матеріал використовували зерна пшениці еліпсоїдної форми із середніми розмірами $6,4 \times 2,8 \times 2,65$ мм та еквівалентним діаметром $d_e = 3,621$ мм. Густина частинок становила 1270 кг/м³, насипна густина — 762 кг/м³, а порозність нерухомого шару — $\varepsilon_0 = 0,4$.

На другому етапі досліджували гідродинаміку неоднорідного струменевопульсаційного псевдозрідження методом високошвидкісної відеозйомки. Експерименти проводили за початкової висоти шару $H_0 = 0,32$ м та $H_0 = 0,52$ м для порівняння інтенсивності об'ємного перемішування. Відеофіксацію здійснювали з інтервалом $\Delta\tau = 0,033$ с, що дозволило проаналізувати автоколивальний цикл і визначити об'єм винесеного матеріалу.

Крива псевдозрідження, рисунок 3, показує наявність збільшення гідравлічного опору при критичній швидкості на величину $\Delta\pi = 850$ Па.

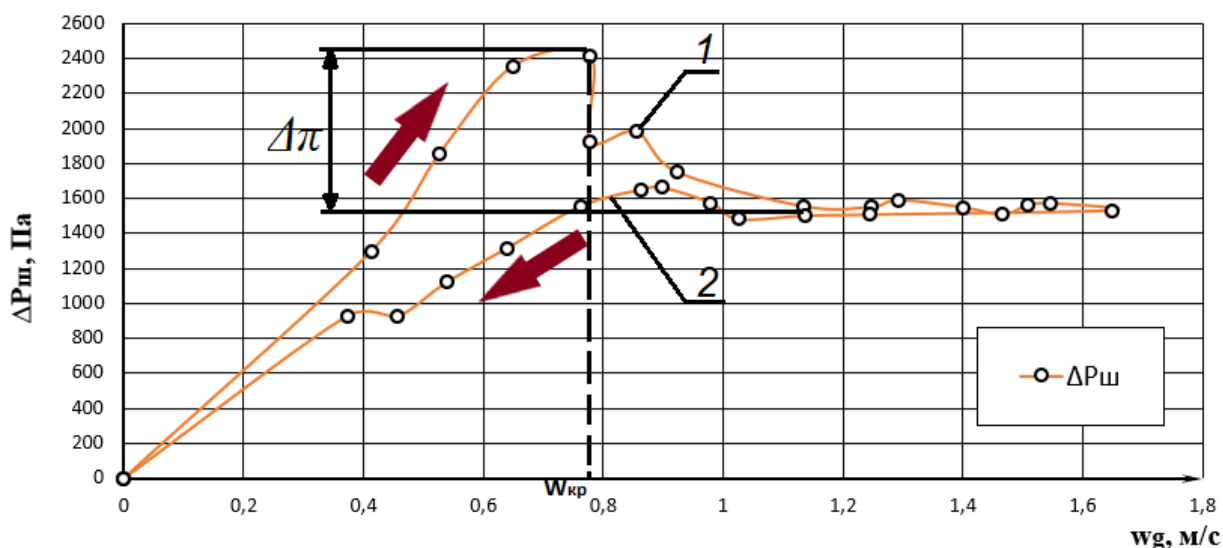


Рисунок 3 – Крива псевдозрідження: 1 - прямий і 2 - зворотній хід при

$$H_0 = 0,32 \text{ м } (w_{кр} = 0,78 \text{ м/с})$$

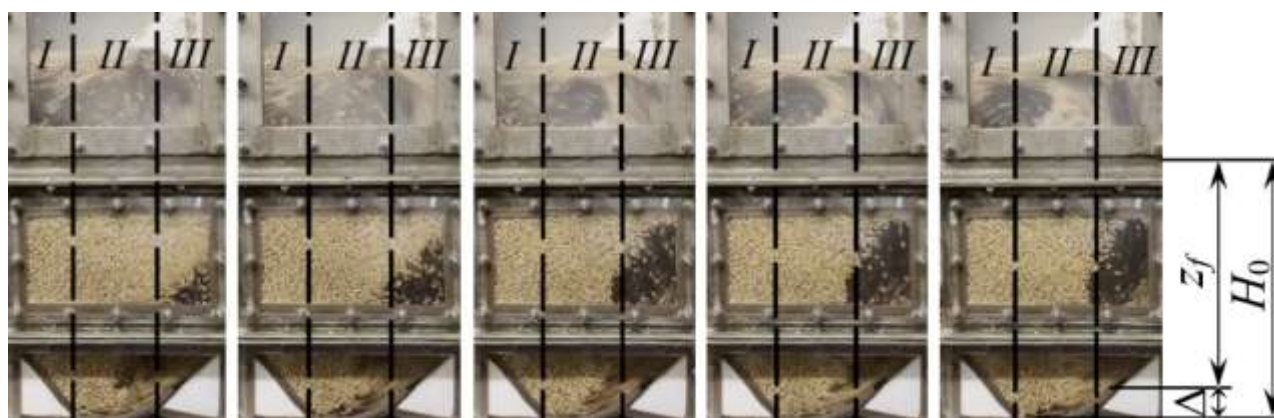
Тобто, що при критичній швидкості псевдозрідження $w_{кр} = 0,78$ м/с тиск, що витрачається на подолання сил тертя $\Delta\pi$ складає майже 800 Па, що становить

практично 50% від номінального значення гідравлічного опору. Другою особливістю є значне зменшення гідравлічного опору на кривій псевдозрідження на зворотному ході, рисунок 5. Це свідчить про те, що при цій висоті нерухомого шару для твердих частинок еліпсоїдної форми реалізується фонтануючий режим псевдозрідження.

Наведені нижче фотознімки зміни гідродинаміки неоднорідного псевдозрідження із часовим інтервалом 0,033 с між кадрами підтверджують наявність тільки фонтануючого режиму псевдозрідження.

Досліди проводились при умовах які забезпечують усунення застійних зон на робочих поверхнях ГРП: $K_w = 2,12$; $w_{g(\text{прив})} = 1,65$ м/с; $w_{\text{ш}} = 38,9$ м/с.

На першій стадії пульсації $0 \leq \tau \leq 0,132$ с, рисунок 4, формується локалізована активна зона в правій частині камери, у зоні III. Частинки верхнього шару захоплюються потоком і виносяться вгору, утворюючи «факельний викид». Ліва частина шару в зонах I–II залишається більш щільною. Це свідчить про струменевий характер процесу: велика газова бульбашка не формується, а винесення частинок відбувається у вузькій активній зоні.



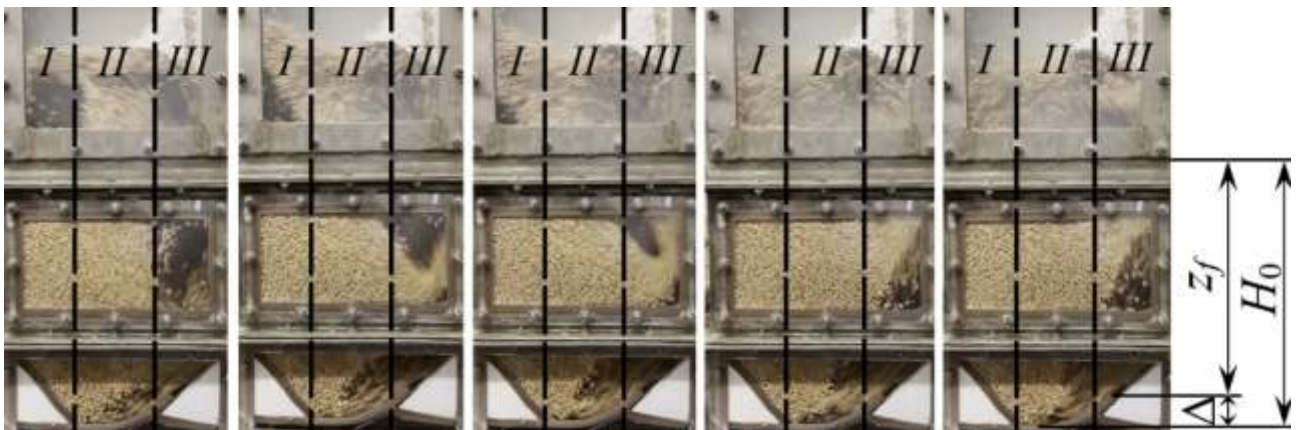
а) $\tau = 0,00$ с б) $\tau = 0,033$ с в) $\tau = 0,066$ с г) $\tau = 0,099$ с д) $\tau = 0,132$ с

Рисунок 4 – Фотофіксації стану шару зернистого матеріалу в камері гранулятора на першій стадії пульсації $0 \leq \tau \leq 0,132$ s ($H_0 = 0,32$ s; $d_e = 3,621$ мм; $K_w = 2,12$; $w_{g(\text{прив})} = 1,65$ м/с; $w_{\text{ш}} = 38,9$ м/с; $\gamma = 29,67$)

На другій стадії пульсації $0.165 \leq \tau \leq 0.297$ s, рисунок 5, інтенсивність винесення частинок у зоні III зростає та переходить у стійкий локальний потік,

подібний до «пневмотранспорту». Матеріал підхоплюється, прискорюється і виноситься вгору, формуючи циркуляцію в нижній частині камери. Процес має асиметричний характер: у зоні III відбувається активне розрідження й винесення частинок, тоді як зони I–II залишаються щільнішими. Поперечне перемішування обмежене, тому переважає циркуляція вздовж траєкторії потоку.

Проведені експериментальні дослідження свідчать про те, що по ширині апарату нерівномірно розподіляється порозність ε . Якщо в зоні I та II порозність становить $\varepsilon = 0,4–0,5$, то у факелі, що утворюється в зоні III, йде зміна порозності $\varepsilon = 0,5–0,9$, рисунок 4-5, тому що зернистий матеріал (пшениця) орієнтується мінімальною проекцією вздовж напрямку руху частинок, що підтверджує положення фізичної моделі, сформульованої вище.



а) $\tau = 0,165$ с б) $\tau = 0,198$ с в) $\tau = 0,231$ с г) $\tau = 0,264$ с д) $\tau = 0,297$ с

Рисунок 5 – Фотофіксації стану шару зернистого матеріалу в камері гранулятора на другій стадії пульсації $0,165 \leq \tau \leq 0,297$ s ($H_0 = 0,32$ м; $d_e = 3,621$ мм; $K_w = 2,12$; $w_{g(\text{прив})} = 1,65$ м/с; $w_{\text{ш}} = 38,9$ м/с; $\gamma = 29,67$)

Упродовж усіх стадій не спостерігається формування єдиної бульбашки при $z_f = 280$ мм, тобто діаметр бульбашки газу, м:

$$d_b = 4 (H_0 - z_f - \Delta) / (4 + \pi) \rightarrow 0.$$

Активна зона формувалася лише з правого боку, тоді як ліва частина зберігала підвищену щільність. В такому випадку реалізується асиметричний фонтануючий циркуляційний режим з недостатнім об'ємним перемішуванням,

що теж підтверджує, що необхідність збільшення висоти початкового нерухомого шару.

Результати гідродинаміки при висоті $H_0 = 520$ мм наведені у вигляді фотографій, рисунок 6.

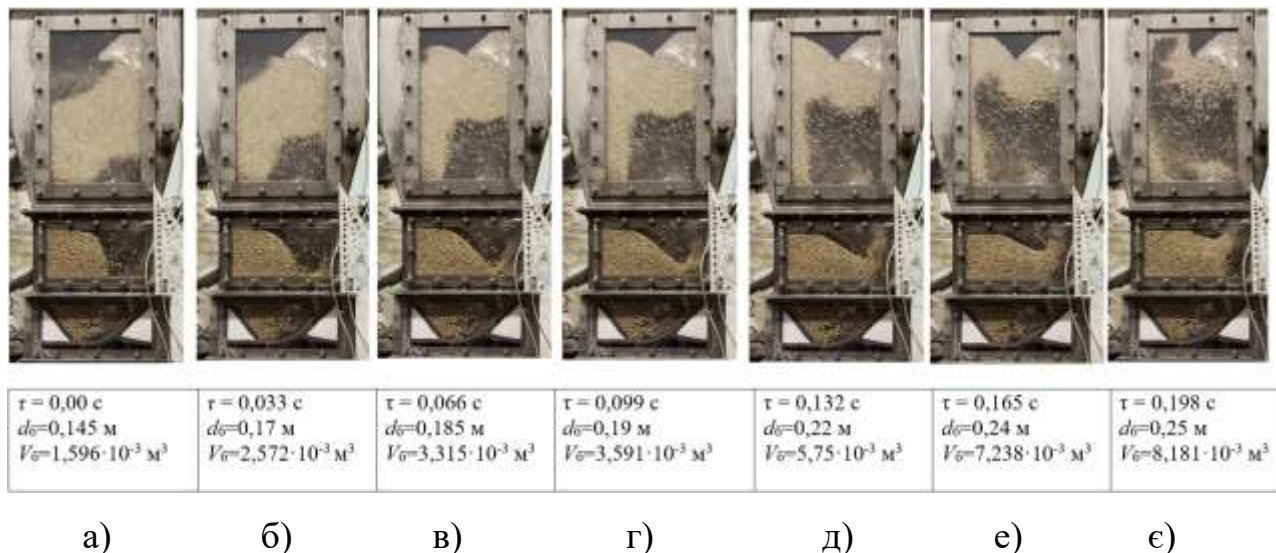


Рисунок 6 – Еволюція газової бульбашки при $H_0 = 0,52$ м; ($d_e = 3,621$ мм; $K_w = 2,268$; $w_{g(\text{прив})} = 1,55$ м/с; $w_{\text{ш}} = 36,48$ м/м; $\gamma = 27,86$)

Характерною особливістю при збільшенні висоти шару є довільна форма бульбашки, рисунок 6, що пов'язано з різким локальним збільшенням порозності по периметру бульбашки в індукційний період. При чому на частині периметру зорієнтованого до вертикальної осі апарату зернистий матеріал розвертається, щоб мінімізувати гідравлічний опір при взаємодії зі зріджуючим агентом і перебуває в русі. Відношення об'єму газової бульбашки до початкового об'єму шару в інтервалі часу $0 \leq \tau \leq 0,132$ с зростає від 10 % до 37 %, рисунок 6. На таку ж величину зростає і гідравлічний опір, що призведе до адекватного зменшення витрат зріджуючого агента, які відновляться в кінці циклу. Такий пульсуючий режим подачі теплоносія разом з інтенсивним об'ємним перемішуванням зернистого матеріалу в шарі сприятиме підвищенню процесів перенесення. Окрім того значне збільшення загальної активної поверхні міжфазового контакту

дозволить при зменшеній рушійній силі по теплообміну досягти бажаного результату. Такий результат досягнуто при відношенні $z_f/H_0=0,538$.

Проведені експериментальні дослідження дозволили виявити умови ефективного застосування для проведення інтенсифікації процесів перенесення у шарі зернистого матеріалу еліпсоїдної форми.

Отже, підтверджено фізичну модель для несферичних частинок зерна. Встановлено, що в газовому потоці еліпсоїдальне насіння пшениці орієнтується найменшим перерізом уздовж напрямку потоку, що зменшує гідравлічний опір і збільшує порозність шару до $0,5 \leq \varepsilon \leq 0,9$. Це сприяє формуванню асиметричного фонтануючого потоку, у якому об'єм газової бульбашки зростає до 37% від початкового об'єму шару.

Застосування неоднорідного струменево-пульсаційного псевдозрідження забезпечує активне перемішування та циркуляцію насінневого матеріалу. Понад 40% маси шару пульсаційно виноситься в надшаровий простір із частотою 1,5–2,0 Гц, що збільшує поверхню контакту фаз та інтенсифікує тепло- і масообмін. Це дає змогу ефективно здійснювати сушіння й капсулювання насіння за температури до 40 °С, без механічного пошкодження та утворення агломератів.

Список використаної літератури:

1. Korniyenko, B., Kornienko, Y., Haidai, S., Liubeka, A., Huliienko, S.: Conditions of Non-uniform Fluidization in an Auto-oscillating Mode. *Adv. Intell. Syst. Comput.* 463, 14–27 (2022).
2. Kornienko, Y.M., Haidai, S.S., Sachok, R.V., Liubeka, A.M., Korniyenko, B.Y.: Increasing of the heat and mass transfer processes efficiency with the application of non-uniform fluidization. *ARNP J. Eng. Appl. Sci.* 15(7), 890–900 (2020).
3. Korniyenko, Y., Liubeka, A., Korniyenko, B., Sachok, R.: Modeling of heat exchangement in fluidized bed with mechanical liquid distribution. *J. Eng. Appl. Sci.* 14(12), 2203-2210 (2019).

4. Korniyenko, B., Kornienko, Y., Haidai, S., Liubeka, A.: Hydrodynamics of Inhomogeneous Jet-Pulsating Fluidization. *Adv. Intell. Syst. Comput.* 181, 560-573 (2023).
5. Y. Korniyenko, S. Haidai, A. Liubeka, S. Turko, and O. Martynyuk, "Modelling of pulsating mode of fluidization when obtaining organic-mineral fertilizers," *Ukr. Food J.*, vol. 5, no. 4, pp. 781-794, 2016.

UDC 628.5:66.002.8

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ РІДКОЇ ФАЗИ В ЧАШОВОМУ РОТАЦІЙНОМУ ДИСПЕРГАТОРІ З УРАХУВАННЯМ РЕОЛОГІЇ СУСПЕНЗІЇ

д.т.н., проф. Я.М. Корнієнко, аспірант Д.В. Стьопочкін

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

АНОТАЦІЯ: У роботі обґрунтовано математичну модель руху рідкої фази в чашовому ротаційному диспергаторі, що застосовується для передпосівного оброблення насіння у псевдозрідженому шарі. Модель враховує конічну геометрію робочого органа, формування тонкої плівки, псевдопластичну реологію суспензії та гідродинамічний критерій Hg для забезпечення одношарового режиму течії. Результати розрахунків показують, що за вибраних параметрів досягається формування крапель діаметром до 50 мкм, а температура поверхні зерна не перевищує допустиме значення, що знижує ризик агломерації та сприяє збереженню схожості насіння.

ABSTRACT: The paper substantiates a mathematical model of liquid-phase motion in a rotary cup atomizer used for pre-sowing seed treatment in a fluidized bed. The model accounts for the conical geometry of the working element, thin-film formation, pseudoplastic suspension rheology, and the Hg hydrodynamic criterion required to maintain stable single-layer flow. The calculation results show that the selected operating parameters provide droplets below 50 μm while keeping the seed surface temperature within the allowable range, thereby reducing agglomeration risk and preserving seed viability.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЧАШОВИЙ РОТАЦІЙНИЙ ДИСПЕРГАТОР, ПСЕВДОЗРІДЖЕНИЙ ШАР, ПЕРЕДПОСІВНЕ ОБРОБЛЕННЯ НАСІННЯ,

РІДКА ФАЗА, ПЛІВКА РІДИНИ, ПСЕВДОПЛАСТИЧНА СУСПЕНЗІЯ, КРИТЕРІЙ HG, РОЗПИЛЕННЯ, ДІАМЕТР КРАПЕЛЬ, ТЕПЛОВА МОДЕЛЬ;

KEY WORDS: ROTARY CUP ATOMIZER, FLUIDIZED BED, PRE-SOWING SEED TREATMENT, LIQUID PHASE, LIQUID FILM, PSEUDOPLASTIC SUSPENSION, HG CRITERION, ATOMIZATION, DROPLET DIAMETER, THERMAL MODEL.

Технологія передпосівного оброблення насінневого матеріалу у псевдозрідженому шарі передбачає нанесення на поверхню зерна рідкої фази з високим вмістом сухої речовини та подальше випаровування розчинника [5; 10; 11]. Основною умовою формування рівномірної захисної оболонки є одержання дрібнодисперсного факела з діаметром крапель не більше 50 мкм [3; 4]. За більших розмірів крапель виникає ризик утворення рідинних містків між зернами, що призводить до агломерації та погіршення якості покриття [5; 7].

Відомі пристрої введення рідкої фази — верхнє розпилення, апарат Вурстера, ProCell та дискові розпилювачі — мають обмежений об'єм зони зрошення і не завжди забезпечують рівномірне зволоження зерен при роботі з гетерогенними суспензіями [5; 6]. Наявні математичні моделі переважно орієнтовані на ньютонівські рідини, плоскі диски або однокомпонентні розчини і недостатньо враховують конічну геометрію робочого органа, псевдопластичну реологію суспензій та температурне обмеження для насіння [1; 2].

Метою роботи є обґрунтування математичної моделі руху рідкої фази в чаші ротаційного диспергатора з урахуванням реологічних властивостей рідини, умов формування одношарової плівки та необхідності отримання крапель заданого розміру для передпосівного оброблення зерна пшениці.

Розглянуто ротаційний чашовий диспергатор у вигляді зрізаного конуса з перфорованою бічною поверхнею [3]. Поточний радіус конуса змінюється від мінімального радіуса R_1 до максимального радіуса R_2 вздовж твірної L . Бічна

поверхня умовно поділена на зону формування плівки без перфорації та зону диспергування, де рідина відводиться через систему отворів у псевдозріджений шар.

У моделі прийнято, що товщина плівки δ значно менша за поточний радіус, течія є усталеною та осесиметричною, а рідина може описуватися степеневим законом Оствальда–де Ваале: $\tau = K\dot{\gamma}^n$ [8; 9]. При $n = 1$ модель переходить у випадок ньютонівської рідини, а при $n < 1$ описує псевдопластичні суспензії, характерні для систем «торф — мікроорганізми — полімерні зв'язуючі».

Рівняння руху плівки побудовано з балансу відцентрових і в'язких сил у проекції на твірну конічної поверхні [3; 9]. Для ньютонівської рідини одержано залежність товщини плівки від витрати, в'язкості, густини, кутової швидкості та радіуса: $\delta(r) = [3\mu Q / (2\pi r \omega^2 r^3 \sin(\alpha/2))]^{1/3}$. Для псевдопластичної рідини аналогічне співвідношення узагальнено через показник течії n та коефіцієнт консистентності K .

Для оцінювання гідродинамічного режиму введено безрозмірний критерій $Hg = Re_p \cdot Fr$, де $Re_p = q/v$ — плівковий критерій Рейнольдса, $Fr = \omega^2 R_1/g$ — відцентровий критерій Фруда [3]. Критерій Hg характеризує співвідношення інерційних відцентрових ефектів і в'язких сил. Раціональним вважається одношаровий режим плівки, для якого $Hg \leq 4,0 \cdot 10^4$; для забезпечення діаметра крапель до 50 мкм доцільним є жорсткіше обмеження $Hg \leq (3,0-3,5) \cdot 10^4$ [3].

Розмір крапель визначали з урахуванням товщини плівки, числа Вебера та напівемпіричного зв'язку між товщиною плівки і діаметром краплі [1; 3; 4]. Для перфорованої чаші використано оцінку $d_k \approx 4\delta$, що відповідає раціональному лігаментному режиму диспергування та дає змогу пов'язати витрату рідини, частоту обертання і розмір крапель [3; 4].

Окремо враховано тепловий режим процесу, оскільки насіння є термолабільним матеріалом [11]. Тепловий баланс одного зерна записано з

урахуванням конвективного теплообміну з газовою фазою та витрат теплоти на випаровування розчинника [9; 10]: $m c(dT/dt) = hS(T_{\Gamma} - T_3) - r_e L_v$. Обмежувальною умовою є температура поверхні зерна $T_3 \leq 40$ °С.

Числові розрахунки виконано для чашового диспергатора з параметрами: $R_1 = 0,020$ м, $R_2 = 0,040$ м, $\alpha = 50^\circ$, частота обертання $N = 4200$ об/хв, кутова швидкість $\omega = 439,8$ рад/с, лінійна швидкість крайки $17,6$ м/с, об'ємна витрата рідкої фази $Q = 3,5 \cdot 10^{-6}$ м³/с. Для суспензії прийнято $\rho = 1220$ кг/м³, $\mu = 0,015$ Па·с, $\sigma = 0,058$ Н/м; для псевдопластичної моделі $n = 0,72$, $K = 0,045$ Па·сⁿ.

Для ньютонівської моделі отримано $Re_p = 2,26$, $Fr = 3868$ та $Hg = 8,74 \cdot 10^3$. Отже, значення Hg є суттєво нижчим за критичне, що підтверджує існування стабільного одношарового режиму руху плівки з коефіцієнтом запасу близько 4,6. Розрахункова товщина плівки становить приблизно 22,7 мкм на мінімальному радіусі та 18,0 мкм на максимальному радіусі.

За наведених параметрів число Вебера становить близько 115, а середній діаметр крапель для ньютонівського наближення оцінюється на рівні 32 мкм. З урахуванням псевдопластичної поведінки суспензії товщина плівки збільшується приблизно на 25 %, а прогнозований діаметр крапель зростає до 40 мкм. Обидва значення не перевищують гранично допустимого рівня 50 мкм, тобто умова запобігання агломерації насінневого матеріалу виконується.

Тепловий розрахунок для зерна пшениці із площею поверхні близько $4,59 \cdot 10^{-5}$ м², коефіцієнтом тепловіддачі 100 Вт/(м²·К) та температурою теплоносія 55 °С показав, що максимальна допустима витрата рідкої фази становить приблизно $1,15 \cdot 10^{-5}$ м³/с. Прийнята витрата $Q = 3,5 \cdot 10^{-6}$ м³/с не перевищує цього значення, а очікувана температура поверхні зерна залишається нижчою за 35 °С. Таким чином, умова збереження схожості насіння виконується з достатнім запасом.

Практичне значення отриманих залежностей полягає у можливості визначення раціональної частоти обертання, витрати рідини і параметрів

перфорації чашового диспергатора для формування дрібнодисперсного факела без перегрівання насіння. Це може бути використано під час проектування обладнання для інкрустації та дражування зерна у псевдозрідженому шарі.

Висновки

Побудовано моделі руху рідкої фази по конічній поверхні чашового ротаційного диспергатора, яка враховує баланс відцентрових і в'язких сил та реологічні властивості суспензії. Запропоновано використовувати критерій $Ng = Re_p \cdot Fr$ для визначення умов одношарового руху плівки. Для дослідженого режиму $Ng = 8,74 \cdot 10^3$, що значно менше критичного значення $4,0 \cdot 10^4$. Встановлено, що за частоти обертання 4200 об/хв та витрати $3,5 \cdot 10^{-6}$ м³/с прогнозований діаметр крапель становить приблизно 32 мкм для ньютонівської моделі та близько 40 мкм для псевдопластичної суспензії, тобто не перевищує допустимі 50 мкм. Теплова модель показала, що температура поверхні зерна за прийнятих параметрів не перевищує 35 °С, що відповідає вимогам збереження схожості насінневого матеріалу. Подальші дослідження доцільно спрямувати на експериментальну перевірку спектра крапель, уточнення емпіричної сталої для перфорованої чаші та оптимізацію геометрії перфорації.

Використані джерела:

1. Shehata, Mohamed. (2003). Characteristics of the Rotary Cup Atomizer. 7. 55-74.
2. Sahu, Srikrishna & Chakraborty, Arnab & Maurya, Dalton. (2020). Coriolis-induced liquid breakup and spray evolution in a rotary slinger atomizer: Experiments and Analysis. International Journal of Multiphase Flow. Volume 135. 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103532.
3. Любека А.М. Розробка та дослідження чашового ротаційного диспергатора для апаратів з псевдозрідженим шаром : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08 / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ, 2021. – 165 с.

4. Lefebvre, Arthur & Mcdonell, Vincent. (2017). Atomization and Sprays. 10.1201/9781315120911.
5. Kieckhefen, Paul & Pietsch-Braune, Swantje & Heinrich, S.. (2022). Product-Property Guided Scale-Up of a Fluidized Bed Spray Granulation Process Using the CFD-DEM Method. Processes. 10. 1291. 10.3390/pr10071291.
6. Wurster, Dale. (2006). Air-Suspension Technique of Coating Drug Particles—A Preliminary Report. Journal of the American Pharmaceutical Association. 48. 451 - 454. 10.1002/jps.3030480808.
7. Cantor, Stu & Augsburg, Larry & Hoag, Stephen & Gerhardt, Armin. (2008). Pharmaceutical Granulation Processes, Mechanism and the Use of Binders. 10.1201/b15115-9.
8. Malagutti, Lorenzo & Mazzanti, Valentina & Mollica, Francesco. (2022). A MATLAB-Based Software for Estimating Measurement Uncertainties in Capillary Viscometry. Macromolecular Symposia. 405. 2100401. 10.1002/masy.202100401.
9. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології : підручник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – Ч. 2. – 400 с.
10. Li, H.. (2018). Fluidization science and technology at institute of process engineering-60th anniversary celebration for the foundation of Institute of Process Engineering. Guocheng Gongcheng Xuebao/The Chinese Journal of Process Engineering. 18. 657-668. 10.12034/j.issn.1009-606X.218192.
11. Pospelova, Anna. (2024). Сучасні аспекти і технології у захисті рослин : Матеріали VI Міжнародної наук.-практ. інтернет-конференції. 10.5281/zenodo.14534615.

UDC 621.928.3

**PARAMETRIC ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF OPERATING
AND DESIGN PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF GAS-DUST FLOW
CLEANING IN A CYCLONE WITH MESH INSERTS AND WATER
INJECTION**

graduate student M.V. Dyshkant, Ph.D., Assoc. Stepaniuk A.R.
**National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

ABSTRACT: *The influence of operating and design parameters on the efficiency of gas-dust flow cleaning in a cyclone apparatus equipped with mesh inserts and a water injection system is considered. The effect of gas inlet velocity, porosity of mesh elements, irrigation liquid flow rate, and particle size on the cut-off diameter, fractional collection efficiency, and hydraulic resistance of the apparatus is analyzed. It is established that an increase in gas velocity and a decrease in mesh porosity improve particle separation but lead to higher pressure losses. The most significant reduction in the cut-off diameter is achieved by water injection due to the condensation growth of particles. The proposed approach can be used for a preliminary assessment of rational operating conditions for modified cyclone apparatuses.*

KEY WORDS: CYCLONE APPARATUS, WATER INJECTION, PARAMETRIC ANALYSIS, FRACTIONAL EFFICIENCY, HYDRAULIC RESISTANCE, DUST COLLECTION.

**ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ РЕЖИМНИХ ТА
КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ
ГАЗОПИЛОВОГО ПОТОКУ В ЦИКЛОНІ З СІТЧАСТИМИ ВСТАВКАМИ
ТА ВПРИСКОМ ВОДИ**

аспірант Дишкант М.В., к.т.н., доц. Степанюк А.Р.
**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

АНОТАЦІЯ: Розглянуто вплив режимних та конструктивних параметрів на ефективність очищення газопилового потоку в циклонному апараті з сітчастими вставками та вприском води. Проаналізовано вплив вхідної швидкості газу, пористості сітчастих елементів, витрати зрошувальної рідини та розміру частинок пилу на критичний діаметр уловлювання, фракційну ефективність і гідравлічний опір апарату. Встановлено, що підвищення швидкості газу та зменшення пористості сітки покращують сепарацію, але збільшують втрати тиску. Найбільш суттєве зменшення критичного діаметра уловлювання забезпечує вприск води за рахунок конденсаційного зростання частинок.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЦИКЛОННИЙ АПАРАТ, СІТЧАСТІ ВСТАВКИ, ВПРИСК ВОДИ, ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ, ФРАКЦІЙНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР, ПИЛОВЛОВЛЕННЯ.

The Cyclone apparatuses are widely used for cleaning gas flows from solid particles due to their simple design, absence of moving elements, and ability to operate under conditions of elevated temperature and dust concentration [1]. However, conventional cyclones have limited efficiency in capturing fine particles, especially fractions smaller than 5–10 μm [2].

To increase the cleaning efficiency, a modified cyclone apparatus with mesh inserts in the conical part and a water injection system is considered. The mesh inserts stabilize the swirling flow, reduce turbulent pulsations, and prevent the secondary entrainment of particles. Water injection promotes the condensation growth of particles, which increases their effective aerodynamic diameter and improves the conditions for inertial separation [3, 4].

The parametric analysis was carried out for the following parameters: gas inlet velocity, porosity of mesh inserts, irrigation liquid flow rate, and particle size. The cut-

off diameter d_{50} , the collection efficiency of 5 μm particles, and the hydraulic resistance of the apparatus were selected as the main evaluation criteria.

The variation ranges of the main operating and design parameters and the corresponding calculated results are presented in Table 1.

Table 1 - Influence of operating and design parameters on the characteristics of the apparatus

Parameter	Range of variation	d_{50} , μm	η (5 μm), %	Δp , Pa
Gas inlet velocity, m/s	12–22	3,5–7,0	55–92	400–1400
Mesh porosity	0,60–0,85	3,0–5,5	65–88	600–1100
Water injection flow rate, L/(min·m ³ /s)	0,5–2,0	1,5–5,0	72–95	650–1050
Particle diameter, μm	1–20	—	30–99	—

An increase in the gas inlet velocity from 12 to 22 m/s leads to a decrease in the cut-off diameter from approximately 7.0 to 3.5 μm . At the same time, the collection efficiency of 5 μm particles increases from 55 to 92 %. However, the hydraulic resistance also increases from 400 to 1400 Pa. Therefore, an increase in gas velocity improves separation but requires higher energy consumption [1, 2].

A decrease in mesh porosity from 0.85 to 0.60 also improves the cleaning efficiency. The collection efficiency of 5 μm particles increases from 65 to 88 %, while the cut-off diameter decreases from 5.5 to 3.0 μm . This is explained by the fact that a less porous mesh has a stronger effect on the flow structure and reduces the secondary entrainment of particles. At the same time, an excessive decrease in porosity leads to an increase in pressure losses [3].

The irrigation liquid flow rate has the most significant influence. When it increases from 0.5 to 2.0 L/(min·m³/s), the cut-off diameter decreases from 5.0 to 1.5 μm , while the collection efficiency of 5 μm particles increases from 72 to 95 %. This is

associated with heterogeneous condensation of water vapor on the surface of particles and droplets, which increases the effective particle size and enhances the action of centrifugal forces [4, 5].

The comparison of fractional efficiency for the conventional and modified cyclone is shown in Fig. 1.

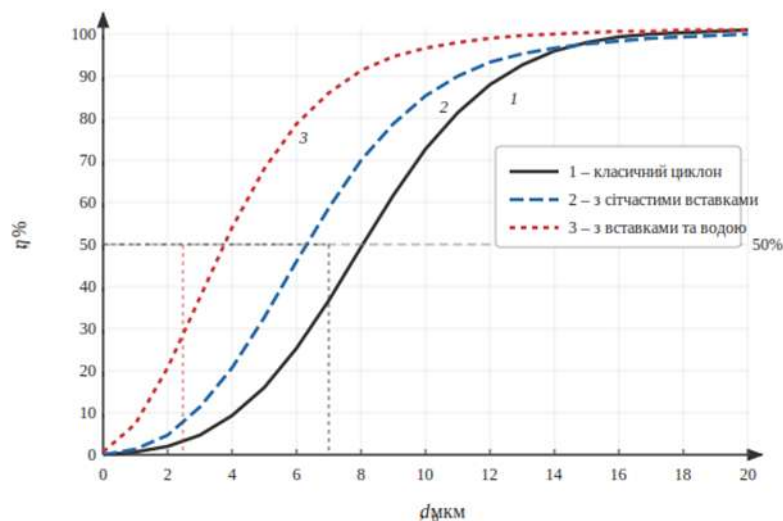


Fig. 1 - Fractional collection efficiency curves: 1 - conventional cyclone; 2 - cyclone with mesh inserts; 3 - cyclone with mesh inserts and water injection.

The comparison of fractional efficiency curves shows that the cyclone with mesh inserts provides higher efficiency in capturing fine particles compared with the conventional design. The additional use of water injection shifts the efficiency curve toward smaller particle diameters, which indicates an expansion of the operating range of the apparatus for fine dust collection.

Thus, the combined use of mesh inserts and water injection provides a dual effect: stabilization of the swirling flow and an increase in the effective particle size. At the same time, optimization of the apparatus parameters should consider not only the maximum cleaning efficiency but also the permissible level of hydraulic resistance.

Conclusion. The parametric analysis showed that the efficiency of gas-dust flow cleaning in a cyclone with mesh inserts and water injection significantly depends on gas velocity, porosity of mesh elements, and irrigation liquid flow rate. An increase in

gas velocity and a decrease in mesh porosity improve separation efficiency but increase hydraulic resistance. Water injection is the most effective factor in reducing the cut-off diameter. The combined application of mesh inserts and irrigation is a promising direction for improving cyclone apparatuses used for cleaning gas-dust flows from fine particles.

References.

1. El-Emam M. A., Zhou L., Shi W., Han C. Numerical investigation of cyclone separators: physical mechanisms and theoretical algorithms. *ChemBioEng Reviews*. 2024. Vol. 11, No. 1. P. 75–112. DOI: 10.1002/cben.202300052.
2. Vermande Paganel C. V. CFD simulation of an industrial dust cyclone separator: a comparison with empirical models. *Journal of Engineering*. 2024. Article 5590437. DOI: 10.1155/2024/5590437.
3. Wang C., Ma Y., Sui W. The secondary flows in a cyclone separator: a review. *Processes*. 2023. Vol. 11, No. 10. Article 2935. DOI: 10.3390/pr11102935.
4. Li S., Cheng T., Yu H., Xiang Y., Wang B. Promoting fine particle removal in cyclone by spray agglomeration and heterogeneous condensation. *Powder Technology*. 2024. Vol. 448. Article 120347. DOI: 10.1016/j.powtec.2024.120347.
5. Dong J., Chen G., Zhang P., Li J. Separation Performance Enhancement of Gas-Solid Cyclone Separators by Flow Control and Coupling Physical Fields. *Separation & Purification Reviews*. 2025. DOI: 10.1080/15422119.2025.2464111.

СЕКЦІЯ 2
«ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ»

UDC 678.674:547.458

INVESTIGATION OF BIODEGRADATION OF STARCH-BASED FILMS IN SOIL ENVIRONMENT

assistant Byshko Mykyta.

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: The paper presents the results of an experimental study of the biodegradation process of starch-based films under controlled soil conditions. Changes in the appearance and mechanical properties of the samples were monitored over a period of 30 days. It was found that exposure to soil leads to the loss of plasticizer, a decrease in material elasticity, and gradual biological degradation of the film structure.

KEY WORDS: BIODEGRADABLE FILMS, STARCH, BIODEGRADATION, SOIL ENVIRONMENT, PLASTICIZER, GLYCEROL

ДОСЛІДЖЕННЯ БІОРОЗКЛАДАННЯ ПЛІВОК НА ОСНОВІ КРОХМАЛЮ В ҐРУНТОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

асистент Бишко М.А,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: Наведено результати експериментального дослідження процесу біорозкладання плівок на основі крохмалю в контрольованих ґрунтових умовах. Проведено спостереження за зміною зовнішнього вигляду та механічних властивостей зразків протягом 30 діб. Встановлено, що перебування плівок у ґрунті призводить до втрати пластифікатора, зниження еластичності матеріалу та поступового біологічного руйнування структури.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БІОРОЗКЛАДНІ ПЛІВКИ, КРОХМАЛЬ, БІОДЕСТРУКЦІЯ, ҐРУНТОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ, ПЛАСТИФІКАТОР, ГЛІЦЕРИН

The increasing accumulation of polymer-based waste and its negative environmental impact has intensified research into materials capable of natural degradation after use. In this context, starch-based polymer films are considered a promising alternative to conventional petroleum-derived plastics due to their renewable origin and biodegradability [1; 2]. Starch, being a widely available biopolymer, can be efficiently decomposed by soil microorganisms under appropriate environmental conditions [2; 3]. Furthermore, its properties can be modified through additives such as plasticizers, enabling the adjustment of flexibility and mechanical strength, which makes it suitable for packaging applications [1; 4].

To assess the real-world applicability of such materials, it is essential to examine their degradation behavior under conditions resembling natural disposal environments. For this purpose, an experimental study was conducted to evaluate the degradation of starch-based films in soil.

The experimental setup involved placing film samples in a soil-filled container designed to simulate natural biodegradation conditions. The specimens were buried at an approximate depth of 10 cm, which corresponds to the biologically active upper soil layer where organic matter decomposition typically occurs [4; 5]. Throughout the experimental period, samples were periodically extracted and analyzed to observe changes in their physical state and surface characteristics.

Figure 1 illustrates the condition of the samples prior to burial and after different exposure intervals. Progressive alterations in texture and structural integrity were visually evident. It was also observed that while remaining in soil, the films retained high moisture content; however, after removal and drying, they quickly became rigid and fragile.



Figure 1. Starch-based film samples before and after soil exposure

Such behavior is likely associated with the gradual leaching of plasticizing agents, which are essential for maintaining flexibility in starch-based polymer matrices. Plasticizers such as glycerol are known to migrate under humid conditions, resulting in increased stiffness and reduced mechanical performance [2; 6]. The sharp decline in elasticity after drying corresponds well with previously reported data on starch-based biopolymer systems exposed to moisture-rich environments [2; 4].

Alongside mechanical degradation, partial surface erosion and localized structural damage were detected after 30 days of soil exposure. These observations suggest the initiation of microbial degradation processes, where soil microorganisms utilize starch as an energy and carbon source [4; 5]. This biological activity leads to gradual depolymerization of the material and its transformation into simpler compounds, ultimately contributing to full decomposition.

To quantify the observed changes, a time-dependent degradation curve was constructed (Figure 2). The obtained results demonstrate a consistent trend of progressive deterioration, confirming the susceptibility of starch-based films to biodegradation in soil environments.

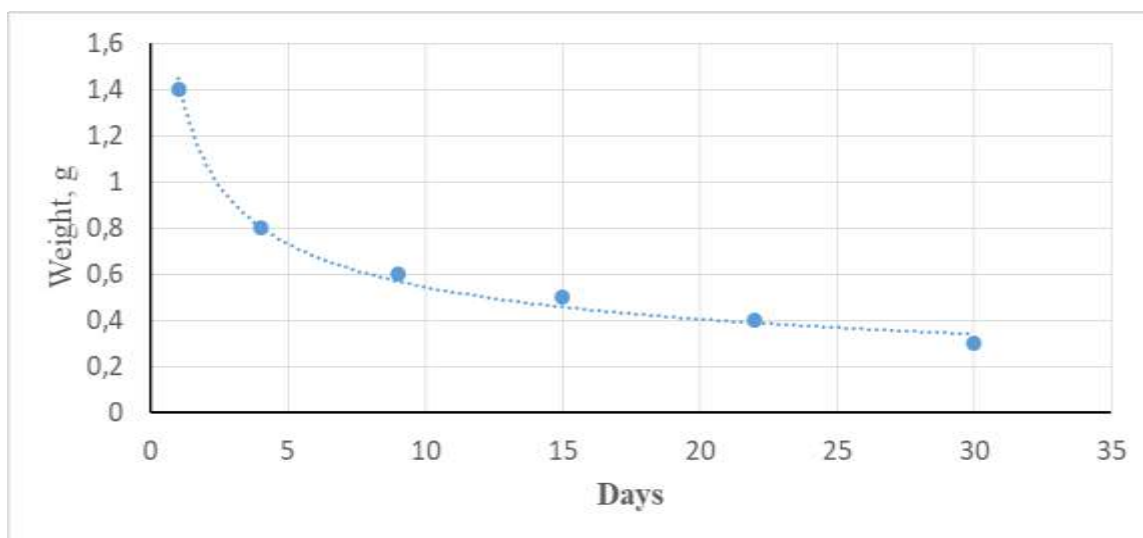


Figure 2. Kinetics of biodegradation of starch-based films during soil exposure

The conducted study demonstrates that starch-based films undergo significant physical and structural changes during soil exposure within a 30-day period. The reduction in elasticity is primarily attributed to plasticizer migration and restructuring of the polymer network, while observed surface degradation indicates active microbial involvement. These findings may contribute to the optimization of biodegradable film formulations and improve predictions of their behavior in natural environmental conditions.

References

1. Dirpan A., Ainani A. F., Djalal M. A Review on Biopolymer-Based Biodegradable Film for Food Packaging. *Polymers*. 2023. Vol. 15(13). P. 2781. DOI: 10.3390/polym15132781.
2. Bangar S. et al. Functionality and Applicability of Starch-Based Films. *Foods*. 2021. Vol. 10(9). P. 2181. DOI: 10.3390/foods10092181.
3. Kulish B. I., Levytskyi B. V., Masiuk A. S. et al. Features of Starch Modification for Polymer Composite Development. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2023. Vol. 6(2). P. 77–84. DOI: 10.23939/ctas2023.02.145.
4. Wang M., Zhang Y., Li J., Guan L. Application of Starch in Biodegradable Films and Mulch Materials: Mechanical and Barrier Properties in

Agricultural Use. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025. Vol. 330. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.145915.

5. Liu E., Zhang L., Dong W., Yan C. Biodegradable Plastic Mulch Films in Agriculture: Feasibility and Challenges. *Environmental Research Letters*. 2021. Vol. 16(1). DOI: 10.1088/1748-9326/abd211.

6. Dong M. et al. Starch-Based Biodegradable Nanocomposite Films with Enhanced Water and Oxygen Barrier Properties. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2024. Vol. 12(27). P. 10345–10356. DOI: 10.1021/acssuschemeng.4c04198.

**СЕКЦІЯ 3
«ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ»**

УДК 66.062.53

ПОСИЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАДИЦІЙНОЇ ДЕГАЗАЦІЇ ВОДИ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ

д.т.н. Б. Целень, Г. д.т.н. Іваницький, к.т.н. А. Недбайло,

к.т.н. Л. Гоженко, к.т.н. Н. Радченко

Інститут технічної теплофізики НАН України

***АНОТАЦІЯ:** Проаналізовано перспективи застосування гідродинамічної кавітації в технологіях дегазації рідин з метою інтенсифікації процесу. Проаналізовано напрямки досліджень у цій сфері, виділено-країни лідери, які успішно впроваджують кавітаційну обробку в технологіях дегазації та вклад українських вчених, зокрема, наведено досягнення ІТТФ НАНУ.*

***ABSTRACT:** The prospects of applying hydrodynamic cavitation in liquid degassing technologies for the purpose of process intensification have been analyzed. The main research directions in this field were examined, the leading countries successfully implementing cavitation treatment in degassing technologies were identified, and the contribution of ukrainian scientists was highlighted, particularly the achievements of the Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГІДРОДИНАМІЧНА КАВІТАЦІЯ, ДЕГАЗАЦІЯ, ВОДОПІДГОТОВКА

KEYWORDS: HYDRODYNAMIC CAVITATION, DEGASSING, WATER TREATMENT

Вступ. Процес дегазації рідин є важливою технологічною операцією в харчовій промисловості, водоочисній, нафтопереробній. Традиційні технології часто пов'язані з втратами продукту або ж вторинним забрудненням, окрім цього, вважаються енерговитратними, а обладнання вимагає значних виробничих площ. Застосування гідродинамічної кавітації в комплексі з традиційними технологіями дегазації може суттєво підвищити її ефективність. Результат досягається за рахунок поєднання дегазації, дезінфекції, гомогенізації.

Безумовною перевагою кавітації є її екологічність, енергоефективність і можливість швидкого масштабується для промислових потреб. За даними досліджень останніх років кавітаційні технології вже успішно застосовуються у вигляді гібридних систем. Наприклад, кавітація і вакуум, кавітація і плазма або різні окиснювачі для синергетичного ефекту тощо. Вчені різних країн активно вдосконалюють конструкції реакторів з оптимізацією геометрії за допомогою CFD-моделювання. Найбільш затребувана вона у країнах з потужною харчовою, нафтопереробною та водоочисною промисловістю, де пріоритетом є енергозбереження та екологія. Лідерами за кількістю впроваджень є країни Азії (Китай, Індія, Японія), де кавітаційні технології масштабують для очистки стічних вод та біопалива і цьому активно сприяють державні програми. У США акцент на сталому водокористуванні та біопаливі для нафтопереробки та харчової галузі. В дослідженнях і пілотних проектах лідирує Європа (Німеччина, Велика Британія, Нідерланди, Італія, Словенія), зокрема, в розробках роторно-статорного обладнання. В Україні значний теоретичний і експериментальний досвід у даному напрямку накопичено в ІТТФ НАНУ, зокрема, у водопідготовці, очистці стічних вод, для дегазації технічної та котлової води. Також у сфері водопідготовки для потреб харчової промисловості при відновленні соків з концентратів [1, 2]. Дослідження підтверджують високу ефективність на соплах Вентурі та РПА. Використання даного обладнання відкриває шлях до імпортозаміщення в харчовій і водопідготовчій галузях, а впровадження дозволить одночасно підвищувати ефективність, знижувати витрати та мінімізувати екологічний слід, що особливо актуально для України.

Література.

1. Целень Б., Ободович О., Недбайло А., Гоженко Л., Радченко Н. Оптимізація процесу водопідготовки для відновлення соків за допомогою гідродинамічної кавітації. *Продовольчі ресурси*. 2024. Т. 12. №23 С. 189-198 DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-22>

2. Ободович О., Целень Б., Саблій Л., Радченко Н., Недбайло А. Сучасні технології водопідготовки для теплоенергетики. *Теплофізика та теплоенергетика* 2025. Т. 47, №1 С. 80-88

MODERNISATION OF THE COKE PRODUCTION PLANT WITH THE DEVELOPMENT OF A DRUM DRYER

Student Tsyupa N.V., PhD, Assoc. Prof. Stepaniuk A.R.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract: *The technology of coke production is presented. The scheme of the drum dryer is described. The necessity for modernisation is substantiated by the installation of internal toothed elements in the design of the drum dryer.*

Keywords: COKE, MODERNISATION, DRUM DRYER, TOOTHED ELEMENTS, HEAT EXCHANGE, MOISTURE

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА КОКСУ З РОЗРОБКОЮ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

студентка Цюпа Н.В., к.т.н., доц. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

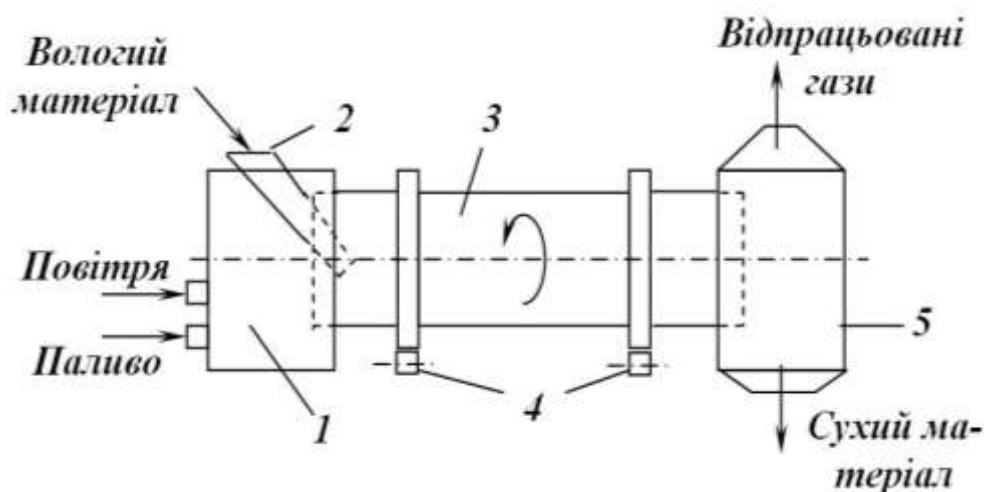
Анотація: *Наведена технологія виробництва коксу. Описано схему барабанної сушарки. Обґрунтовано необхідність модернізації шляхом встановлення внутрішніх зубчастих елементів у конструкцію барабанної сушарки.*

Ключові слова: КОКС, МОДЕРНІЗАЦІЯ, БАРАБАННА СУШАРКА, ЗУБЧАСТІ ЕЛЕМЕНТИ, ТЕПЛООБМІН, ВОЛОГІСТЬ

The raw material is heated in two streams through heat exchangers and furnaces to 520 °C and fed into a rectification column for primary separation. Heavy residues from the bottom of the column are reheated in furnaces and sent to coke chambers, where cyclic coke formation, cooling and unloading by hydraulic cutting take place.[1] Gases and petroleum vapours from the top of the chambers enter a scrubber for

separation into water and distillates. Medium fractions from column 6 are directed to a column, from which, after further purification, light and heavy gas oils are shipped to storage. The overhead products of the main column pass through condensers and a separator to obtain gas and petrol, which is subsequently brought to specification in the column. The system operates on the principle of complete heat recovery, whereby the excess energy of the streams is used for steam generation and heating of the incoming feedstock.

The aim of the work is the modernisation of the drum dryer shown in Figure 1.



1 – furnace; 2 – feed chute; 3 – drum; 4 – rollers; 5 – discharge chamber;

Figure 1 – Drum dryer scheme [2]

Wet material enters the drum 3 through the feed chute 2, where, during rotation, it is picked up by internal blades. These blades lift the raw material to a certain height and evenly drop it down, creating a dense curtain of material across the entire cross-section of the unit. Simultaneously, flue gases from chamber 1 enter the drum and pass through the curtain of material, intensively evaporating moisture due to the large contact area provided by the blades. Thanks to the inclination of the body, mounted on rollers 4, and constant mixing, the dried coke gradually moves to the discharge chamber 5, where it is separated from the exhaust gases and removed from the unit [3].

Advantages:

- High productivity, allowing the processing of large amounts of wet material in a continuous mode;
- Versatility of use, enabling the drying of feedstock with different physical properties and initial moisture content;
- Reliability and simplicity of the design, due to the use of a robust metal drum body 3 and stable supporting rollers 4;
- Process automation, as the continuous movement of material from feed chute 2 to discharge chamber 5 is easily controlled;
- The possibility of using different heat carriers, including direct heating with a mixture of air and fuel supplied to furnace 1;
- Effective mixing ensured by constant rotation of the cylindrical body around its axis.

Disadvantages:

- Mechanical abrasion of the final product when it falls from the blades during the rotation of working part 3;
- The need to clean gases from fine dust at the exit from discharge chamber 5;
- Complexity of sealing the joints between the rotating drum and the stationary furnace 1 and discharge chamber;
- Significant energy consumption in heating the drying agent.

Disadvantages which I intend to eliminate with the proposed solution for drum dryer modernisation:

- Uneven drying of material — thanks to the toothed shape of the blades, the feedstock flow is crushed into smaller parts, allowing hot gases to evenly heat each unit of raw material;
- Formation of lumps and sticking of wet feedstock — sharp teeth on the blades act as crushers, mechanically breaking up stuck masses during lifting and pouring inside the drum;

- Low heat exchange intensity — the toothed structure greatly increases the total contact area between coke and drying agent, as it creates a more branched and dense curtain of material in the working space.

Description of the modernisation of the drum dryer (Figure 2).

The modernisation involves changing the internal structure of the working drum by installing special toothed blades instead of standard smooth partitions.

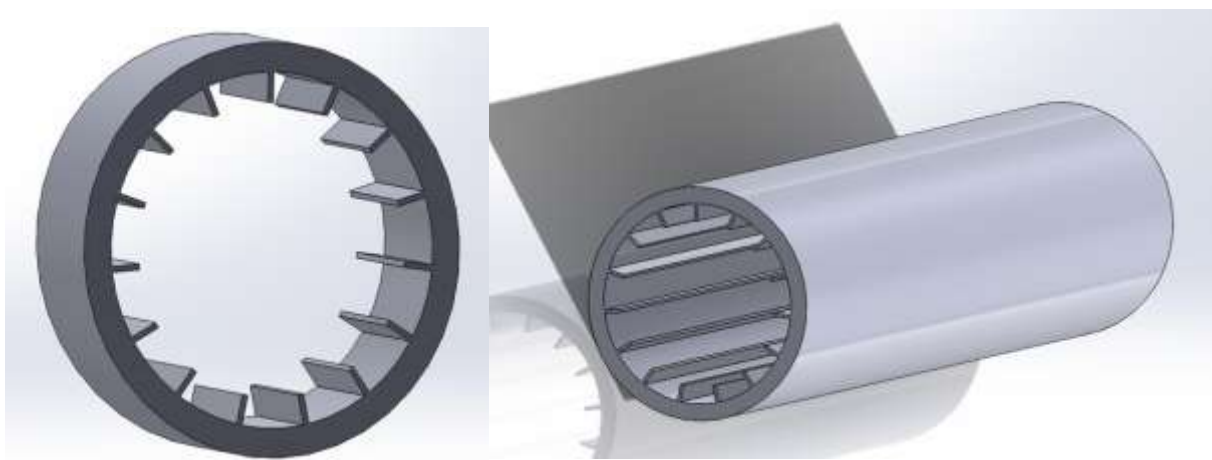


Figure 2 – Scheme of drum dryer modernisation with implementation of toothed blades

The toothed parts are arranged along the entire length of the inner surface of the drum and have uniform cut-outs resembling a comb. During drum rotation, these teeth pick up the wet coal feedstock or coke, lift the raw material to a certain height and periodically drop it down. This geometry allows not only to pour the material in a solid layer, but also to disperse it, creating the densest and most uniform curtain inside the unit.

Specific advantages of my modernisation:

- Intensification of heat and mass transfer — due to better fragmentation of the material flow by the teeth, the contact area between the raw material and the hot heat carrier increases several times;

- Effective loosening — sharp toothed edges mechanically break up stuck lumps of moist feedstock, preventing the formation of large agglomerates;
- Uniform residual moisture — the cascading effect ensures equal heating of both small and large coke fractions throughout the volume;
- Improvement of the final product quality — stable moisture indicators of the feedstock after drying contribute to optimal progression of the subsequent coking process in the chambers;
- Reduction of processing time — accelerated moisture removal allows increased speed of material passage through the drum without loss of drying quality.

List of references

- 1- [https://ce.sumdu.edu.ua/images/e-learning/TONPV/Sklabinskyi V.I. Technological Fundamentals of Oil and Gas Processing.pdf](https://ce.sumdu.edu.ua/images/e-learning/TONPV/Sklabinskyi_V.I.Technological_Fundamentals_of_Oil_and_Gas_Processing.pdf) 05.05.2026
- 2- <https://studfile.net/preview/5063331/page:10/> 05.05.2026
- 3- https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_21/page12.html 05.05.2026

UDC 66.04:536.7

**EXERGY ANALYSIS OF HEAT EXCHANGERS AS A BASIS FOR
IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND REDUCING ENVIRONMENTAL
IMPACT**

assistant Byshko Mykyta.

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT: This paper considers the application of the exergy approach for evaluating the performance of heat exchangers in industrial energy systems. It is shown that conventional energy analysis is insufficient for identifying the quality of energy losses, whereas exergy analysis allows quantification of irreversibilities and inefficiencies. The main governing equations are presented, and the influence of design, hydrodynamic, and operational factors on exergy efficiency and environmental impact is discussed.

KEY WORDS: EXERGY, HEAT EXCHANGERS, ENERGY EFFICIENCY, IRREVERSIBILITY, HEAT TRANSFER, FOULING, ENVIRONMENTAL IMPACT

**ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОБМІННИХ АПАРАТІВ ЯК
ОСНОВА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЗМЕНШЕННЯ
ЕКОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

асистент Бишко М.А,

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: розглянуто застосування ексергетичного підходу для оцінювання ефективності теплообмінних апаратів у промислових енергетичних системах. Показано, що традиційний енергетичний аналіз не дозволяє повною мірою ідентифікувати втрати якості енергії, тоді як ексергетичний метод

забезпечує оцінку необоротностей та джерел зниження ефективності. Наведено основні рівняння ексергії та проаналізовано вплив конструктивних, гідродинамічних та експлуатаційних факторів на ексергетичну ефективність теплообмінних апаратів і пов'язані екологічні наслідки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕКСЕРГІЯ, ТЕПЛООБМІННІ АПАРАТИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, НЕОБОРОТНОСТІ, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА, ФУЛІНГ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Modern industrial energy systems are characterized by significant energy losses that cannot be fully identified using classical energy analysis based on the first law of thermodynamics. While the first law ensures energy conservation, it does not provide information about energy degradation or the actual ability of energy to perform useful work. In contrast, exergy analysis, based on the second law of thermodynamics, enables a more comprehensive evaluation of thermodynamic efficiency by considering both the quantity and quality of energy and its deviation from environmental equilibrium [1,2]. This makes exergy a powerful tool for identifying true inefficiencies in complex thermal systems, particularly in energy-intensive industrial processes.

Heat exchangers are among the most important components of thermal systems, widely used in power engineering, chemical processing, refrigeration, and process industries. A considerable part of system inefficiency is associated with irreversibilities occurring during heat transfer processes, fluid friction, and mixing effects. Even in well-designed equipment, thermodynamic losses arise due to finite temperature gradients and non-ideal flow conditions. Therefore, exergy-based methods are widely used for performance assessment, diagnosis, and optimization of such equipment, allowing engineers to quantify not only energy losses but also their thermodynamic significance [3].

Theoretical Foundations of Exergy

The concept of exergy represents the maximum useful work that can be extracted from a system as it comes into equilibrium with a defined reference environment. The specific exergy of a flowing stream is defined as:

$$e = (h - h_0) - T_0(s - s_0)$$

where h is enthalpy, s is entropy, and subscript 0 denotes the reference environmental state [1].

This formulation highlights that exergy is not conserved like energy but is continuously destroyed in real processes due to irreversibilities.

The exergy of heat transfer is given by:

$$E_Q = Q \left(1 - \frac{T_0}{T} \right)$$

This expression demonstrates that the thermodynamic value of heat strongly depends on its temperature level relative to the environment. As the temperature of the heat source approaches ambient conditions, the ability of heat to produce useful work decreases rapidly, eventually tending to zero when $T = T_0$ [2]. This concept is fundamental for evaluating low-grade heat utilization and waste heat recovery systems.

Exergy Balance of a Heat Exchanger

For steady-state operation, the exergy balance of a control volume such as a heat exchanger can be expressed as:

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \dot{E}_{dest}$$

where \dot{E}_{dest} represents exergy destruction due to irreversibilities [1].

This term is always positive and quantifies the thermodynamic penalty associated with non-ideal processes.

Exergy efficiency is defined as:

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_{useful}}{\dot{E}_{input}}$$

Unlike energy efficiency, exergy efficiency reflects how effectively the input exergy is converted into useful output, making it a more stringent and realistic performance indicator for thermal systems.

Sources of Exergy Destruction

The main sources of exergy destruction in heat exchangers include:

- heat transfer across finite temperature differences between hot and cold streams;
- pressure drops in flow channels due to frictional resistance;
- viscous dissipation and turbulence effects in fluid flow;
- fouling, scaling, and surface contamination reducing heat transfer performance [3,4].

Among these mechanisms, heat transfer with a finite temperature difference is typically the dominant source of irreversibility. It leads to continuous entropy generation throughout the heat exchange surface, resulting in unavoidable degradation of energy quality. In many practical designs, this contribution significantly exceeds losses caused by hydraulic resistance.

Environmental Aspect

Exergy destruction is directly linked to increased consumption of primary energy resources, since irreversibilities reduce the effective utilization of supplied fuel or electricity. Higher exergy losses require additional energy input to maintain the same thermal performance, which consequently increases operational costs and fuel consumption.

From an environmental perspective, this directly translates into increased CO₂ emissions and a larger ecological footprint. Therefore, improving exergy efficiency is not only a technical optimization problem but also a key strategy for sustainable industrial development and decarbonization of energy systems [2]. In modern engineering practice, exergy analysis is increasingly integrated into life-cycle assessment and environmental impact evaluation frameworks.

Methods for Improving Efficiency

Improvement of exergy performance in heat exchangers can be achieved through multiple complementary strategies:

- implementation of counter-current flow arrangements to minimize temperature differences along the heat transfer path;
- optimization of flow velocity and turbulence regimes to balance heat transfer enhancement and pressure losses;
- application of advanced heat transfer intensification techniques such as finned surfaces, twisted tapes, or micro-structured channels;
- reduction of hydraulic losses through improved channel geometry and smoother flow paths;
- mitigation of fouling through material selection, surface treatment, and operational control strategies [3,4].

In practice, the optimal design always involves a trade-off between enhanced heat transfer and increased pressure drop, which must be evaluated using exergy-based criteria rather than purely energetic ones.

Conclusion

Exergy analysis provides a more complete and physically meaningful understanding of heat exchanger performance compared to classical energy methods. By explicitly accounting for irreversibilities, it enables identification and quantification of the main sources of thermodynamic losses and supports the development of more efficient thermal systems.

The application of exergy-based optimization contributes to reduced energy consumption, improved system performance, and lower greenhouse gas emissions. As industrial systems become increasingly complex and energy efficiency requirements more stringent, exergy analysis is expected to play an even more important role in the design and optimization of sustainable energy technologies.

References

1. Bejan A. Advanced Engineering Thermodynamics. Wiley, 2016.
2. Moran M. J., Shapiro H. N. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. Wiley, 2018.

3. Kakaç S., Liu H. Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design. CRC Press, 2012.
4. Shah R. K., Sekulić D. P. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Wiley, 2003.
5. Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M. Thermal Design and Optimization. Wiley, 1996.

УДК 66.063.6:66.011.4:547.292

ВИБІР МІШАЛКИ ДЛЯ РЕАКТОРА У ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ

студент Крутоголов О.С., керівник Семінський О.О.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація. Розглянуто підхід до вибору механічної мішалки для реактора у лінії виробництва оцтової кислоти. Показано, що для систем газ-рідина з гомогенним каталізом доцільне застосування турбінних мішалок. Особливу увагу приділено інтенсифікації процесу. Запропоновано конструкцію спірального барботера, інтегрованого з робочою зоною мішалки, що забезпечує подачу газу безпосередньо в область високих градієнтів швидкості. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації реакторів синтезу оцтової кислоти.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КИСЛОТА ОЦТОВА, МІШАЛКА, ПЕРЕМІШУВАННЯ, РЕАКТОР.

Оцтова кислота це один із базових продуктів хімічної промисловості, що широко використовується у виробництві полімерів, розчинників, ацетатів та інших органічних сполук. У промислових умовах її отримують хімічними методами, які реалізуються в реакторах з перемішуванням. Ефективність перебігу реакції значною мірою залежить від гідродинамічних умов у апараті, зокрема рівномірності розподілу реагентів, інтенсивності теплообміну та відсутності локальних перегрівів. У зв'язку з цим одним із ключових етапів проектування реактора є вибір мішалки, яка повинна забезпечувати необхідний

рівень перемішування, стабільність процесу та раціональні енергетичні витрати. [1], [2].

Щоб правильно обрати мішалку важливо розуміти її взаємодію з рідиною. Під час вибору слід обов'язково враховувати властивості середовища, такі як в'язкість та характер потоків, вимоги до інтенсивності обміну теплом і речовинами, а також загальну ефективність, яка залежить від рівномірності перемішування та енерговитрат. Оскільки різні типи мішалок створюють принципово відмінні структури потоків, кожна з них має свою специфічну сферу застосування. [3], [4]

У розглянутій технології виробництва оцтової кислоти використовується рідкофазне карбонілування метанолу монооксидом вуглецю в присутності гомогенної каталітичної системи на основі координаційних сполук родію та галогенного промотора. Процес проводиться в рідкому середовищі за температур 100...240 °C і супроводжується безперервним барботуванням газоподібного компонента через реакційну суміш, де розчинений активний родієвий комплекс та йодистий метил. За цих умов критично важливим є забезпечення інтенсивного теплообміну для точного підтримання температурного режиму, а також високоефективного перемішування для рівномірного розподілу рідких реагентів, розчиненого каталізатора та диспергованих бульбашок газу по всьому об'єму реактора, що гарантує високу селективність і практично повну конверсію сировини.

Враховуючи необхідність постійного пропускання газу через рідину, найдоцільніше використати турбінну мішалку. Вона створює інтенсивну турбулентність, добре диспергує бульбашки монооксиду вуглецю та рівномірно розподіляє їх у рідкому середовищі. Щоб рідина просто не оберталася по колу разом із мішалкою і не утворювала глибоку воронку, на стінках апарата встановлюють відбивні перегородки. Розрахунки свідчать, що для заданого апарату встановлення лише однієї турбіни цілком достатнє, оскільки дозволяє

створити достатньо потужну циркуляцію, яка повноцінно охоплює весь робочий об'єм апарата та забезпечує стабільний перебіг синтезу.

Ідея модернізації реактора полягає у встановленні спірального барботера (рис. 1) для подачі газового компонента, який забезпечує нагнітання тиску, рівномірне введення газу в реакційну суміш та ефективний розподіл газових бульбашок у середовищі під час перемішування. Пропонована конструкція, яка просторово суміщає зону введення газу із зоною максимального перерозподілення локальних потоків рідини, є одним із визначальних факторів для значної інтенсифікації процесів в реакторі.



Рисунок 1 – Запропонована ідея модернізації

Список використаної літератури:

1. Chiti F. Lagrangian studies of turbulent mixing in a vessel agitated by a Rushton turbine: positron emission particle tracking (PEPT) and computational fluid dynamics (CFD): thesis for the degree of Doctor of Philosophy. – Birmingham: University of Birmingham, 2007.

2. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічної технології. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.
3. Процеси та апарати хімічних технологій. Перемішування: навч. посіб. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018.
4. Paul E. L., Atiemo-Obeng V. A., Kresta S. M. Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2004.

EQUIPMENT FOR CHEMICAL PRODUCTION AND BUILDING MATERIALS ENTERPRISES

Student Igor Kovtun, PhD, Assoc. Prof. Igor Andreev

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract: *The main types of equipment used in chemical production and at construction materials enterprises are considered. The purpose, principles of operation and features of operation of technological devices and machines are described. The evolution of industrial equipment, its advantages compared to installations of previous generations, as well as the main disadvantages and prospects for further development are analyzed.*

Keywords: *AUTOMATION, EQUIPMENT, ENERGY EFFICIENCY, DEVICES, HEAT EXCHANGE, CALCULATIONS*

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Студент Ігор Ковтун, к.т.н., доц. Ігор Андреев

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Анотація: *Розглянуто основні види обладнання, що застосовуються у хімічних виробництвах та на підприємствах будівельних матеріалів. Описано призначення, принципи роботи та особливості експлуатації технологічних апаратів і машин. Проаналізовано еволюцію промислового обладнання, його переваги порівняно з установками попередніх поколінь, а також основні недоліки та перспективи подальшого розвитку.*

Ключові слова: *АВТОМАТИЗАЦІЯ, ОБЛАДНАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПРИСТРОЇ, ТЕПЛООБМІН, РОЗРАХУНКИ*

Хімічна промисловість і промисловість будівельних матеріалів належать до провідних галузей сучасного виробництва. Їх розвиток безпосередньо залежить від рівня технічного оснащення підприємств, оскільки саме обладнання забезпечує виконання основних технологічних процесів: підготовку сировини, її переробку, транспортування та отримання готової продукції. До найбільш поширених видів обладнання належать реактори, теплообмінники, фільтри, сушарки, дробарки, млини, змішувачі, конвеєри та випалювальні печі.

Перші промислові установки відзначалися невеликою продуктивністю, значними витратами енергії та високою часткою ручної праці. Більшість операцій контролювалася безпосередньо працівниками, що збільшувало ймовірність помилок та аварійних ситуацій. З розвитком науки і техніки обладнання поступово вдосконалювалося: збільшувалася його потужність, покращувалися конструкційні матеріали, впроваджувалися автоматизовані системи керування та контролю технологічних параметрів.

Упровадження **автоматизації у хімічному виробництві** базується на використанні сучасних рішень, які підвищують ефективність і безпечність процесів. Основні інструменти включають:

– SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Такі технології забезпечують моніторинг і контроль виробничих параметрів у режимі реального часу, зокрема стабілізацію температури та тиску.

– DCS (Distributed Control Systems). Використовуються для складних безперервних процесів, наприклад, у нафтохімічній промисловості, забезпечуючи стабільність і точність.

– PLC (Programmable Logic Controllers). Програмовані логічні контролери призначені для автоматизації окремих вузлів обладнання — від насосів до клапанів, що регулюють рух реагентів.

– IoT і розумні датчики. Дозволяють відстежувати параметри виробництва в реальному часі, прогножуючи знос обладнання.

Поєднання датчиків IoT з інструментами штучного інтелекту дає змогу передбачати поломки та скорочувати простой обладнання на 10–15%. Для **фармацевтичних заводів** автоматизовані системи дозування підвищують точність до 99%, знижуючи відходи.

При використанні даних інструментів потрібно враховувати:

- стійкість обладнання до агресивних середовищ;
- можливість інтеграції з існуючими системами;
- відповідність міжнародним стандартам безпеки (ISO, ATEX тощо);
- енергоефективність та простоту обслуговування.

У 2026 році **хімічна промисловість** переходить до **Індустрії 4.0**, де ключові тренди включають:

- Роботизація. Роботи для пакування, змішування чи транспортування небезпечних речовин знижують ризик аварій.

- Штучний інтелект (AI). Можна використовувати для прогнозування попиту, оптимізації реакцій і зменшення відходів. Інтелектуальні алгоритми дають змогу зменшити витрати сировини на 5–10% без зниження якості продукції.

- Цифрові двійники. Дозволяють моделювати та тестувати процеси без фактичної зупинки підприємства.

- Енергоефективність. Системи автоматизованого енергоменеджменту дають змогу знизити витрати електроенергії на 20–30%, наприклад, у сушільних установках із технологією контрпотoku.

Ці інновації допомагають підприємствам відповідати екологічним стандартам і залишатися конкурентоспроможними на глобальному ринку.

Проте, незважаючи на ряд очевидних позитивних результатів цифрової трансформації на хімічну промисловість, існують певні виклики її впровадження в практичну діяльність хімічних компаній, серед яких:

– недосконалість інфраструктури для повної інтеграції цифрових технологій у маркетингові стратегії. Лише 47% хімічних підприємств мають достатньо розвинені цифрові інструменти для повної автоматизації бізнеспроцесів;

– нестача кваліфікованих кадрів для ефективного впровадження цифрових технологій. Близько 53% компаній зіштовхуються з браком фахівців, здатних працювати з сучасними аналітичними системами та автоматизованими платформами;

– високі фінансові витрати на цифрову трансформацію. Понад 60% компаній вважають витрати на впровадження цифрових рішень надто високими, що ускладнює їхнє масштабне застосування;

– проблеми з кібербезпекою та захистом комерційних даних. Близько 42% хімічних підприємств відзначають зростання ризиків кібератак після впровадження цифрових технологій;

– низький рівень інтеграції цифрових платформ у бізнес-моделі. Лише 35% компаній активно використовують аналітику великих даних та CRM-системи для управління маркетингом і продажами.

Перелік посилань

1. <https://www.quiplines.com/yak-avtomatyzuvaty-vyrobnytstvo-v-himichnij-promyslovosti/>
2. <file:///C:/Users/Igor/Downloads/5587-Текст%20статті-5501-2-10-20250319.pdf> Ст. 8

УДК 66.074.51

УДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛА ВВЕДЕННЯ ГАЗОВОГО ПОТОКУ В НАСАДКОВОМУ АБСОРБЕРІ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА АЦЕТИЛЕНУ

студент Каліновський О.А., керівник Семінський О.О.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація: У роботі розглянуто модернізацію вузла введення газу в насадковому абсорбері лінії виробництва ацетилену. Запропоновано нову конструкцію газорозподільного колектора та виконано аналіз розподілу газового потоку в апараті.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АЦЕТИЛЕН, НАСАДКОВИЙ АБСОРБЕР, ТРУБЧАСТИЙ КОЛЕКТОР, ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, МАСООБМІН.

Abstract: The paper considers modernization of the gas inlet unit in a packed absorber used in an acetylene production line. A new gas distribution collector design is proposed and gas flow distribution within the apparatus is analyzed.

KEYWORDS: ACETYLENE, PACKED ABSORBER, TUBULAR COLLECTOR, GAS DISTRIBUTOR, MASS TRANSFER.

У сучасному виробництві ацетилену важливим етапом є очищення газу від домішок, які утворюються під час взаємодії карбіду кальцію з водою. Для здійснення цього процесу широко застосовуються насадкові абсорбери, що забезпечують інтенсивний масообмін між газовою та рідкою фазами. Ефективність роботи такого обладнання значною мірою залежить від рівномірності розподілу газового потоку по поперечному перерізу апарата [1].

У типовій конструкції насадкового абсорбера подача газу здійснюється через штуцер, обладнаний відбивним ковпаком, рисунок 1. Основним

призначенням ковпака є захист вхідного патрубку від потрапляння рідини та часткове перенаправлення потоку в об'єм апарата. Проте така конструкція не завжди забезпечує рівномірний розподіл газового потоку по поперечному перерізу колони. У результаті можуть виникати локальні зони підвищених швидкостей, що призводить до нерівномірного використання насадки та зниження ефективності масообмінного процесу.

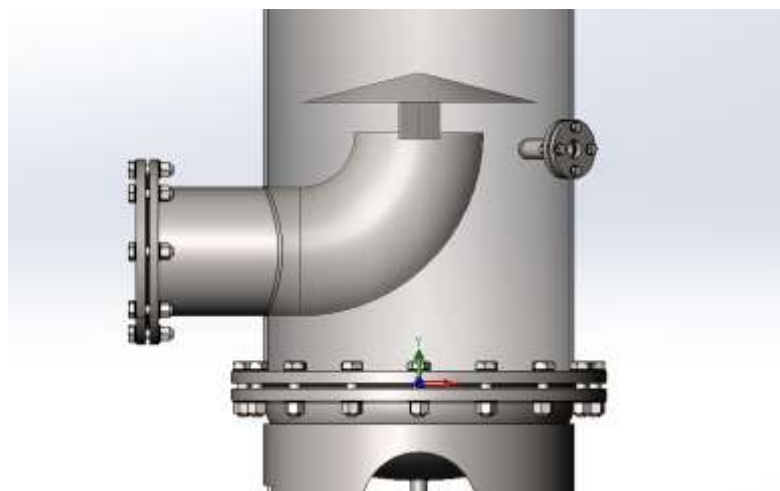


Рисунок 1 – Конструкція типового вузла введення газу зі штуцером та відбивним ковпаком.

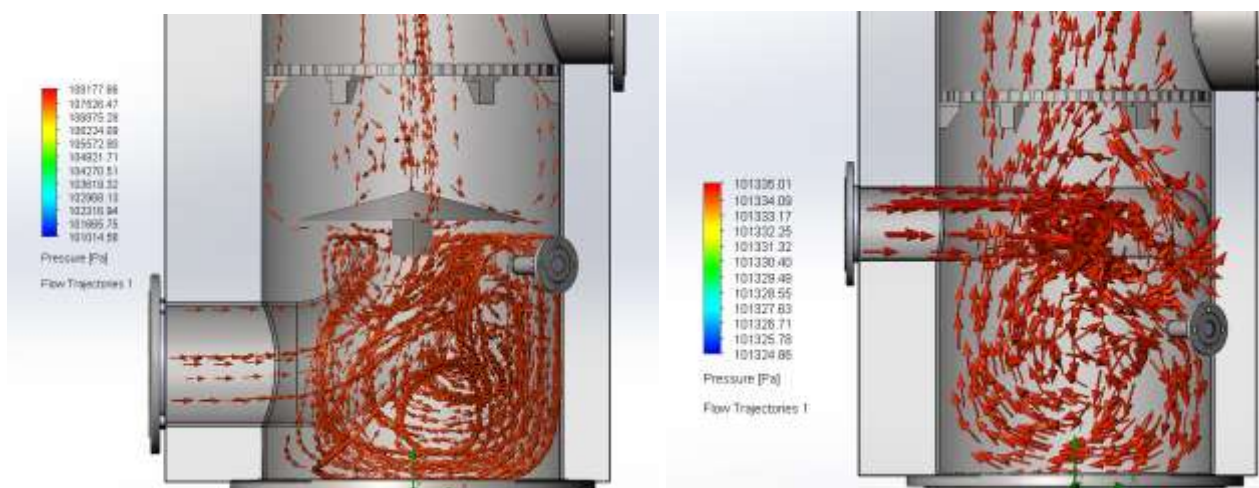
З метою підвищення ефективності роботи абсорбера запропоновано модернізацію вузла введення газового потоку. Суть модернізації полягає у заміні традиційного штуцера з відбивним ковпаком на трубчастий колектор із системою отворів, рисунок 2. Розміщення отворів на нижній поверхні колектора дозволяє покращити розподіл газу по об'єму колони та запобігти потраплянню рідини всередину розподільчого пристрою.



Рисунок 2 – Трубчастий колектор з отворами, спрямованими вниз.

Запропонований колектор працює за принципом розподільника потоку. Газ, надходячи до колектора, рівномірно розподіляється між отворами та виходить окремими струменями по всій робочій довжині колектора. Завдяки цьому досягається покращення використання робочого об'єму апарата. Крім того знижується ймовірність утворення застійних зон і каналів переважного проходження газу через шар насадки.

Розрахунок колектора може виконуватися на основі умови збереження масової витрати газу. Сумарна площа всіх отворів повинна забезпечувати пропускання заданої витрати газу за допустимих швидкостей витікання. Під час проектування також необхідно враховувати втрати тиску в колекторі та рівномірність витрати через окремі отвори. Одним із критеріїв вибору параметрів колектора є забезпечення однакових умов подачі газу по всій його довжині.



а б
Рисунок 3 – Порівняння розподілення газу:

а – штуцер з відбивним ковпаком; б – трубчастий колектор з отворами .

Для оцінки ефективності запропонованої модернізації виконано комп'ютерне моделювання розподілу газового потоку в нижній частині абсорбера. Порівняння результатів моделювання наведено на рисунку 3. Обидва моделювання проводилися за однакових умов: за атмосферного тиску, температури газу 20 °С та масової витрати ацетилену 0,428 кг/с. Аналіз траєкторій руху газу показав, що при використанні стандартного штуцера з відбивним ковпаком основна частина потоку концентрується в окремих зонах апарата, що призводить до нерівномірного використання насадки. У випадку застосування трубчастого колектора газ більш рівномірно розподіляється по перерізу колони та надходить у робочий об'єм через систему отворів, розташованих по довжині колектора. Це сприяє зменшенню застійних зон та покращенню умов масообміну між газовою та рідкою фазами в робочому об'ємі абсорбера.

Таким чином, запропонована конструкція трубчастого колектора є перспективним рішенням для модернізації насадкових абсорберів ліній

виробництва ацетилену та може бути використана для підвищення ефективності процесів очищення газів у хімічній промисловості.

Література:

1. Процеси та обладнання хімічної технології – 4. Масообмінні процеси: розрахункова робота [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Я.М. Корнієнко, С.С. Гайдай – Електронні текстові дані (1 файл: 4,47 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. – 94 С.
2. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок основних елементів посудин та апаратів [Електронний ресурс]: підруч. для здобувачів ступеня бакалавра за спец. 133 Галузеве машинобудування; КПІ ім. Ігоря Сікорського – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 428 с

УДК 661.7

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАВНОКИ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛБЕНЗОЛУ З РОЗРОБКОЮ ДЕФЛЕГМАТОРА

студент Пергат М.С., доцент, к.т.н. Гулієнко С. В.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНОТАЦІЯ: У даній роботі наведено удосконалену технологічну схему виробництва етилбензолу з використанням дефлегматора, виконаного у вигляді вертикального кожухотрубного теплообмінника з нагріванням парою. Розглянуто принцип роботи апарата, проаналізовано його роль у стабілізації теплового режиму та підтриманні оптимального складу парорідинної суміші, а також обґрунтовано основні напрями його модернізації з метою підвищення ефективності теплопередачі, забезпечення рівномірної роботи ректифікаційної частини установки та енергозбереження.

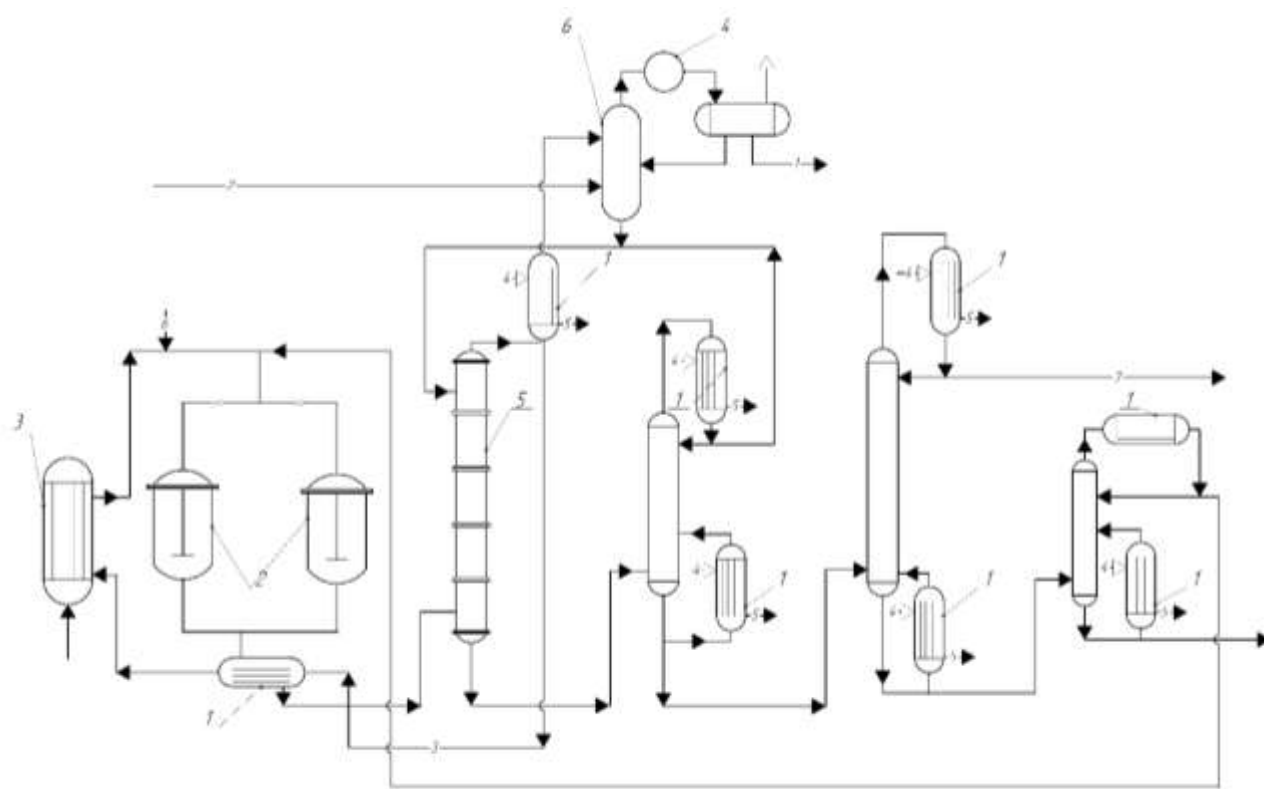
КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕТИЛБЕНЗОЛ, МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ, ДЕФЛЕГМАТОР, ПІДГРІВНИК, КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, ПАРОФАЗНИЙ ПРОЦЕС, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА.

Етилбензол – ароматичний вуглеводень складу $C_6H_5-CH_2-CH_3$, що характеризується високим ступенем чистоти та стабільністю фізико-хімічних властивостей.

Етилбензол являє собою прозору, безбарвну рідину з характерним ароматичним запахом, густиною $0,866-0,870$ г/см³ та температурою кипіння $136-137^\circ C$. Якість етилбензолу визначає ефективність подальших стадій переробки, зокрема процесу дегідрування до стиролу. Тому продукт повинен відповідати вимогам чинних стандартів щодо вмісту етилбензолу не нижче 99,5%, мінімального рівня сторонніх ароматичних і аліфатичних домішок, а також показників кислотного числа, кольоровості та стабільності при зберіганні [1].

Забезпечення високої чистоти кінцевого продукту є ключовою умовою стабільності технологічного режиму та мінімізації побічних реакцій на наступних стадіях виробництва.

У 1970-х роках був упроваджений парофазний етилбензолний процес Mobil-Badger (рисунок 1), який став важливою альтернативою традиційним рідкофазним методам алкілування. Основою процесу є цеолітний катализатор Mobil ZSM-5, що забезпечує високу активність і селективність алкілування бензолу етиленом.



1-дефлегмантор; 2 – реактор; 3 – теплообмінник; 4-насос;

5- ректифікаційна колона; 6 - скруббер

Рисунок 1 – Процес Mobil-Badger для виробництва етилбензолу

Однією з ключових переваг парофазного процесу Mobil-Badger є його екологічна та технологічна чистота. На відміну від рідкофазної системи на основі $AlCl_3$, в якій утворюються корозійні відходи та необхідна складна

утилізація каталізатора, цеоліт ZSM-5 є стабільним, некорозійним і працює без утворення шкідливих побічних продуктів.

Процес здійснюється у реакторах, що працюють при високій температурі 400–450°C та порівняно низькому тиску 2–3 МПа. Підвищена температура забезпечує ефективне використання теплової енергії: як тепло, що подається в реактор, так і теплота екзотермічного алкілування можуть бути рекуперовані у вигляді водяної пари. Це позитивно впливає на енергетичну ефективність всього виробництва.

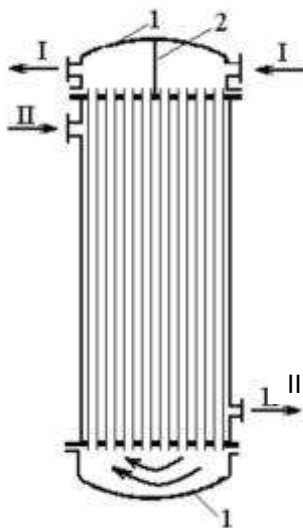
Водночас робота за парофазних умов призводить до повільної дезактивації каталізатора, спричиненої відкладенням вуглецевих (кокованих) матеріалів на його поверхні. Тому каталізатор потребує періодичної регенерації. Для забезпечення безперервної роботи виробництва застосовують дві паралельні реакторні установки: у той час як один реактор працює, другий проходить стадію регенерації.

Процес Mobil-Badger забезпечує високий вихід етилбензолу — близько 98%, що є одним із найкращих показників серед промислових технологій алкілування.

Модифікований каталізатор ZSM-5 має також унікальні селективні властивості щодо утворення β -етилтолуолу при алкілуванні толуолу етиленом. Цей продукт є важливим проміжним компонентом у виробництві полі(п-метилстиролу) (PPMS), який характеризується поліпшеними фізичними властивостями порівняно з полістиролом: вищою температурою склування та спалаху, а також нижчою густиною [2].

У структурі модернізованої технологічної схеми суттєву роль відіграє підігрівач-дефлегматор, призначений для контрольованого підігрівання і часткової конденсації парорідинної суміші з метою відокремлення компонентів та регулювання теплового режиму процесу.

Дефлегматор, застосовуваний у модернізованій установці виробництва етилбензолу, виконаний у вигляді вертикального кожухотрубного теплообмінника, рисунок 2.



1 – кришка; 2 – перегородка.

I - Теплоносій; II - Пара; III - Конденсат

Рисунок 2 – Схема кожухотрубного теплообмінника

Корпус апарата утворює міжтрубний простір, у який подається насичена пара, що виступає теплоносієм. Усередині трубного пучка рухається робочий потік — рідка або газорідна суміш, що містить етилбензол та інші легколеткі компоненти. Трубний пучок закріплений у верхній та нижній трубних решітках, що забезпечують його жорстку фіксацію та рівномірний розподіл потоку по всіх трубах. Кришки апарата обладнані патрубками для подачі та відведення робочих середовищ, а також для відведення конденсату пари. [3].

Принцип дії апарата ґрунтується на ефективній теплопередачі між насиченою парою та рідким потоком у трубах. Подача пари у міжтрубний простір забезпечує її конденсацію на зовнішній поверхні труб, при якій виділяється теплота фазового переходу, що нагріває робочий потік. Вертикальна орієнтація апарата сприяє природному відведенню конденсату та рівномірному розподілу теплового навантаження по всьому трубному пучку. Одночасно з

підігріванням відбувається часткова конденсація легколетких компонентів суміші, що дозволяє створювати флегму і підтримувати стабільний склад рідкої та парової фаз. Така організація процесу підвищує ефективність ректифікації, забезпечує стабільність складу потоку, оптимізує теплові витрати і сприяє надійності роботи всієї установки. Регулювання температури пари, тиску та швидкості руху робочого потоку дозволяє контролювати інтенсивність теплопередачі та процес дефлегмоутворення, забезпечуючи сталу роботу технологічної лінії та високу якість кінцевого продукту — етилбензолу [4].

Список літератури:

1. National Center for Biotechnology Information. Ethylbenzene – Some Industrial Chemicals / NCBI Bookshelf. Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK390915/> (дата звернення: 11.11.2025)
2. Кожухотрубні теплообмінники. Конструкторське проектування обладнання. [Електронний ресурс]: рек. до виконання курсового проекту: навч. посіб. для студентів ступеня магістр за освітньо-науковою програмою «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання», спец. 133 «Галузеве машинобудування» / В.Ю.Щербина, А.Р. Степанюк; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електрон. текст. дані (1 файл). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024, 117 с.
3. KIRK-OTHMER Encyclopedia of Chemical Technology. Alkanolamines to Antibiotics / ed. by Watcher. – 4th ed. – Vol. 2. – New York : John Wiley & Sons, 1994. – 1280 p.
4. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи для студентів спеціальності “Автоматизація та компютерно-інтегровані технології” з дисципліни “Технологічні об’єкти і процеси галузі-1” :: / НТУУ „КПІ”; уклад. М.П. Швед, Д.М. Швед – Київ: НТУУ „КПІ”, 2012. – 32 с.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1

«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ»

MODERNIZATION OF COKE PRODUCTION PLANT WITH DEVELOPMENT OF DRUM DRYER Tsyupa N.V., Stepaniuk A.R.	4
MODERNIZATION OF A LUBRICANT PRODUCTION PLANT WITH THE DEVELOPMENT OF AN EVAPORATION COLUMN AND STEAM GENERATOR Ponomarev O.O., Stepaniuk A.R.	10
INFLUENCE OF MESH INSERTS ON THE STRUCTURE OF A SWIRLING GAS FLOW IN A CYCLONE M.V. Dyshkant, Stepaniuk A.R.	16
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ УПОРНОГО РОЛИКА ДЛЯ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ Степура Г.А., Щербина В.Ю.	20
МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІДГРІВАЧА ВИРОБНИЦТВА ФОРМАЛІНУ ОКИСНЕННЯМ МЕТИЛОВОГО СПИРТ Матвійчук В. С., Подиман Г. С.	26
ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОСЕКЦІЙНОГО МІКРОКАНАЛЬНОГО ТЕПЛООБМІННИКА Пашенько В.М., Гулієнко С.В.	31
KINETIC FEATURES OF BISCHOFITE DEHYDRATION UNDER THERMORADIATIVE HEATING Filipov V.V., Novokhat O.A.	35
ТЕХНОЛОГІЇ СИНТЕЗУ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ Крутоголов О.С., Семінський О.О.	39
HYDRODYNAMICS AND MASS TRANSFER INTENSIFICATION IN GAS-LIQUID CONTACT DEVICES FOR CHEMICAL ENGINEERING APPLICATIONS Vyshko Mykyta	46
ПРОЕКТУВАННЯ УПОРНОГО РОЛИКА БАРАБАННОЇ СУШАРКИ Гніденко С.В., Щербина В.Ю.	52
ОСОБЛИВОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА АЦЕТИЛЕНУ Каліновський О.А., Семінський О.О.	58

TYPES AND STRUCTURE OF FURNACE GRATES

Igor Kovtun, Andrii Stepaniuk 62

HEAT TRANSFER INTENSIFICATION IN A SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER

Zykin I. S., Novokhat O. A. 66

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИПАРНИКА ДІЛЯНКИ РЕКУПЕРАЦІЇ ПАРІВ АЦЕТОНУ

Бельченко О.М. 69

MUTUAL DEVELOPMENT OF FORESTRY ENTERPRISES AND HEAT GENERATING FACILITIES WITH CONSTANT INTERACTION

Kremnov V., Belyaev G., Belyaeva I., Zhukov K., Korbut N., Stetsuk V., Timoshchenko A. 72

МОДЕРНІЗАЦІЯ ДЕФЛЕГМАТОРА УСТАНОВКИ АЛКІЛУВАННЯ БЕНЗОЛУ

Антончик Є. Є., Коник А.В. 75

ULTRASOUND INTENSIFICATION OF THE DRYING PROCESS OF CAROTENE-CONTAINING RAW MATERIALS

Oleh Novokhat, Yuliia Zloba 79

DESIGN FEATURES OF TUBE FURNACES FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PROCESSES

Andrii Korsak, Andrii Stepaniuk 86

INTENSIFICATION OF CONVECTIVE DRYING OF MEDICINAL AND ESSENTIAL OIL PLANTS BY USING HEAT PUMP

Dabizha N.O., Husarova O.V., Malashchuk N.S. 90

ANALYSIS OF INNOVATIVE FERMENTER DESIGNS FOR MICROBIOLOGICAL SYNTHESIS

Husarova O.V., Kononenko M.S., Daknenko V.L. 96

МОДЕРНІЗАЦІЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОГО СПИРТУ

Величко Т. Д., Косенко В.В. 104

MODERNIZATION OF A DRUM DRYER FOR A COKE PRODUCTION PLANT

Stepura H.A., Stepaniuk A.R. 107

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД З РОЗРОБКОЮ МЕМБРАННОГО АПАРАТА ТА ОСВІТЛЮВАЧА

Процюк М.О., Гулієнко С.В. 112

МОДЕРНІЗАЦІЯ ДЕФЛЕГМАТОРА ВИРОБНИЦТВА ФЕНОЛУ ТА АЦЕТОНУ	
Швединський Д. О., Подиман Г. С.	115
CREATION OF A NEW ENERGY-TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR DRYING VARIOUS SOLID DISPERSED MATERIALS	
Kremnov V., Belyaev G., Belyaeva I., Zhukov K., Korbut N., Stetsuk V., Timoshchenko A.	120
ГІДРОДИНАМІЧНА КАВІТАЦІЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ ДЕГАЗАЦІЇ ВОДИ: ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ ПРОМИСЛОВОСТІ	
Б. Целень, А. Недбайло, Л. Гоженко, Н. Радченко, В Шуляк, В. Щепкін	123
PASSIVE RADIATIVE COOLING OF VERTICAL SURFACES	
DUDA Bohdan, BILCHUK Vasyly	126
INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE TRANSITION OF BISCHOFITE HYDRATE FORMS UNDER THERMORADIATIVE HEATING	
Filipov V.V., Novokhat O.A.	130
РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СОНЦЕЗАХИСНОГО КРЕМУ З РОЗРОБКОЮ ПЕРЕМІШУВАЧА	
Хукаленко І. О., Косенко В.В.	134
МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАВНОКИ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛБЕНЗОЛУ З РОЗРОБКОЮ ДЕФЛЕГМАТОРА	
Пергат М.С., Гулієнко С. В.	138
MODERNIZATION OF A LUBRICANT PRODUCTION PLANT WITH THE DEVELOPMENT OF AN EVAPORATION COLUMN AND STEAM GENERATOR	
Ponomarev O.O., Stepaniuk A.R.	146
REVIEW OF EQUIPMENT FOR GRANULATION OF ORGANO-MINERAL FERTILIZERS	
Капука О. D., Haidai S. S.	150
REVIEW OF HEAT EXCHANGER DESIGNS FOR BIOGAS PURIFICATION PLANT	
Koren D. O., Haidai S. S.	157
A REVIEW OF DEFLAMMATION UNIT DESIGNS FOR ETHANOL PRODUCTION PLANTS	
Bohdanets M.G., Haidai S. S.	170
DESTRUCTIVE CHANGES IN PAPER UNDER THERMORADIATIVE EXPOSURE	
Novokhat O.A.	180

DESIGN WAYS TO INTENSIFY HEAT EXCHANGE IN HEAT STORAGE EQUIPMENT WITH PCM	
A.V. Tarasenko, A. R. Stepaniuk	184
MODERNIZATION OF THE SULFURIC ACID HEATER	
Pakholchenko T. O., Novokhat O. A.	192
ЗАСАДИ ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ	
Корнієнко Я. М., Гайдай С. С., Семененко Д. С.	198
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ РІДКОЇ ФАЗИ В ЧАШОВОМУ РОТАЦІЙНОМУ ДИСПЕРГАТОРІ З УРАХУВАННЯМ РЕОЛОГІЇ СУСПЕНЗІЇ	
Я.М. Корнієнко, Д.В. Стьопчкін	208
PARAMETRIC ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF OPERATING AND DESIGN PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF GAS-DUST FLOW CLEANING IN A CYCLONE WITH MESH INSERTS AND WATER INJECTION	
M.V. Dyshkant, Stepaniuk A.R.	214

СЕКЦІЯ 2

«ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ»

INVESTIGATION OF BIODEGRADATION OF STARCH-BASED FILMS IN SOIL ENVIRONMENT	
Byshko Mykyta	220

СЕКЦІЯ 3

«ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

ПОСИЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАДИЦІЙНОЇ ДЕГАЗАЦІЇ ВОДИ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ	
Б. Целень, Г. Іваницький, А. Недбайло, Л. Гоженко, Н. Радченко	226
MODERNISATION OF THE COKE PRODUCTION PLANT WITH THE DEVELOPMENT OF A DRUM DRYER	
Tsyupa N.V., Stepaniuk A.R.	229
EXERGY ANALYSIS OF HEAT EXCHANGERS AS A BASIS FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND REDUCING ENVIRONMENTAL IMPACT	
Byshko Mykyta	234

ПІДБІР МІШАЛКИ ДЛЯ СИНТЕЗУ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ ХІМІЧНИМ МЕТОДОМ	
Крутоголов О.С., Семінський О.О.	240
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	
Ігор Ковтун, Ігор Андреев	244
УДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛА ВВЕДЕННЯ ГАЗОВОГО ПОТОКУ В НАСАДКОВОМУ АБСОРБЕРІ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА АЦЕТИЛЕНУ	
Каліновський О.А., Семінський О.О.	247
МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАВНОКИ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛБЕНЗОЛУ З РОЗРОБКОЮ ДЕФЛЕГМАТОРА	
Пергат М.С., Гулієнко С. В.	253